

การศึกษาการปรับสภาพทะเลสาบป่าล้มเป่าแบบสองขั้นตอน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาการปรับสภาพทะเลสาบเป่าแบบสองขั้นตอน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TWO - STEP PRETREATMENT OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการปรับสภาพทะเลสาบป่าลุ่มเปล่าแบบสองชั้นตอน
โดย นายธนบูรณ์ ปั่นสุวรรณ
นายธีรพันธ์ ตั้งกิตติมงคล
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา
ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาและอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

กรรมการ

(ดร.สันติ วัฒนานสรณ์)

กรรมการ

(ดร.ณัฐนนท์ ไพบูลย์ศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การศึกษาการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าแบบสองชั้นตอน
โดย	นายธนบูรณ์ บั้นสุวรรณ นายธีรพันธ์ ตั้งกิตติมศักดิ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

บทคัดย่อ

ทะเลลายปาล์มเปล่าเป็นวัสดุคงเหลือทางการเกษตร มีองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งสามารถนำมาแยกองค์ประกอบเพื่อนำไปผลิตเป็นสารอื่นที่มีมูลค่าได้ แต่การแยกองค์ประกอบนั้นทำได้ยาก งานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าสองรูปแบบ คือ การปรับสภาพด้วยสารละลายปูนขาว และการปรับสภาพแบบสองชั้นตอน ซึ่งการทดลองส่วนแรกนำทะเลลายปาล์มเปล่ามาปรับสภาพด้วยสารละลายปูนขาวที่อัตราส่วนระหว่างปูนขาวกับทะเลลายปาล์มเปล่า 1 ต่อ 2 และ 1 ต่อ 4 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการทดลองเปรียบเทียบโดยนำทะเลลายปาล์มเปล่ามาแช่ในสารละลายปูนขาวที่อัตราส่วนระหว่างปูนขาวกับทะเลลายปาล์มเปล่าเป็น 1 ต่อ 2 โดยน้ำหนัก ที่เวลา 1 และ 30 วัน นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน ซึ่งปริมาณลิกนินคงเหลือจากปรับสภาพที่อัตราส่วนเป็น 1 ต่อ 2 และ 1 ต่อ 4 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 36.4 และ 34 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และที่ผ่านการแช่ที่เวลา 1 และ 30 วัน เป็นร้อยละ 34 และ 29 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และในการทดลองในส่วนที่สองนั้นศึกษาวิธีการปรับสภาพแบบสองชั้นตอน คือ การปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกในขั้นแรก และในขั้นที่สอง ปรับสภาพด้วยสารละลายไอโซโพรพานอลในน้ำผสมปูนขาว โดยในขั้นตอนแรกจะทดลองหาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมโดยการทำปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกร้อยละ 0.5 1 และ 2 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และในขั้นตอนที่สองทดลองหาความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลที่เหมาะสม โดยการทำปฏิกิริยาในสารละลายปูนขาวร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำเป็น 0 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยปริมาตร จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสมในการปรับสภาพในขั้นตอนแรกเป็นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำที่เหมาะสมเป็น 1 โดยปริมาตร

Report Title	Two - step pretreatment of oil palm empty fruit bunch	
By	Mr. Thanaboon	Punsuwan
	Mr. Teerapun	Tangkittimasak
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Chemical Engineering	
Year	2014	
Advisor	Assoc. Prof. Dr. PrakobKitchaiya	

ABSTRACT

Oil palm empty fruit bunch (OPEFB) is one of abundant sources which contain the main 3 components such as cellulose, hemicellulose, and lignin. These components can be converted to various valuable chemicals but its decomposition of each is difficult. In this study, two different methods of pretreatment, lime pretreatment and two – step pretreatment were investigated. The first method, lime pretreatment was studied for the effect of concentration of lime and soaking time in lime solution. OPEFB was pretreated with lime solution with ratios of lime to OPEFB at 1:2 and 1:4 by mass. After that, OPEFB soaked in lime solution was heated at 117 °C for 1 h. Another pretreatment test was soaking OPEFB in 1:2 ratio by mass of lime to OPEFB for 1 and 30 days, and later heated at the same condition. Klason lignin (KL) in the OPEFB pretreated with lime solution with the ratios at 1:2 and 1:4 was 36.4% and 34%w/w, respectively. On the other hand, by treating with another pretreatment test, the KL content was found to be 34% and 29%w/w, respectively. The second method, two – step pretreatment was investigated by dilute sulfuric acid and followed by a pretreatment of OPEFB in a mixture of lime and isopropanol solution. OPEFB was heated at 121 °C for 2 h in dilute sulfuric acid concentrations 0, 0.5, 1, and 2 %w/w to find the appropriate acid concentration. Then, it was further heated at 105 °C for 2 h in the mixture of 2 %w/v lime in isopropanol solution at the ratio of isopropanol to water as 0, 0.25, 0.50, 0.75 and 1 by volume. From the results, in two – step pretreatment experiment, the optimal concentration for dilute sulfuric acid and ratio of isopropanol to water were 1.5 %w/w and 1 by volume, respectively

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา และความช่วยเหลือในหลายด้าน ตลอดจนแนวทางการแก้ปัญหา ซึ่งล้วนเป็นประสบการณ์ที่ดีให้แก่คณะผู้ดำเนินโครงการ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์ และ ดร.ณัฐนนท์ ไพบุลย์ศิลป์ คณะกรรมการสอบปริญญาโท ที่ให้คำปรึกษาตลอดการทำงานและตรวจสอบแก้ไขรายงาน

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ สุนทรชัชเวช รุ่นพี่ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหา

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ปรึกษาและให้กำลังใจตลอดการทำโครงการ หากปริญญาโทฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้ดำเนินงานโครงการขออภัยรับและกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายธนบูรณ์

นายธีรพันธ์

ปิ่นสุวรรณ

ตั้งกิตติมศักดิ์

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 องค์ประกอบของวัสดุคงเหลือทางการเกษตร	3
2.1.1 องค์ประกอบภายนอก.....	4
2.1.2 โพลีแซคคาไรด์.....	4
2.1.3 ลิกนิน.....	5
2.2 การปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment)	7
2.2.1 วิธีการทางกายภาพ (Physical Pretreatment)	7
2.2.2. วิธีการทางเคมี (Chemical Pretreatment).....	8
2.2.3 วิธีการทางเคมีฟิสิกส์ (Physicochemical Pretreatment).....	9
2.2.4 วิธีการทางชีวภาพ (Biological Pretreatment).....	10
2.3 น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar)	10
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสภาพของวัสดุคงเหลือทางการเกษตร	11
2.4.1 อุณหภูมิ	11
2.4.2 ความเข้มข้นของสารละลายกรด.....	11
2.4.3 ความเข้มข้นของสารละลายต่าง	11
2.4.4 ชนิดของวัสดุคงเหลือทางการเกษตร	11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 การทดลอง	14
3.1 ปัจจัยที่ต้องการศึกษา.....	14
3.2 การเตรียมสารสำหรับการทดลอง	15
3.2.1 การเตรียมทะเลายปาล์มเปล่า (OPEFB).....	15
3.2.2 การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก	16

สารบัญ (ต่อ)

3.3 การทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายต่าง	17
3.4 การทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรด.....	19
3.5 การทดลองกระบวนการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน	20
3.6 การทดลองกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อย่อยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน	22
3.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบลิกนินโดยวิธี Klason Lignin.....	23
3.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาลรีดิวซ์.....	25
3.8.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	25
3.8.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไฮโดรไลซิสที่ได้จากการปรับสภาพ	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	29
4.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายปูนขาวต่อปริมาณลิกนินในเนื้อของทะเลลายปาล์มเปล่าหลังผ่านการปรับสภาพ.....	29
4.2 ผลของระยะเวลาในการแช่ทะเลลายปาล์มเปล่าต่อปริมาณลิกนินในเนื้อของทะเลลายปาล์มเปล่าหลังผ่านการปรับสภาพ.....	30
4.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรด.....	31
4.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเข้มข้นของไอโซไพรพานอลในสภาวะต่างต่อปริมาณลิกนินในเนื้อของทะเลลายปาล์มเปล่าหลังผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน.....	32
4.5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเข้มข้นของไอโซไพรพานอลในสภาวะต่างต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นของทะเลลายปาล์มเปล่าหลังผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน.....	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	35
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก.....	39
ภาคผนวก ก.....	40
ภาคผนวก ข.....	41
ภาคผนวก ค.....	47

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณองค์ประกอบของวัสดุลิกโนเซลลูโลส.....	3
ตารางที่ ค.1 ปริมาณลิกนินคงเหลือในทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายต่าง	47
ตารางที่ ค.2 ปริมาณลิกนินคงเหลือในทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างที่ระยะเวลาในการแช่ที่ต่างกัน	47
ตารางที่ ค.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างจากการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรด	48
ตารางที่ ค.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดที่เวลา 1 ชั่วโมง	49
ตารางที่ ค.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดที่เวลา 2 ชั่วโมง	49
ตารางที่ ค.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างจากการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน ปรับสภาพในขั้นแรกด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	49
ตารางที่ ค.7 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน ในการปรับสภาพขั้นแรกด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	50
ตารางที่ ค.8 ปริมาณลิกนินคงเหลือในทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน.....	50
ตารางที่ ค.9 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างจากกระบวนการไฮโดรไลซิสทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน	50
ตารางที่ ค.10 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไฮโดรไลซิสทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน	51
ตารางที่ ค.11 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นรวมจากปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอนและการไฮโดรไลซิสทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน	51

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์โลส	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเฮมิเซลล์โลส	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลิกนิน	6
รูปที่ 2.4 โครงสร้างหน่วยย่อยของลิกนิน	6
รูปที่ 3.1 ทะลายปาล์มเปล่าหลังผ่านการอบแห้ง	15
รูปที่ 3.2 ชั้นส่วนทะลายปาล์มเปล่าที่ลดขนาด	15
รูปที่ 3.3 เครื่องยิวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	27
รูปที่ 4.1 ปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่ในเนื้อทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วย สารละลายปูนขาวกับอัตราส่วนความเข้มข้นของปูนขาวต่อทะลายปาล์มเปล่า.....	30
รูปที่ 4.2 ปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่ในเนื้อทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วย สารละลายปูนขาวกับระยะเวลาในการแช่ทะลายปาล์มเปล่า	30
รูปที่ 4.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพด้วยสารละลายกรดกับเวลาที่ใช้ในการ ทำการทดลอง	31
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่ในเนื้อทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่าน การปรับสภาพแบบสองขั้นตอนกับอัตราส่วนความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลต่อ น้ำในสารละลาย	32
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการขจัดลิกนินในเนื้อทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพ แบบสองขั้นตอนกับอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำโดยปริมาตรในสารละลาย	33
รูปที่ 4.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนและจากการไฮโดรไล ซิสทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนกับอัตราส่วนของไอโซ โพรพานอลต่อน้ำโดยปริมาตร	33
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้กลับคืนรวมทั้งหมดจากการปรับ สภาพแบบสองขั้นตอนและจากการไฮโดรไลซิสทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับ สภาพแบบสองขั้นตอนกับอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำโดยปริมาตร.....	34
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำตาล รีดิวซ์	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วิกฤตทางด้านพลังงานในปัจจุบันเป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากพลังงานที่มาจากปิโตรเลียม กำลังจะหมดไป จึงมีผู้คิดค้นพลังงานทางเลือกต่างๆ ขึ้นมาทดแทน หนึ่งในพลังงานทางเลือกที่มีบทบาทที่สำคัญคือ พลังงานชีวมวล พลังงานชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น วัสดุคงเหลือทางการเกษตร กากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เป็นต้น วัสดุเหล่านี้มีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งอาจเรียกวัดที่มีองค์ประกอบเหล่านี้ว่า “ลิกโนเซลลูโลส”

วัสดุคงเหลือทางการเกษตรที่มีจำนวนมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ ทะลายปาล์มเปล่า ที่เหลือทิ้งจากการกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มซึ่งมีปริมาณมากกว่า 50,000,000 ตันต่อปี [1] ทะลายปาล์มเหล่านี้จะถูกซื้อไปในราคาต่ำโดยโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่หม้อไอน้ำในการผลิตไฟฟ้า จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในทะลายปาล์มเปล่า พบว่า เซลลูโลสสามารถนำไปย่อยเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนเฮมิเซลลูโลสสามารถนำไปย่อยและสังเคราะห์เป็นเฟอร์ฟูรัลได้ [2] และลิกนินสามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารเคลือบผิว ซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มแก่ทะลายปาล์มเปล่าได้

แต่เนื่องจากการแยกองค์ประกอบทางเคมีออกมาจากทะลายปาล์มเปล่าโดยตรงนั้นทำได้ยาก เนื่องจากองค์ประกอบทั้งสามนั้นอยู่รวมกันเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงศึกษาสภาวะในการปรับสภาพทางเคมี (Chemical pretreatment) ของทะลายปาล์มเปล่า ซึ่งทำการศึกษาการปรับสภาพสองรูปแบบ คือ การปรับสภาพด้วยสารละลายปูนขาว และการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน โดยในการทดลองตอนแรก นำทะลายปาล์มเปล่ามาปรับสภาพทางเคมีด้วยสารละลายปูนขาวเพียงอย่างเดียว [3] เพื่อศึกษาผลของการขจัดลิกนินในปูนขาว และในการทดลองตอนที่สอง โดยแบ่งการปรับสภาพทางเคมีเป็นสองขั้นตอน คือ การปรับสภาพในสารละลายกรดซัลฟิวริกในขั้นแรก และการปรับสภาพในของผสมระหว่างสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) และปูนขาว โดยในขั้นแรกทำการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการปรับสภาพ และในขั้นตอนที่สองทำการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์หรือที่เรียกว่าไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ที่เหมาะสมเพื่อศึกษาถึงปัจจัยของความ

เข้มข้นของสารละลายกรดและอัตราส่วนระหว่างไฮโซโพรฟานอลและน้ำ ที่มีผลต่อการขจัดลิกนิน (delignification)

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายปูนขาวและระยะเวลาในการแช่ที่เหมาะสมในการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าด้วยปูนขาว
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการปรับสภาพทางเคมีในขั้นแรกของทะลายปาล์มเปล่าด้วยการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของไฮโซโพรฟานอลที่เหมาะสมในการปรับสภาพทางเคมีในขั้นที่สองของทะลายปาล์มเปล่าด้วยการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน
- 1.2.4 เพื่อศึกษาสภาวะที่สามารถขจัดลิกนิน (delignification) ออกจากทะลายปาล์มเปล่าได้มากที่สุด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าด้วยปูนขาว
- 1.3.2 ศึกษากระบวนการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอนที่เหมาะสม
- 1.3.3 ทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อการขจัดลิกนินจากการปรับสภาพด้วยปูนขาวของทะลายปาล์มเปล่า ได้แก่ ความเข้มข้นของปูนขาว และระยะเวลาในการแช่
- 1.3.4 ทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อการขจัดลิกนินจากการปรับสภาพด้วยการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนของทะลายปาล์มเปล่า ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก และความเข้มข้นของไฮโซโพรฟานอลที่แตกต่างกัน
- 1.3.5 ศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงแนวทางการนำวัสดุคงเหลือทางการเกษตรมาพัฒนาให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจ
- 1.4.2 ทราบถึงองค์ประกอบที่ส่งผลต่อการขัดขวางการสกัดน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar)
- 1.4.3 ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการขจัดลิกนิน
- 1.4.4 สามารถนำวัสดุคงเหลือทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงองค์ประกอบของวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ได้กล่าวไว้ในบทนำ และวิธีการปรับสภาพวัตถุดิบเหล่านี้ พร้อมทั้งบอกถึงปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อการปรับสภาพ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้ที่ต้องการศึกษาสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้

2.1 องค์ประกอบของวัสดุคงเหลือทางการเกษตร [11,12]

โครงสร้างของวัสดุคงเหลือทางการเกษตรหรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส ดังแสดงในตารางที่ 2.1 สามารถแบ่งองค์ประกอบทางเคมีออกได้เป็น 3 ส่วนคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณองค์ประกอบของวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส [11]

ประเภทของวัตถุดิบ	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
ลำต้นไม้เนื้อแข็ง	40 – 55	24 – 40	18 – 25
ลำต้นไม้เนื้ออ่อน	45 – 50	25 – 35	25 – 35
เปลือกถั่ว	25 – 30	25 – 30	30 – 40
แกนฝักข้าวโพด	45	35	15
ทะลายปาล์มเปล่า	41.3–46.5	25.3–33.8	27.6–32.5
กระดาษ	85 – 99	0	0 – 15
ขยะ หรือเศษของที่ใช้แล้ว	60	20	20
ใบไม้	15 – 20	80 – 85	0
ใยเมล็ดฝ้าย	80 – 95	5 – 20	0
หญ้าพันธุ์ Coastal Bermuda	25	35.7	6.4
หญ้าพันธุ์ Switch	45	31.4	12
กระดาษหนังสือพิมพ์	40 – 55	25 – 40	18 – 30
เศษกระดาษจากหนังสือ	60 – 70	10 – 20	5 – 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 องค์ประกอบภายนอก

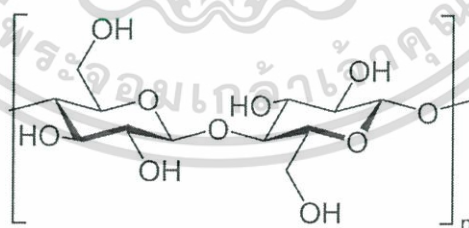
องค์ประกอบภายนอกเป็นโครงสร้างของวัสดุคงเหลือทางการเกษตรที่ไม่มีผนังเซลล์ แบ่งออกเป็นสารเคมีที่ละลายในน้ำและละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

2.1.2 โพลีแซคคาไรด์

โพลีแซคคาไรด์ ประกอบด้วย น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวตั้งแต่ 10 โมเลกุลขึ้นไป เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkages) เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งมีอยู่ถึง 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเนื้อวัสดุคงเหลือทางการเกษตรทั้งหมด ในเซลล์พืชมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักมีลักษณะทนต่อการย่อยสลายด้วยกรดและเอนไซม์ มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ส่วนเฮมิเซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์สายสั้นทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงระหว่างเซลลูโลสและลิกนิน มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน

2.1.2.1 เซลลูโลส

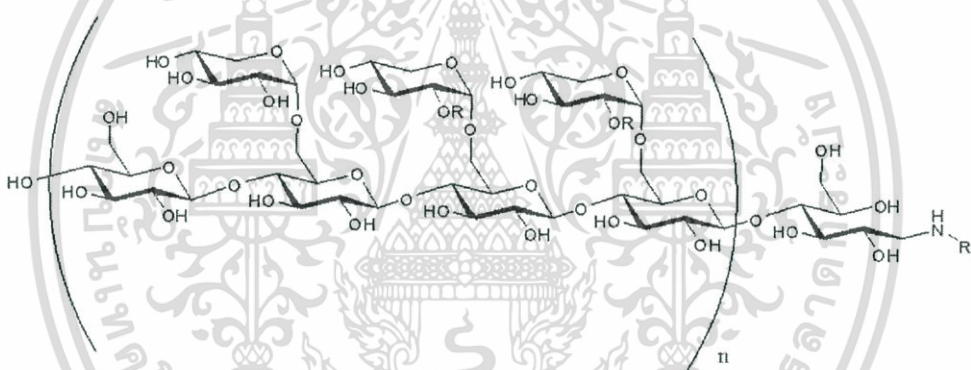
เซลลูโลสเป็นโพลีเมอร์สายยาวที่มีมวลโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 10,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β - 1 - 4 - glycosidic bond แสดงดังรูปที่ 2.1 พบทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ในผนังเซลล์พืช เซลลูโลสมีการเรียงตัวเป็นรูปผลึกที่มีความแข็งแรงซึ่งเกิดจากโครงสร้างเส้นใยเล็กๆ เรียกว่า ไฟบริล (Fibril) จัดเรียงตัวกันเป็นมัดด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกขนานกันไป โครงสร้างบางส่วนจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ ทำให้เซลลูโลสสามารถสลายตัวแยกออกจากกันได้เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดแก่ และใช้แรงกลเพื่อทำให้รูปร่างเปลี่ยนแปลง เซลลูโลสสามารถพองตัวได้ เนื่องจากมีสมบัติในการดูดความชื้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส [4]

2.1.2.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ มีโครงสร้างที่เป็นโซ่ตรงและโซ่กิ่ง มีน้ำตาลหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ทั้งน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอมและน้ำตาล 6 อะตอม มีน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลักดังรูป 2.2 แสดงถึงโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสเมื่อหมู่ R คือ ไฮโดรเจน กาแลคโทส อะราบิโนส หรือ ฟรักโทส ซึ่งจะถูกละลายได้ง่ายด้วยกรดหรือด่างเจือจาง หรือเอนไซม์ เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน (amorphous) จึงทำให้พันธะที่เชื่อมระหว่างไซโลสถูกทำลายได้ง่าย พบในไม้เนื้อแข็งมากกว่าไม้เนื้ออ่อน ส่วนใหญ่มักไม่พบเฮมิเซลลูโลสที่มีเพียงน้ำตาลไซโลสชนิดเดียวเป็นองค์ประกอบในธรรมชาติ และมีลิกนินจับตัวกันอย่างหนาแน่นด้วยพันธะโควาเลนต์ หากมีการสกัดเฮมิเซลลูโลสออก ต้องมีการขจัดลิกนิน (Delignification) ร่วมด้วย เฮมิเซลลูโลสสามารถถูกละลายได้ด้วยสภาวะที่ไม่รุนแรง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่กิ่งเป็นจำนวนมาก

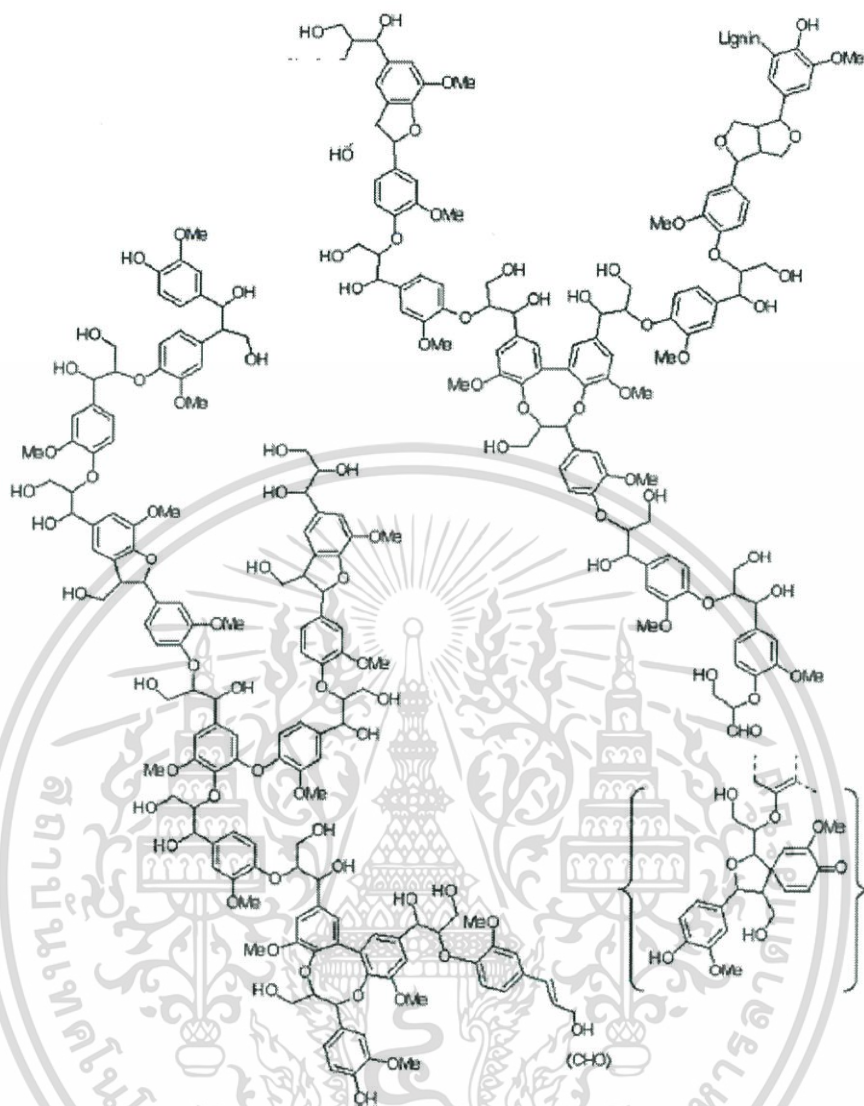


รูปที่ 2.2 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส [5]

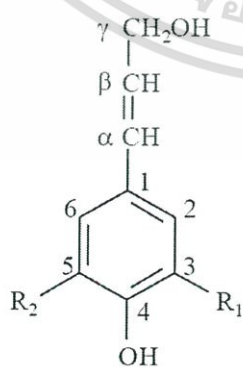
2.1.3 ลิกนิน [12]

ลิกนินเป็นโพลิเมอร์พบบริเวณผนังเซลล์ของพืชมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยโมเลกุลที่เป็นวงแหวนต่อกันแบบสุ่มมีลักษณะเป็นโครงสร้าง 3 มิติ เชื่อมต่อกันด้วยพันธะอีเธอร์หรือพันธะเอสเทอร์หรือคาร์บอนระหว่าง 2 โมเลกุล แสดงดังรูปที่ 2.3 ทำให้ลิกนินมีความทนทานต่อการย่อยสลายด้วยสารเคมีและเอนไซม์

ลิกนินมีโครงสร้างที่เกิดจากหน่วยที่เหมือนกันเชื่อมต่อกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ หน่วยย่อยของลิกนินในผนังเซลล์พืชคือ ฟีนิลโพรพานอยด์ (Phenyl propanoid) ที่มีหมู่เมธิลอยู่บนโมเลกุล ลิกนินจากเนื้อไม้อ่อน หญ้า และไม้เนื้อแข็งมีองค์ประกอบของหมู่แทนที่พวกเมธอกซี (Methoxy) และการเกิดพันธะระหว่างหมู่ฟีนิลที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 โครงสร้างลิกนิน [12]



$R_1=OMe, R_2=H$: Coniferyl alcohol/guaiacyl

$R_1=R_2=OMe$: Sinapyl alcohol/syringyl

$R_1=R_2=H$: *p*-Coumaryl alcohol

รูปที่ 2.4 โครงสร้างหน่วยย่อยของลิกนิน [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment) [12]

สามารถแบ่งออกได้ 4 วิธี คือ

1. วิธีการทางกายภาพ
2. วิธีการทางเคมี
3. วิธีการทางเคมีฟิสิกส์
4. วิธีการทางชีวภาพ

2.2.1 วิธีการทางกายภาพ (Physical Pretreatment)

2.2.1.1 การลดขนาดของสารโดยวิธีบด (Mechanical size reduction)

การลดขนาดทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ผลลัพท์ดีขึ้น แต่ขนาดอนุภาคที่เล็กลง อาจทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนในขั้นตอนอื่นๆ นำไปสู่ปัญหาการอุดตันและยังส่งผลให้ต้องใช้พลังงานในการให้ความร้อนมากขึ้น

2.2.1.2 การใช้ความร้อน (Pyrolysis)

วัตถุดิบจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส เซลลูโลสจะถูกย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วเพื่อเปลี่ยนเป็นก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น และวัสดุที่คงเหลือ การย่อยสลายเป็นไปอย่างช้าๆ และมีผลิตภัณฑ์ที่กลายเป็นไอเกิดขึ้นเล็กน้อยที่อุณหภูมิต่ำ วัตถุดิบที่คงเหลือจะถูกปรับสภาพโดยการสกัดด้วยน้ำหรือด้วยกรดอ่อน ได้ของเหลวที่เป็นแหล่งคาร์บอนที่สามารถสนับสนุนการเจริญเติบโตของไมโครเบียลเพื่อผลิตไบโอเอทานอล โดยมีกลูโคสเป็นส่วนประกอบหลักในของเหลวที่ถูกสกัด

2.2.1.3 การฉายคลื่นไมโครเวฟและรังสีอิเล็กตรอน

(Microwave oven and electron beam irradiation pretreatment)

การปรับสภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพสูงและเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สามารถทำได้ 2 วิธี คือ ปรับสภาพด้วยการให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน วิธีการให้ความร้อน เป็นผลจากการสั่นสะเทือนของพันธะที่มีขั้วในชีวมวล และตัวกลางของเหลวที่อยู่ล้อมรอบด้วยรังสีไมโครเวฟ แต่วิธีนี้ทำให้ระบบมีสภาพเป็นกรดโดยการเกิดกรดอะซิติกจากวัสดุคงเหลือทางการเกษตร ในการปรับสภาพจึงต้องใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถทนสภาพความเป็นกรดได้

สำหรับวิธีที่ไม่ให้ความร้อนหรือวิธีรังสีอิเล็กตรอน พันธะที่มีขั้วจะถูกทำให้สั่นและจัดให้เป็นแนวด้วยการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการเร่งกระบวนการทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพ

2.2.2. วิธีการทางเคมี (Chemical Pretreatment)

2.2.2.1 การปรับสภาพด้วยกรด (Acid Pretreatment)

วิธีนี้เป็นวิธีสำคัญและมีค่าการเปลี่ยนแปลงจากลิกโนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลสูง โดยทำการปรับสภาพที่ความเข้มข้นกรดเจือจางตั้งแต่ 0.2 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ที่ระหว่างอุณหภูมิ 130 ถึง 210 องศาเซลเซียส กรดซัลฟิวริกเป็นกรดที่นิยมใช้มากกว่ากรดชนิดอื่นๆ เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และกรดฟอสฟอริก เป็นต้น หลักการในการปรับสภาพวิธีนี้คือกรดจะเข้าทำปฏิกิริยากับโพลีแซคคาไรด์ โดยเฉพาะเฮมิเซลลูโลสซึ่งทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ง่ายกว่าเซลลูโลส อย่างไรก็ตามการแปรสภาพด้วยกรดส่งผลให้เกิดสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น กรดแอสติก เฟอร์ฟูรอล (furfural) และ 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรอล (5-hydroxymethylfurfural) เป็นต้น

2.2.2.2 การปรับสภาพด้วยด่าง (Alkaline Pretreatment)

วิธีนี้ใช้ด่างเป็นสารย่อยสลายลิกนิน ส่วนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดยมีหลักการคือ ขัดขวางการทำงานของผนังเซลล์โดยการละลายเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และซิลิกา จากนั้นทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยยูโรนิก และอะซิดิกเอสเทอร์ ทำให้เซลลูโลสพองตัวส่งผลให้เกิดการตกผลึกน้อย วิธีการนี้สารตั้งต้นสามารถแยกตัวเป็นลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และสารที่ไม่สามารถเปลี่ยนรูปได้ ทำให้ง่ายต่อการเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่า ส่วนสารที่ยังคงเหลืออยู่ซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นเซลลูโลสสามารถถูกใช้เพื่อผลิตเป็นกระดาษหรือเซลลูโลสรูปแบบอื่น ต่างที่ที่ใช้ในกระบวนการนี้ ได้แก่ แอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งใช้สภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำกว่าวิธีการแปรสภาพอื่นๆ

2.2.2.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเปียก (Wet oxidation)

วิธีนี้วัตถุดิบจะถูกปรับสภาพด้วยน้ำและอากาศหรือออกซิเจนที่อุณหภูมิมากกว่า 120 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของน้ำกับชีวมวลอยู่ที่ 1 ลิตรต่อ 6 กรัม หลักการของวิธีการนี้คือ ทำให้เฮมิเซลลูโลสจากวัฏภาคของแข็งเข้าสู่วัฏภาคของเหลว โดยเฮมิเซลลูโลสจะไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ส่วนโอลิโกแซคคาไรด์จะเป็นสารตั้งต้นที่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในช่วงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเปียก

2.2.3 วิธีการทางเคมีฟิสิกส์ (Physicochemical Pretreatment)

2.2.3.1 การระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam explosion)

หลักการคือทำให้วัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อิ่มตัวด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง จากนั้นลดความดันลงทันที ทำให้น้ำระเหยอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เส้นใยแยกออกจากกัน เป็นการเพิ่มขนาดและพื้นที่ผิวเพื่อให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยา ความชื้นและอุณหภูมิสูงทำให้พืชปลดปล่อยกรดอินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติกออกมา ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นการย่อยสลายเอมิเซลลูโลส ให้เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ และน้ำตาลเพนโทส บางส่วนจะกลายเป็นเฟอฟูรัล รวมทั้งน้ำตาลเฮกโซสบางส่วนก็เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลเมทิลเฟอฟูรัล (Hydroxyl methyl furfural) วิธีนี้จึงเป็นการปรับสภาพทั้งทางกายภาพและเคมีร่วมกัน

2.2.3.2 การใช้น้ำร้อนที่อัดความดัน (Liquid hot compressed water method)

เป็นวิธีที่น้ำร้อนมีความดันสูงกว่าจุดอิ่มตัวเพื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 170 ถึง 230 องศาเซลเซียส และความดันมากกว่า 5 เมกะพาสคาล ที่ระยะเวลา 20 นาที วิธีการนี้ทำให้เกิดสารยับยั้งซึ่งขัดขวางการเติบโตของจุลินทรีย์ปริมาณน้อย เช่น เพอร์ฟูรอล และกรดคาร์บอกซิลิก วิธีการนี้สามารถใช้ไฮไลสในปริมาณมากประมาณ 88 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ต้องใช้กรดเป็นสารเคมี เนื่องจากคัมค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจ

2.2.3.3 การระเบิดของเส้นใยด้วยแอมโมเนีย (Ammonia fiber explosion)

เป็นวิธีที่ใช้แอมโมเนียเหลวแทนไอน้ำ โดยทำให้ลิกโนเซลลูโลสแตกตัวด้วยความร้อนและความดันสูง จากนั้นลดความดันลงอย่างรวดเร็ว วิธีนี้ไม่ก่อให้เกิดสารยับยั้งซึ่งขัดขวางการเติบโตของจุลินทรีย์ แต่มีผลเสียในด้านประสิทธิภาพกับชีวมวลที่มีปริมาณลิกนินสูง ส่วนข้อดีของวิธีการนี้คือใช้ระยะเวลาสั้นและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับการปรับสภาพสารตั้งต้นที่มีลิกนินน้อยเมื่อเทียบกับลิกนินในอ้อย ระบบนี้ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำตาลอิสระแต่จะทำปฏิกิริยากับโพลีเมอร์ เช่น เซลลูโลสและเอมิเซลลูโลสเพื่อเกิดการย่อยสลายโดยเอนไซม์เป็นน้ำตาล วิธีนี้ต้องการระบบที่สามารถนำแอมโมเนียกลับมาใช้ได้อีกครั้งเพื่อควบคุมค่าทางเศรษฐศาสตร์จากราคาแอมโมเนียที่มีราคาสูง วิธีที่ใช้คือการใช้ระบบใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 ถึง 100 องศาเซลเซียสใช้ระยะเวลา 5 ถึง 30 นาที โดยขึ้นกับค่าการอิ่มตัวของแอมโมเนียในชีวมวล วิธีนี้ต้องการเอนไซม์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.4 การระเบิดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide explosion)

วิธีการนี้คล้ายคลึงกับการระเบิดด้วยไอน้ำและแอมโมเนีย แต่คาร์บอนไดออกไซด์มีความคุ้มค่าน่ามากกว่าการระเบิดแบบแอมโมเนีย ไม่สร้างตัวที่ยั่งยืนเหมือนกับการระเบิดด้วยไอน้ำ และค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าการระเบิดทั้งสองวิธีข้างต้น

2.2.4 วิธีการทางชีวภาพ (Biological Pretreatment)

เป็นการใช้จุลินทรีย์หรือเอนไซม์เพื่อปรับสภาพวัตถุดิบให้สามารถย่อยน้ำตาลได้ดี เช่น white rod fungi การใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายเซลลูโลสธรรมชาติให้เป็นสายยาว ซึ่งช่วยลดความเป็นผลึกหรือใช้จุลินทรีย์ในกลุ่มที่สามารถย่อยสลายลิกนินได้ จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้คาร์โบไฮเดรตบางส่วนในการเจริญเติบโต จึงเกิดการสูญเสียวัตถุดิบน้ำตาลไปส่วนหนึ่งเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโต

2.3 น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) [16]

น้ำตาลที่ถูกจัดอยู่ในรูปน้ำตาลรีดิวซ์ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทุกชนิด เช่น ไซโลส (Xylose) กลูโคส (Glucose) เป็นต้น และน้ำตาลโมเลกุลคู่สองชนิด ได้แก่ แลคโตส (Lactose) และมอลโทส (Maltose) ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติการเปิดสายโซ่จากสายโซ่ปิดเป็นสายโซ่เปิดได้ จากคุณสมบัติการทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ของหมู่ฟังก์ชันอัลดีไฮด์ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีหมู่ฟังก์ชันอัลดีไฮด์จะเรียกว่า น้ำตาลอัลโดส (Aldose) และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีหมู่ฟังก์ชันคีโตนจะเรียกว่า น้ำตาลคีโตส (Ketones) หมู่ฟังก์ชันอัลดีไฮด์นั้นสามารถถูกออกซิไดซ์ (Oxidized compound) ด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction)

การตรวจสอบน้ำตาลรีดิวซ์มีหลายวิธี เช่น วิธีวิเคราะห์โดยใช้เบนเนดิกต์ (Benedict's reagent) และสารละลายเฟห์ลิง (Fehling's solution) เป็นสารทดสอบ น้ำตาลรีดิวซ์จะรีดิวซ์ไอออน Cu^{2+} ในสารละลายทดสอบให้เป็นไอออน Cu^+ ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนของ Cu_2O ที่มีสีแดงอิฐ หรือการวิเคราะห์ด้วยสารทดสอบทอลเลน (Tollens reagent) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์จะเกิดตะกอนสีเงินคล้ายกระจก หรือการวิเคราะห์โดยใช้กรดไตรโตรซาลิซิลิก (3,5-Dinitrosalicylic acid) หรือสารละลาย DNSA ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้จากการวัดความเข้มแสง (Spectrophotometric measurement)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสภาพของวัสดุคงเหลือทางการเกษตร

2.4.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยการเพิ่มอุณหภูมิ ทำให้อัตราในการเกิดปฏิกิริยามีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการจัดลิกนินเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่หากมีการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงเกินไป อาจส่งผลให้องค์ประกอบอื่นสลายตัวด้วย เช่น เซลลูโลสจะสลายตัวเป็นน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลไซโลสเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารเฟอร์ฟูอรอล และกรดฟอร์มิก [17] ซึ่งทำให้ผลของการปรับสภาพได้ปริมาณของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่น้อยลง

2.4.2 ความเข้มข้นของสารละลายกรด

การใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดมากขึ้นในการปรับสภาพด้วยกรด ทำให้สามารถใช้อุณหภูมิต่ำในการทำปฏิกิริยา ซึ่งการใช้อุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่ต้องการได้น้อยลง ดังนั้นน้ำตาลที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณสูงขึ้น แต่มีข้อเสียคือใช้อุปกรณ์ที่ทนต่อการกัดกร่อน ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายสูง

2.4.3 ความเข้มข้นของสารละลายต่าง

การใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างมากขึ้นในการปรับสภาพด้วยต่าง ทำให้สามารถใช้อุณหภูมิต่ำในการทำปฏิกิริยา และลิกนินที่ขจัดได้มีปริมาณสูงขึ้น แต่มีข้อเสียคือ การทำความสะอาดทะเลาะปาล์มเปล่าหลังการปรับสภาพและแยกต่างนั้นต้องใช้ปริมาณน้ำและพลังงานที่สูง

2.4.4 ชนิดของวัสดุคงเหลือทางการเกษตร

เนื่องจากวัสดุคงเหลือทางการเกษตรแต่ละชนิด มีเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่แตกต่างกัน องค์ประกอบเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริมาณของลิกนินที่สกัดออกจากทะเลาะปาล์มเปล่ามีปริมาณแตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วทะเลาะปาล์มเปล่าที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส อยู่ร้อยละ 41.3–46.5 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 25.3–33.8 และลิกนินร้อยละ 27.6–32.5 [6] จะเห็นได้ว่าทะเลาะปาล์มมีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสอยู่มาก และเนื่องจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มเป็นที่ได้รับความนิยมสูง ดังนั้นทะเลาะปาล์มเปล่าซึ่งเป็นวัสดุคงเหลือทางการเกษตรจากโรงงานอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันปาล์มจึงมีปริมาณสูงเช่นกัน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Seonghun และคณะ [7] ได้ทำการวิจัยโดยการนำทะเลลายปาล์มเปล่ามาปรับสภาพแบบต่อเนื่องเพื่อเอาลิกนินออกด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 - 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลต่อลิตร โดยทำการทดลองทดลองเป็น 2 ขั้นตอนคือ การปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง และการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางในขั้นตอนแรก เป็นการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมต่อการขจัดลิกนิน พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถขจัดลิกนินออกไปได้ถึง 32 เปอร์เซ็นต์ และการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในขั้นตอนที่สองนั้นสามารถขจัดลิกนินได้เพิ่มมากขึ้นถึง 70 เปอร์เซ็นต์จากการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

Sitompul และคณะ [8] ได้นำทะเลลายปาล์มเปล่ามาผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสโดยใช้สารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ($AlCl_3$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล เพื่อศึกษาปริมาณของกรดแลคติกที่ได้ โดยดำเนินการในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะขนาด 100 มิลลิลิตร ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 140 – 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งแบ่งการทดลองเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกนำทะเลลายปาล์มเปล่ามาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยไม่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น และส่วนที่สองนำทะเลลายปาล์มเปล่ามาปรับสภาพเบื้องต้นโดยการนำมาให้ความร้อนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 – 0.5 โมลาร์ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จากผลการทดลองพบว่าปริมาณกรดแลคติกที่ได้จากทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้น อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 3.18 – 5.69 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ทะเลลายปาล์มเปล่าที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นมีปริมาณ 6.97 – 8.33 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นได้ว่า ทะเลลายปาล์มเปล่าที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นนั้น จะให้ปริมาณกรดแลคติกมากกว่าทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น เนื่องจากการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นำไปสู่การสลายตัวของน้ำตาลบางส่วนภายในทะเลลายปาล์มเปล่า

Yuen และคณะ [9] ได้ทำการสลายวัสดุด้วยความร้อนเพื่อสลายเป็นของเหลว (Liquefaction) ของฟางข้าวด้วยสารละลายผสม 2 ชนิด ได้แก่ เอทานอล กับ น้ำ และ ไอโซโพรพานอล กับ น้ำ ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดวิกฤต (Sub-critical temperature) และอุณหภูมิเหนือจุดวิกฤต (Super – critical temperature) โดยทำการศึกษาในเครื่องให้ความร้อนความดันสูง (Autoclave) ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 260 – 350 องศาเซลเซียส ความดัน 6 – 18 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งทำการทดลองโดยนำฟางข้าวที่อบแห้งแล้ว 20 กรัม และสารละลายผสม 300 มิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยาในเครื่องให้ความร้อนความดันสูงที่การปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายกับน้ำโดยน้ำหนักเป็น 1:9 3:7 5:5 จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่ให้ปริมาณของเชื้อเพลิงชีวมวลเหลว (Bio oil) สูงสุดถึงร้อยละ 39.7 โดยน้ำหนัก คือ ใช้ สารละลายผสมระหว่างไอโซโพรพานอลกับน้ำที่อัตราส่วนโดยปริมาตรเป็น 5:5 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในขณะที่ค่าความร้อนสูง (high heating value) ของเชื้อเพลิงชีวมวลเหลวจะเพิ่มขึ้นตาม อุณหภูมิของปฏิกิริยาและอัตราส่วนของตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้น

Leyanis Mesa และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาการออกแบบเพื่อผลิตเฟอร์ฟูรัลหรือน้ำตาล ไซโลสจากขานอ้อย เพื่อนำไปใช้ในการกลั่นชีวมวล (Biorefinery) สำหรับการผลิตเอทานอล โดยในการทดลองจะป้อนขานอ้อยพร้อมกับป้อนไอน้ำเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร โดยทำปฏิกิริยาที่ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก (ร้อยละ 0 และ 1.25 โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิ (175 และ 185 องศาเซลเซียส) และเวลา (10 และ 40 นาที) ที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่สามารถสกัด น้ำตาลไซโลสได้มากที่สุด คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนักแห้ง ที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที แต่สภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการเชิงปฏิบัติอยู่ที่ความเข้มข้นของกรดร้อยละ 1 โดยน้ำหนักที่อัตราส่วนของปริมาณน้ำหนักแห้งต่อปริมาตรของสารละลาย เป็น 1/4 กรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 วิธีการปรับสภาพนั้นทำได้หลากหลายวิธี โดยที่เซลลูโลสกับเฮมิเซลลูโลสสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายกรด ส่วนลิกนินนั้นสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายต่าง ซึ่งการทดลองในตอนแรก ได้ทำการทดลองปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายปูนขาว โดยทำการทดลองหาความเข้มข้นของปูนขาวและระยะเวลาในการแช่ทะลายปาล์มเปล่าที่เหมาะสมในการปรับสภาพ

ในการทดลองตอนที่สอง ได้ทำการทดลองการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าด้วยวิธีการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนด้วยสารละลายกรดในขั้นแรกแล้วจึงปรับสภาพด้วยสารละลายต่างในขั้นที่สอง โดยการทดลองในส่วนแรกจะทำการทดลองหาความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสมในการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าในสารละลายกรดซัลฟิวริก และการทดลองส่วนที่สอง ทำการทดลองปรับสภาพสองขั้นตอน โดยนำความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมจากการทดลองในส่วนแรกมาใช้ในขั้นตอนการปรับสภาพด้วยสารละลายกรด และในขั้นตอนการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างจะใช้เป็นของผสมระหว่างสารละลายไอโซโพรพานอลและปูนขาว โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลที่แตกต่างกัน เพื่อให้การแยกองค์ประกอบภายในที่เหลือทำได้ง่ายขึ้น

3.1 ปัจจัยที่ต้องการศึกษา

3.1.1 การปรับสภาพด้วยสารละลายปูนขาว

- ปริมาณของปูนขาวในการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่า
- ระยะเวลาในการแช่ทะลายปาล์มเปล่า

3.1.2 การปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน

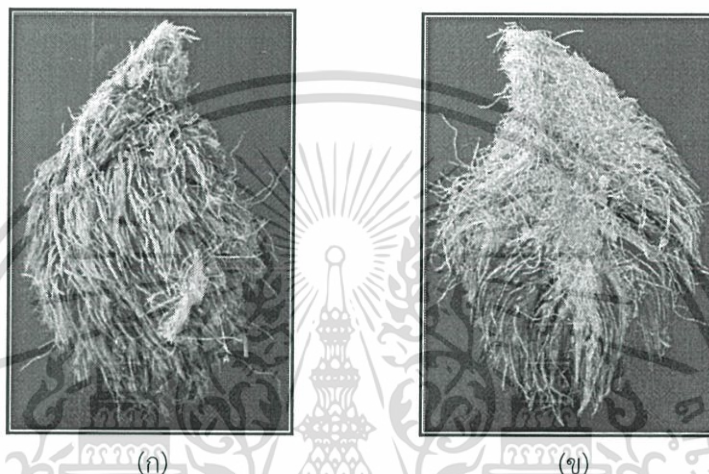
- ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการปรับสภาพขั้นตอนแรกของการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน
- ความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลที่เหมาะสมในการปรับสภาพขั้นตอนที่สองของการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

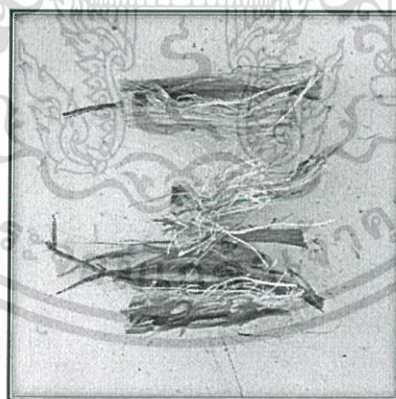
3.2 การเตรียมสารสำหรับการทดลอง

3.2.1 การเตรียมทะเลสาปัลมเปลา (OPEFB)

ทะเลสาปัลมเปลาที่นำมาทดลอง ได้ผ่านการนึ่งและแยกผลปัลมออกก่อน โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน เพื่อระเหยความชื้นของทะเลสาปัลมเปลาออกให้หมด ดังรูปที่ 3.1 เมื่อจะนำมาทดลอง นำทะเลสาปัลมเปลามาลดขนาดโดยการตัดให้เป็นชิ้นที่มีขนาดประมาณ 5 ถึง 8 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ทะเลสาปัลมเปลาหลังผ่านการอบแห้ง (ก) ผิวด้านนอก (ข) แกนภายใน



รูปที่ 3.2 ชิ้นส่วนทะเลสาปัลมเปลาที่โดนลดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก

3.2.2.1 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

เทน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร หลังจากนั้นปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก 0.67 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่น

3.2.2.2 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

เทน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร หลังจากนั้นปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก 1.33 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่น

3.2.2.3 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก

เทน้ำกลั่นปริมาตร 450 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตร 500 มิลลิลิตร หลังจากนั้นปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก 4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่น

3.2.2.4 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

เทน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร หลังจากนั้นปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก 2.67 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่น

3.2.2.5 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

เทน้ำกลั่นปริมาตร 90 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก 2.67 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่น

3.2.2.6 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 72 โดยน้ำหนัก

เทน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก 39.67 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่น

3.3 การทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการปรับสภาพทะเลาะปาล์ม เปล่าด้วยสารละลายต่าง

สารเคมีและอุปกรณ์

1. สารเคมี

1. ทะเลาะปาล์มเปล่าที่ผ่านการลดขนาดและอบแล้ว
2. น้ำกลั่น
3. แคลเซียมออกไซด์ (ปูนขาว)

2. อุปกรณ์

1. ขวดแก้วปริมาตร 150 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด	1	ขวด
2. บิวเรต	2	อัน
3. แท่งแก้ว	1	อัน
4. ปิเปตแบบใช้ตวงขนาด 5 มิลลิลิตร (Graduated pipette)	1	อัน
5. ช้อนคนสาร	1	อัน
6. ขวดเก็บสารตัวอย่าง	5	ขวด
7. ถังน้ำปริมาตร 6 ลิตร	2	ถัง
8. เครื่องให้ความร้อน (Heater)	1	เครื่อง
9. หม้อต้มความดัน	1	ใบ
10. ชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple)	1	ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายปูนขาวต่อการจัดปริมาณลิกนินในทะเลลายปาล์มเปล่า

1. นำทะเลลายปาล์มเปล่าที่อบแล้วมาชั่งน้ำหนักให้ได้ 200 กรัม
2. ชั่งปูนขาวให้ได้น้ำหนักเป็นอัตราส่วนต่อปริมาณทะเลลายปาล์มเปล่าที่ชั่งในข้อ 1 เป็น 1 ต่อ 2 ซึ่งเป็นน้ำหนักปูนขาว 100 กรัม
3. นำสารจากข้อ 1 และข้อ 2 มาผสมกันในถังน้ำแล้วเติมน้ำจนมีปริมาตรเป็น 6 ลิตร
4. กวนสารละลายให้เข้ากันแล้ววัดค่า pH
5. ปิดฝาให้สนิท และแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน
6. นำสารละลายและทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่แล้วมาใส่ลงหม้อต้มความดันที่ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และนำมาวางบนเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
7. นำเนื้อทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วมาวัดหาปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่โดยวิธี Klason Lignin
8. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 7 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักปูนขาวต่อน้ำหนักทะเลลายปาล์มเปล่าเป็น 1 ต่อ 4 ซึ่งเป็นน้ำหนักปูนขาว 50 กรัม

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่ทะเลลายปาล์มเปล่าในสารละลายปูนขาวต่อการจัดปริมาณลิกนินในทะเลลายปาล์มเปล่า

1. นำทะเลลายปาล์มเปล่าที่อบแล้วมาชั่งน้ำหนักให้ได้ 200 กรัม
2. ชั่งปูนขาวให้ได้น้ำหนักเป็นอัตราส่วนต่อปริมาณทะเลลายปาล์มเปล่าที่ชั่งในข้อ 1 เป็น 1 ต่อ 2 ซึ่งเป็นน้ำหนักปูนขาว 100 กรัม
3. นำสารจากข้อ 1 และข้อ 2 มาผสมกันในถังน้ำแล้วเติมน้ำจนมีปริมาตรเป็น 6 ลิตร
4. กวนสารละลายให้เข้ากันแล้ววัดค่า pH
5. ปิดฝาให้สนิท และแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน
6. นำสารละลายและทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่แล้วมาใส่ลงหม้อต้มความดันที่ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และนำมาวางบนเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
7. นำเนื้อทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วมาวัดหาปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่โดยวิธี Klason Lignin
8. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 7 โดยเพิ่มระยะเวลาในการแช่ทะเลลายปาล์มเปล่าเป็น 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดลองการหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการปรับสภาพทะเลลายปาล์ม เปล่าด้วยสารละลายกรด

สารเคมีและอุปกรณ์

1. สารเคมี

1. ทะลายปาล์มเปล่า
2. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 1 และ 2 โดยน้ำหนัก
3. น้ำกลั่น

2. อุปกรณ์

1. ขวดแก้วปริมาตร 150 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด	4	ขวด
2. ปิเปตแบบใช้ดวงขนาด 5 มิลลิลิตร (Graduated pipette)	1	อัน
3. แท่งแก้ว	1	อัน
4. ขวดเก็บสารตัวอย่าง	8	ขวด
5. เครื่องให้ความร้อน (Heater)	1	เครื่อง
6. อ่างน้ำมันให้ความร้อน (Oil Bath)	1	ใบ
7. ชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple)	1	ชุด

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำทะเลลายปาล์มมาชั่งน้ำหนัก 10 กรัม
2. นำสารจากข้อ 1 มาใส่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ที่เตรียมไว้ด้วยปริมาตร 150 มิลลิลิตรในขวดแก้ว และใส่น้ำกลั่นปริมาตร 150 มิลลิลิตร 1 ขวด เพื่อให้เป็นสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก
3. คนสารละลายให้เข้ากันและปิดฝาขวดให้สนิท
4. นำขวดแก้วมาวางในอ่างน้ำมันให้ความร้อน พร้อมแท่งแม่เหล็กสำหรับกวนน้ำมัน และชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. เก็บสารตัวอย่างที่เวลา 1 และ 2 ชั่วโมง โดยเก็บสารตัวอย่างด้วยปิเปตในปริมาตร 3 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเก็บสารตัวอย่าง
6. นำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การทดลองกระบวนการปรับสภาพทะเลาะปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน

จากการทดลองในตอนๆ 3.4 เมื่อนำผลการวิเคราะห์น้ำหนักสารเคมีมาเปรียบเทียบ จะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการนำมาปรับสภาพแบบสองขั้นตอน คือ ที่สภาวะความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกระหว่างร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก แต่หากใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่มากเกินไป อาจทำให้น้ำตาลรีดิวซ์เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นสารอื่น และเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้จำเป็นต้องมีความทนทานสูงและมีราคาที่สูงตามไปด้วยในเชิงปฏิบัติ และไม่ควรรใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่น้อยไป เพราะจะไม่สามารถสกัดเอมิเซลลูโลสเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้จึงเลือกความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก เพื่อทำการปรับสภาพในขั้นแรก สำหรับการปรับสภาพทะเลาะปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน ซึ่งในขั้นที่สองจะทำการทดลองการปรับสภาพด้วยสารละลายระหว่างไอโซโพรพานอลและปูนขาว ที่ความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลที่แตกต่างกัน

สารเคมีและอุปกรณ์

1. สารเคมี

1. ทะละาะปาล์มเปล่าที่ผ่านการลดขนาดและอบแล้ว
2. น้ำกลั่น
3. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (ไอโซโพรพานอล)
4. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก
5. แคลเซียมออกไซด์ (ปูนขาว)

2. อุปกรณ์

1. ขวดแก้วปริมาตร 150 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด	1	ขวด
2. บิวเรต	2	อัน
3. แท่งแก้ว	1	อัน
4. ปิเปตแบบใช้ดวงขนาด 5 มิลลิลิตร (Graduated pipette)	1	อัน
5. ซ้อนคนสาร	1	อัน
6. ขวดเก็บสารตัวอย่าง	2	ขวด
7. เครื่องให้ความร้อน (Heater)	1	เครื่อง
8. อ่างน้ำมันให้ความร้อน (Oil Bath)	1	ใบ
9. ชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple)	1	ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำทะเลลายปาล์มเปล่าที่อบแล้วมาชั่งน้ำหนักให้ได้ 10 กรัม ใส่ลงในขวดแก้ว
2. นำสารจากข้อ 1 มาใส่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ที่เตรียมไว้ ด้วยปริมาตร 150 มิลลิลิตรในขวดแก้ว
3. คนสารละลายให้เข้ากันและปิดฝาขวดให้สนิท
4. นำขวดแก้วมาวางในอ่างน้ำมันให้ความร้อน พร้อมแท่งแม่เหล็กสำหรับกวนน้ำมัน และชุดอุปกรณ์ วัดอุณหภูมิ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. เก็บสารตัวอย่างจากสารละลายด้วยปิเปตในปริมาตร 3 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเก็บสารตัวอย่างไป วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์
6. นำทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดแล้ว มาล้างให้สะอาดด้วยน้ำ
7. ใส่น้ำและไอโซโพรพานอลลงในขวดแก้วอย่างละ 75 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีอัตราส่วนของ ไอโซโพรพานอลต่อน้ำเป็น 0.5 โดยปริมาตร ที่ปริมาตรรวมเป็น 150 มิลลิลิตร
8. ชั่งปูนขาว 3 กรัม แล้วเติมลงในสารละลาย
9. คนส่วนผสมให้เข้ากันและปิดฝาขวดให้สนิท
10. นำขวดแก้วมาวางในอ่างน้ำมันให้ความร้อน พร้อมแท่งแม่เหล็กสำหรับกวนน้ำมัน และชุดอุปกรณ์ วัดอุณหภูมิ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
11. นำเนื้อทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพทั้ง 2 ขั้นตอนแล้วมาวัดหาปริมาณลิกนินที่คง เหลืออยู่โดยวิธี Klason Lignin
12. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 11 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำเป็น 0 0.25 0.75 และ 1 โดยปริมาตรตามลำดับ ที่ปริมาตรรวมเป็น 150 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทดลองกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อย่อยทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน [15]

สารเคมีและอุปกรณ์

1. สารเคมี

1. ทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน
2. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
3. น้ำกลั่น

2. อุปกรณ์

1. ขวดแก้วปริมาตร 150 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด	1	ขวด
2. ปิเปตแบบใช้ดวงขนาด 10 มิลลิลิตร (Graduated pipette)	1	อัน
3. แท่งแก้ว	1	อัน
4. ขวดเก็บสารตัวอย่าง	1	ขวด
5. เครื่องให้ความร้อน (Heater)	1	เครื่อง
6. อ่างน้ำมันให้ความร้อน (Oil Bath)	1	ใบ
7. ชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple)	1	ชุด

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำทะลายปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนด้วยอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำเป็น 0 โดยปริมาตร มาชั่งน้ำหนัก 1 กรัม
2. นำสารจากข้อ 1 มาใส่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่เตรียมไว้ ด้วยปริมาตร 20 มิลลิลิตรในขวดแก้ว
3. คนสารละลายให้เข้ากันและปิดฝาขวดให้สนิท
4. นำขวดแก้วมาวางในอ่างน้ำมันให้ความร้อน พร้อมแท่งแม่เหล็กสำหรับกวนน้ำมัน และชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
5. เก็บสารตัวอย่างด้วยปิเปตปริมาตร 3 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเก็บสารตัวอย่าง
6. นำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์
7. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 6 โดยเปลี่ยนทะลายปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน ด้วยอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำเป็น 0.25 0.5 0.75 และ 1 โดยปริมาตรตามลำดับ

3.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบลิกนินโดยวิธี Klason Lignin

สารเคมีและอุปกรณ์

1. สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 72 โดยน้ำหนัก
2. น้ำกลั่น

2. อุปกรณ์

- | | | |
|---|---|---------|
| 1. ขวดเก็บสารตัวอย่าง | 1 | ขวด |
| 2. ขวดแก้วปริมาตร 150 มิลลิลิตร | 2 | ขวด |
| 3. ปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร | 1 | อัน |
| 4. กรรไกร | 1 | อัน |
| 5. บิวเรต | 1 | อัน |
| 6. ช้อนตักสาร | 1 | อัน |
| 7. คิวเวตต์ (Cuvette) | 1 | อัน |
| 8. กระจกชนิดน้ำ | 1 | อัน |
| 9. ชุดอุปกรณ์กรองสุญญากาศ (Vacuum filter) | 1 | ชุด |
| 10. ถ้วยกรอง (Crucible) | 1 | ถ้วย |
| 11. กระจกทรง | 1 | แผ่น |
| 12. เครื่องปั่นลดขนาด | 1 | เครื่อง |
| 3. เครื่องมือวิเคราะห์ | | |
| 1. เครื่องยูวี - วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ | 1 | เครื่อง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปริมาณลิกนินจากสารตัวอย่างด้วยวิธี Klason Lignin

1. นำทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพมาล้างน้ำสะอาดและนำเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน
2. ลดขนาดชิ้นส่วนทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยเครื่องปั่นให้มีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักทะเลลายปาล์มเปล่าที่ตัดแล้วมา 0.3 กรัมใส่ลงในขวดเก็บสารตัวอย่าง
3. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 72 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 3 มิลลิลิตรลงในขวดเก็บสารตัวอย่างในข้อ 2 และปิดฝาเขย่าสารให้เข้ากันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 116 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้ว แล้วนำสารตัวอย่างในข้อ 3 มาเทใส่ขวดแก้วเพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกลงเหลือร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก
5. นำขวดแก้วในข้อที่ 5 ไปให้ความร้อนในตู้อบที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. นำขวดแก้วที่ผ่านการให้ความร้อนในข้อ 5 มาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
7. นำสารละลายในข้อ 6 มากรองด้วยชุดกรองสุญญากาศเพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวในสารละลาย
8. นำของเหลวที่กรองได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร วัดเป็นค่าของลิกนินที่ละลายในกรด (Acid-soluble lignin)
9. นำของแข็งที่กรองได้มาอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน
10. นำของแข็งที่ผ่านการอบแล้วจากข้อ 9 มาชั่งน้ำหนัก จะได้ปริมาณลิกนินที่ไม่ละลายในกรด (Acid-insoluble lignin) หรือ Klason Lignin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาลรีดิวซ์

3.8.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

สารเคมีและอุปกรณ์

1. สารเคมี

1. น้ำตาลไซโลส
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. กรดไนโตรซาลิซิลิก
4. โซเดียม – โปแทสเซียม ทาเทรต
5. น้ำกลั่น

2. อุปกรณ์

- | | | |
|-----------------------------------|----|---------|
| 1. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร | 2 | ขวด |
| 2. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร | 1 | อัน |
| 3. ปิเปตขนาด 2 มิลลิลิตร | 1 | อัน |
| 4. ปิกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร | 2 | อัน |
| 5. หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร | 10 | หลอด |
| 6. คิวเวตต์ (Cuvette) | 1 | อัน |
| 7. แผ่นให้ความร้อน (Heater) | 1 | เครื่อง |
| 8. ลูกแก้ว | 10 | ลูก |
| 9. หม้อต้มน้ำ | 1 | อัน |
| 10. แท่งแก้ว | 1 | อัน |
| 11. น้ำแข็ง | | |

3. เครื่องมือวิเคราะห์

- | | | |
|--|---|---------|
| 1. เครื่องยิวี่ – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ | 1 | เครื่อง |
|--|---|---------|

ตอนที่ 1 การเตรียมน้ำตาลไซโลสเพื่อเป็นตัววัดมาตรฐาน

1. ชั่งน้ำตาลไซโลส 0.15 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสที่มีความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. แบ่งสารละลายน้ำตาลไซโลสจากข้อ 1 มา 40 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. แบ่งสารละลายน้ำตาลไซโลสจากข้อ 1 มา 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 20 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
4. แบ่งสารละลายน้ำตาลไซโลสจากข้อ 2 มา 20 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 60 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 60 มิลลิลิตร
5. แบ่งสารละลายน้ำตาลไซโลสจากข้อ 4 มา 20 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 40 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 40 มิลลิลิตร

ตอนที่ 2 การเตรียมสารละลาย DNSA [13]

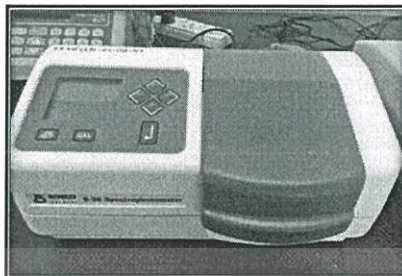
1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 0.8 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร คนให้สารละลายเข้ากันจะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. ชั่งกรดไนโตรซาลิซิลิกมา 0.5 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิลิตร จากข้อ 1 คนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
3. ชั่งโซเดียม – โฟสเฟต เข็ม ทาเทรตมา 15 กรัม ใส่ลงในสารละลายในข้อ 2 เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตร คนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บสารละลาย DNSA นี้ไว้ในขวดวัดปริมาตรแล้วหุ้มด้วยแผ่นฟอยล์เพื่อไม่ให้เสียสภาพ

ตอนที่ 3 การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับใช้คำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1. ปิเปตสารละลายน้ำตาลไซโลสที่มีความเข้มข้น 200 400 750 1,200 และ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง 5 หลอด หลอดละ 1 ความเข้มข้น และปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 1 มิลลิลิตรอีก 1 หลอด เพื่อใช้เป็นสารละลาย Blank
2. ปิเปตสารละลาย DNSA ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าสารในหลอดทดลองให้เป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำหลอดทดลองไปต้มในหม้อน้ำต้มเดือด แล้วปิดฝาของหลอดทดลองด้วยลูกแก้วเพื่อป้องกันการระเหยของสารที่บรรจุอยู่ในหลอดทดลอง ต้มเป็นเวลา 10 นาที
4. นำสารละลายที่ผ่านการต้มแล้วมาแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 นาที
5. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองทุกหลอด เขย่าให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน
6. นำสารละลายในหลอดทดลองทุกหลอดมาวัดการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยใช้ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และใช้สารละลายที่มีน้ำกลั่นในตอนแรกเป็นสารละลาย Blank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นที่ต่างกันมาสร้างกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของน้ำตาลไฮโดส



รูปที่ 3.3 เครื่องยิวี – วิสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.8.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลไฮโดสที่ได้จากการปรับสภาพ

สารเคมีและอุปกรณ์

1. สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์
2. น้ำกลั่น
3. สารละลาย DNSA

2. อุปกรณ์

- | | | |
|-------------------------------|----|---------|
| 1. ขวดเก็บสารตัวอย่าง | 8 | ขวด |
| 2. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร | 1 | อัน |
| 3. ปิเปตขนาด 2 มิลลิลิตร | 1 | อัน |
| 4. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร | 1 | อัน |
| 5. ปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร | 1 | อัน |
| 6. หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร | 10 | หลอด |
| 7. แผ่นให้ความร้อน (Heater) | 1 | เครื่อง |
| 8. ลูกแก้ว | 10 | ลูก |
| 9. หม้อต้มน้ำ | 1 | ใบ |
| 10. แท่งแก้ว | 1 | อัน |
| 11. น้ำแข็ง | | |

3. เครื่องมือวิเคราะห์

- | | | |
|---------------------------------------|---|---------|
| 1. เครื่องยิวี – วิสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ | 1 | เครื่อง |
|---------------------------------------|---|---------|

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.8 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร
2. คนให้ละลายเข้ากันได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากสารตัวอย่าง [14]

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้มาจากการทดลองไฮโดรไลซิสแต่ละการทดลองใส่ลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 1 มิลลิลิตรอีก 1 หลอด เพื่อใช้เป็นสารละลาย Blank
2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 0.75 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเพื่อสะเทินความเป็นกรดในสารละลายตัวอย่าง เขย่าหลอดทดลองเพื่อให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน
3. ปิเปตสารละลายจากข้อ 2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองและเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรสุดท้ายเป็น 10 มิลลิลิตร เพื่อเจือจางน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้ให้มีความเข้มข้นลดลง
4. ปิเปตสารละลายจากข้อ 3 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง และปิเปตสารละลาย DNSA ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เขย่าหลอดทดลองเพื่อให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน
5. นำหลอดทดลองไปต้มในหม้อน้ำต้มเดือด แล้วปิดฝาของหลอดทดลองด้วยลูกแก้วเพื่อป้องกันการระเหยของสารที่บรรจุอยู่ในหลอดทดลอง ต้มเป็นเวลา 10 นาที
6. นำสารละลายที่ผ่านการต้มแล้วมาแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 นาที
7. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองทุกหลอด เขย่าให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน
8. นำสารละลายในหลอดทดลองทุกหลอดมาวัดการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่องยูวี - วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และใช้สารละลายที่มีน้ำกลั่นในตอนแรกเป็นสารละลาย Blank
9. นำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำตาลรีดิวซ์แต่ละหลอดที่ได้มาเทียบความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากตอนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

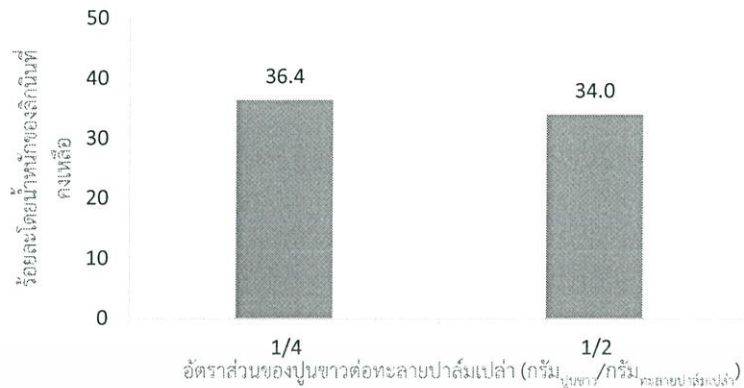
ผลการทดลองและอภิปราย

ในบทนี้จะแสดงผลที่ได้จากการทดลองได้แก่ ปริมาณของลิกนินที่ยังคงเหลือจากการทดลอง การปรับสภาพด้วยต่าง ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์จากการทดลองการปรับสภาพด้วยกรด เพื่อหาความเข้มข้นของกรซัลฟิวริกที่เหมาะสมสำหรับการทดลองการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน ปริมาณลิกนินที่คงเหลือในทะเลาะปาล์มเปล่าหลังการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน และปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์จากการทดลองการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน

ปริมาณลิกนินที่คงเหลือในทะเลาะปาล์มเปล่า จะเป็นเพียงปริมาณลิกนินในส่วนที่ไม่ละลายในกรด (Acid-insoluble lignin) หรือ Klason Lignin เพียงอย่างเดียว เพราะยังไม่สามารถหาอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณลิกนินที่ละลายในกรด (Acid-soluble lignin) ได้ แต่จากการศึกษาวิจัยของ M. Shibata et al. [10] พบว่าปริมาณลิกนินที่ละลายในกรดของทะเลาะปาล์มเปล่านั้นมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 1 เมื่อเทียบกับปริมาณลิกนินในส่วนที่ไม่ละลายในกรด ดังนั้นจึงสามารถละทิ้งการพิจารณาปริมาณลิกนินที่ละลายในกรดได้

4.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายปูนขาวต่อปริมาณลิกนินในเนื้อของทะเลาะปาล์มเปล่าหลังผ่านการปรับสภาพ

จากการทดลองการปรับสภาพได้นำทะเลาะปาล์มเปล่าที่ผ่านการลดขนาดและอบให้แห้งมาแช่ด้วยสารละลายปูนขาวที่อัตราส่วนเป็น 1 ต่อ 4 และ 1 ต่อ 2 โดยน้ำหนัก เป็นเวลาหนึ่งวัน ก่อนนำมาให้ความร้อนในหม้อความดันที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่ในเนื้อทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายปุนขาวกับอัตราส่วนความเข้มข้นของปุนขาวต่อทะเลลายปาล์มเปล่า

จากรูปที่ 4.1 พบว่าปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่ในเนื้อทะเลลายปาล์มเปล่ามีค่าลดลงไม่มากเมื่อทำการเพิ่มปริมาณปุนขาวที่ใช้ในการปรับสภาพ

4.2 ผลของระยะเวลาในการแช่ทะเลลายปาล์มเปล่าต่อปริมาณลิกนินในเนื้อของทะเลลายปาล์มเปล่าหลังผ่านการปรับสภาพ

จากการทดลองการปรับสภาพได้นำทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการลดขนาดและอบให้แห้งมาแช่ด้วยสารละลายปุนขาวที่อัตราส่วนเป็น 1 ต่อ 2 โดยน้ำหนัก ทำการแช่เป็นเวลาหนึ่งวันและสามสิบวัน ก่อนนำมาให้ความร้อนในหม้อความดันที่อุณหภูมิ 117 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2



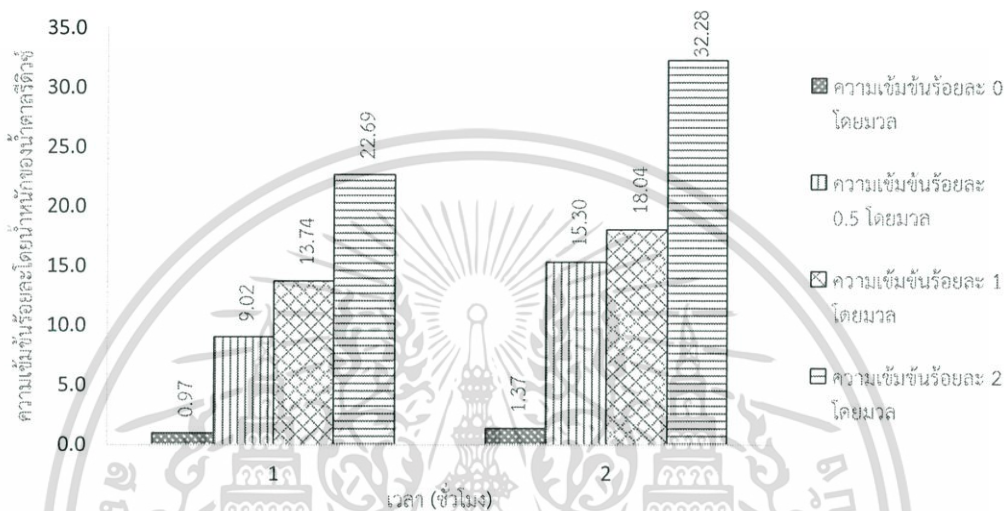
รูปที่ 4.2 ปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่ในเนื้อทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายปุนขาวกับระยะเวลาในการแช่ทะเลลายปาล์มเปล่า

จากรูปที่ 4.2 พบว่า ปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่ในเนื้อทะเลลายปาล์มเปล่ามีค่าลดลง เมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ทะเลลายปาล์มเปล่าในสารละลายปุนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพ ทะลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรด

จากการทดลองการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0 0.5 1 และ 2 โดยน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการเกิดกระบวนการ ไฮโดรไลซิสแสดงดังรูปที่ 4.3

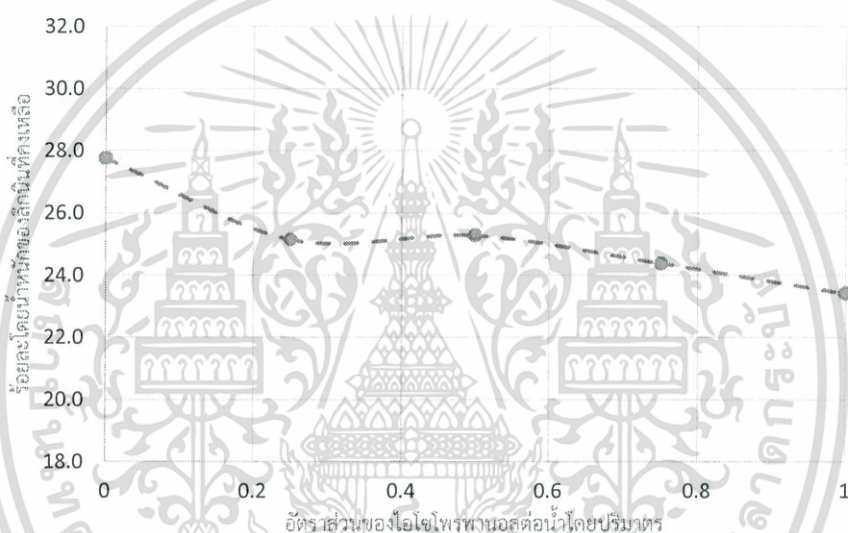


รูปที่ 4.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพด้วยสารละลายกรดกับเวลาที่ใช้ในการทำการทดลอง

จากรูปที่ 4.3 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นั้นสัมพันธ์ กับความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้และเวลาในการทำการทดลอง นั่นคือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ เกิดขึ้นนั้นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้มากขึ้นและเวลาในการทำการทดลอง นานขึ้น สำหรับการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรด ไม่ควรใช้ความเข้มข้นของ สารละลายกรดที่สูงเกินไป เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพสูง และหากใช้ความเข้มข้นของ สารละลายกรดสูงด้วย อาจทำให้น้ำตาลรีดิวซ์เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นสารอื่น และเครื่องปฏิกรณ์ ที่ใช้นั้นต้องมีความทนทานสูงและมีราคาที่สูงตามไปด้วยในเชิงปฏิบัติ แต่ก็ไม่ควรใช้ความเข้มข้นของ สารละลายที่น้อยไปเพราะจะไม่สามารถสกัดเอมิเซลลูโลสเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้ ดังนั้นจึงเลือกความ เข้มข้นของกรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก และทำการปรับสภาพเป็นเวลา 2 ชั่วโมง สำหรับการปรับสภาพในขั้นตอนแรกของการปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน

4.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลในสภาวะต่างต่อ ปริมาณลิกนินในเนื้อของทะเลายปาล์มเปล่าหลังจากการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน

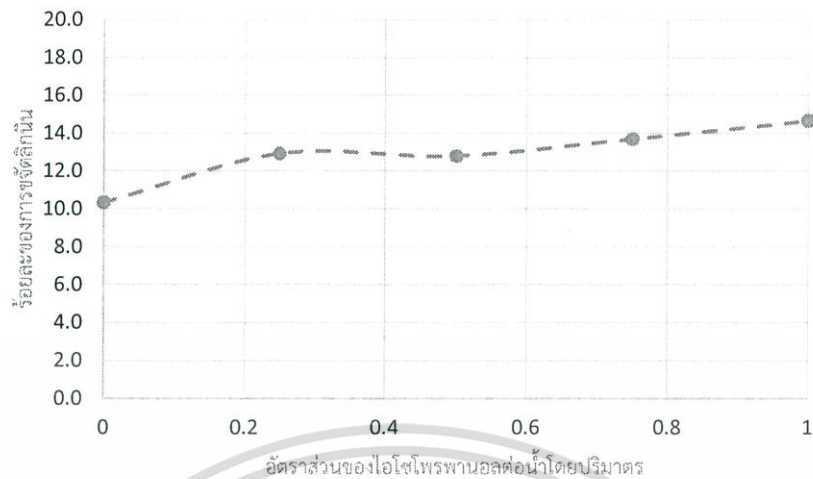
จากการทดลองปรับสภาพทะเลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน โดยการปรับสภาพด้วย สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในขั้นตอนแรก และปรับสภาพด้วยสารละลายโดยที่มีปุนขาวความเข้มข้นร้อยละ 2 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร และความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 105 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำเนื้อทะเลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนแล้วมา วิเคราะห์หาปริมาณลิกนินที่ยังคงเหลืออยู่ในเนื้อแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่ในเนื้อทะเลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนกับอัตราส่วนความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลต่อน้ำในสารละลาย

จากรูปที่ 4.4 พบว่าปริมาณของลิกนินที่คงเหลืออยู่ในเนื้อทะเลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนมีปริมาณใกล้เคียงกันแต่มีแนวโน้มลดลง เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลสูงขึ้น แต่ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลต่อน้ำในสารละลายเป็น 0 หรือ สารละลายไม่มีไอโซโพรพานอลจะมีปริมาณลิกนินที่คงเหลืออยู่มากเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายที่มี ไอโซโพรพานอลผสมอยู่ และจากการทดลองหาปริมาณลิกนินของทะเลายปาล์มเปล่าโดยไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีปริมาณลิกนินคงเหลืออยู่ร้อยละ 38.06 โดยน้ำหนักวัสดุแห้ง

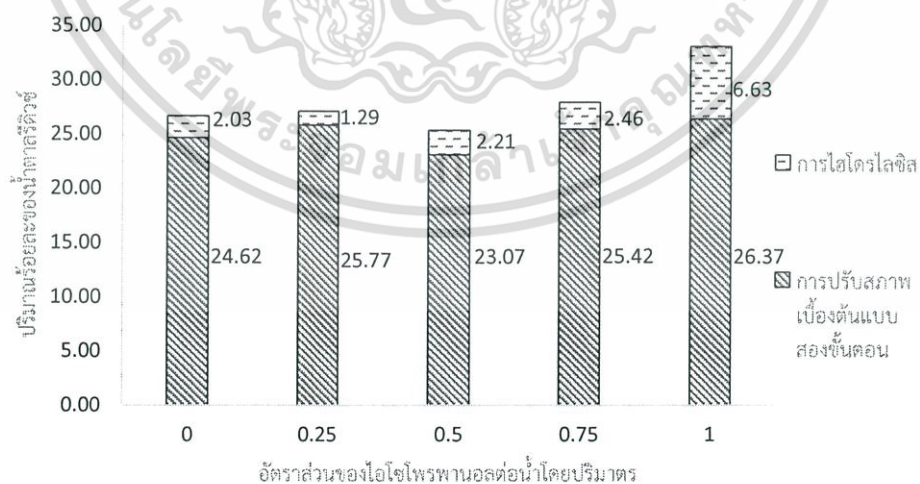
ดังนั้นการปรับสภาพทะเลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอนโดยที่สารละลายมีอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำเป็น 1 โดยปริมาตร สามารถจัดลิกนินออกได้ร้อยละ 14.65 โดยน้ำหนักวัสดุแห้ง ดังรูปที่ 4.5 หรือประมาณร้อยละ 38.49 โดยน้ำหนักของลิกนินเมื่อเปรียบเทียบกับทะเลายปาล์มเปล่าที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการขจัดกลีนินในเนื้อทะเลสาบปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนกับอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำโดยปริมาตรในสารละลาย

4.5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลในสภาวะต่างต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นของทะเลสาบปาล์มเปล่าหลังจากผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน

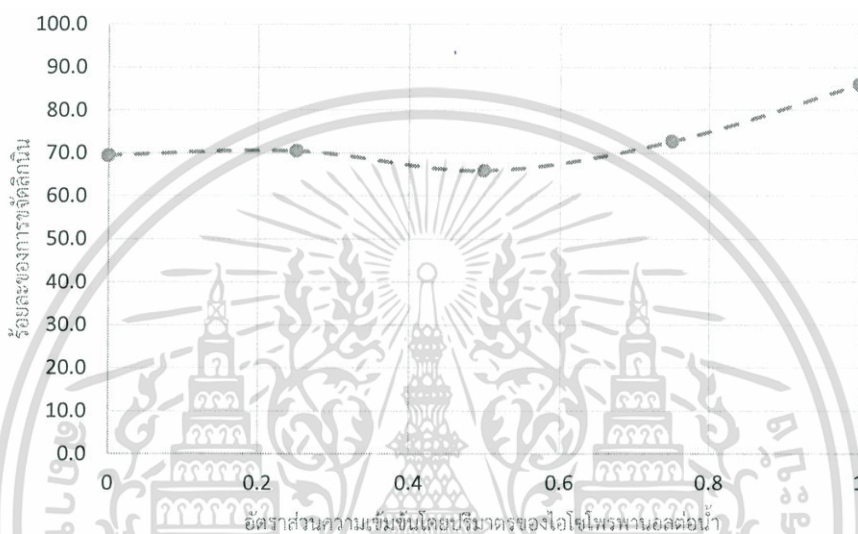
จากการทดลองการปรับสภาพทะเลสาบปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน ในขั้นตอนแรกที่ทำ การปรับสภาพทะเลสาบปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก และจากการทดลองกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อย่อยทะเลสาบปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน ซึ่งทั้งสองการทดลองนั้นสามารถสกัดน้ำตาลรีดิวซ์ออกมาจากทะเลสาบปาล์มเปล่าได้ ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนและการไฮโดรไลซิสทะเลสาบปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนกับอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำโดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 จะพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 25.05 โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นการใช้สารละลายที่มีอัตราส่วนไอโซโพรพานอลต่อน้ำเป็น 1 โดยปริมาตร ในการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ออกมาได้ร้อยละ 6.63 และเมื่อรวมกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนจะมีค่าเป็นร้อยละ 33 โดยน้ำหนักแห้ง



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้กลับคืนรวมทั้งหมดจากการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนและจากการไฮโดรไลซิสทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนกับอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำโดยปริมาตร

จากการศึกษาพบว่าปริมาณเฮมิเซลลูโลสในทะเลลายปาล์มเปล่ามีอยู่ประมาณร้อยละ 33.8 [1] โดยน้ำหนักแห้ง ดังนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดที่สามารถสกัดได้มีค่าประมาณร้อยละ 38.41 โดยน้ำหนักแห้ง จากรูปที่ 4.7 พบว่าที่การใช้สารละลายที่มีอัตราส่วนไอโซโพรพานอลต่อน้ำเป็น 1 ในการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน จะมีค่าร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้กลับคืนประมาณ 85.91 หรือสามารถสกัดน้ำตาลรีดิวซ์ออกมาได้เกือบทั้งหมด และสำหรับที่อัตราส่วนไอโซโพรพานอลต่อน้ำอื่นๆ จะมีค่าร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้กลับคืนอยู่ที่ประมาณ 70

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะพบว่า การปรับสภาพด้วยสารละลายปูนขาวเพียงอย่างเดียว สามารถขจัดลิคินที่คงเหลือในทะเลลายปาล์มเปล่าได้ในปริมาณที่ไม่สูง ดังแสดงผลการทดลองในบทที่ 4.1 และ ผลการทดลองในบทที่ 4.2 ถึงแม้ว่าจะใช้ปริมาณปูนขาวในการปรับสภาพมากขึ้น หรือเพิ่มระยะเวลาในการแช่ แต่เนื่องจากปูนขาวมีความเป็นด่างต่ำ ทำให้ความสามารถในการทำลายโครงสร้างของลิคินต่ำด้วย ดังนั้นการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายปูนขาวเพียงอย่างเดียวที่สภาวะนี้ ยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในเชิงปฏิบัติ

ในส่วนการทดลองการปรับสภาพแบบสองขั้นตอนนั้น ในขั้นแรกเมื่อทำการปรับสภาพสารละลายกรดซัลฟิวริก จะทำให้น้ำตาลรีดิวซ์ที่อยู่ภายในเนื้อทะเลลายปาล์มเปล่าถูกสกัดออกมา เพื่อให้การกำจัดลิคินในขั้นที่สองได้ผลดียิ่งขึ้น จากผลการทดลองในบทที่ 4.3 จะเห็นว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ถูกสกัดออกมาจะมีปริมาณที่สูงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการปรับสภาพและความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก แต่ถ้าหากใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่มากเกินไป จะทำให้ผลของการไฮโดรไลซิสของทะเลลายปาล์มเปล่าหลังจากการปรับสภาพเพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์นั้นน้อยลง จึงต้องใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมต่อการปรับสภาพในขั้นแรก จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่สามารถสกัดน้ำตาลรีดิวซ์ได้ปริมาณที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงของความเข้มข้นร้อยละ 1 ถึง 2 โดยน้ำหนัก แต่หากใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่มากเกินไป อาจทำให้น้ำตาลรีดิวซ์เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นสารอื่น และเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ขึ้นต้องมีความทนทานสูงและมีราคาที่สูงตามไปด้วยในเชิงปฏิบัติ และไม่ควรใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่น้อยไปเพราะจะไม่สามารถสกัดเฮมิเซลลูโลสเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้ จึงสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมต่อการปรับสภาพในขั้นแรกจะอยู่ที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก โดยทำการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และส่วนของการปรับสภาพในขั้นที่สอง จากผลการทดลองในบทที่ 4.4 เมื่อทำการปรับสภาพโดยใช้สารละลายที่ปริมาณของปูนขาวคงที่ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณลิคินที่คงเหลือในทะเลลายปาล์มเปล่าน้อยลง หรือสามารถขจัดลิคินออกจากทะเลลายปาล์มเปล่าได้มากขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การใช้สารละลายที่มีอัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำเป็น 1 โดยปริมาตร หรือคือปูนขาวในตัวทำลายไอโซโพรพานอลเพียงอย่างเดียว

เหมาะสำหรับการใช้เป็นสารละลายในการปรับสภาพขั้นที่สอง เพราะสามารถจัดลิกนินออกมาได้มากที่สุด

เมื่อทำการทดลองไฮโดรไลซิสเพื่อย่อยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน แล้ววัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สามารถสกัดได้และรวมกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน พบว่าที่สารละลายที่มีอัตราส่วนความเข้มข้นของไอโซโพรพานอลต่อน้ำเป็น 1 สามารถสกัดน้ำตาลรีดิวซ์ออกมาได้รวมร้อยละ 33 โดยน้ำหนักแห้ง หรือร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ที่นำกลับมาได้เป็น 85.91 สรุปได้ว่าการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน โดยการปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำมาปรับสภาพต่อด้วยปูนขาวความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายไอโซโพรพานอลเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เหมาะสมต่อการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงและจัดลิกนินออกมาได้มาก

ทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแบบสองขั้นและกระบวนการไฮโดรไลซิสแล้ว คาดว่าจะมีองค์ประกอบภายในที่เหลือส่วนมากคือเซลลูโลส ซึ่งเหมาะสมต่อการนำเซลลูโลสในองค์ประกอบนี้ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่นเพื่อเพิ่มมูลค่าได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นอาจมีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงเพียงเล็กน้อย จะส่งผลให้การอ่านค่าปริมาณน้ำตาลผิดพลาดได้ จึงควรทำการตรวจวัดซ้ำสองถึงสามครั้งต่อหนึ่งสารตัวอย่าง เพื่อได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกับค่าที่ควรวัดได้จริงมากที่สุด หรือวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำ
2. ในการทดลอง ควรทำการทดลองซ้ำ เพื่อลดการเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้น้อยที่สุด
3. การลดขนาดตัวอย่างทะเลลายปาล์มเปล่า ควรใช้เครื่องบดขนาดและผ่านตะแกรงคัดขนาดเพื่อให้ได้ปริมาณลิกนินจากการจัดลิกนินโดยวิธี Klason lignin เป็นไปอย่างถูกต้อง
4. ควรวิเคราะห์ปริมาณของเซลลูโลสที่ยังคงอยู่ในทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ X-ray Diffraction (XRD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Geng, "Conversion of Oil Palm Empty Fruit Bunch to Biofuels," in *Liquid, Gaseous and Solid Biofuels - Conversion Techniques*, Z. Fang, Ed. InTech, 2013.
- [2] L. Mesa, M. Morales, E. González, C. Cara, I. Romero, E. Castro, and S. I. Mussatto, "Restructuring the processes for furfural and xylose production from sugarcane bagasse in a biorefinery concept for ethanol production," *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 85, pp. 196–202, Nov. 2014.
- [3] S. Kim and M. T. Holtzapple, "Lime pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover," *Bioresour. Technol.*, vol. 96, no. 18, pp. 1994–2006, Dec. 2005.
- [4] "Cellulose," *Wikipedia, the free encyclopedia*. 08-May-2015.
- [5] "Aminated hemicellulose molecule and method for production thereof."
- [6] S. Kim, J. M. Park, J.-W. Seo, and C. H. Kim, "Sequential acid-/alkali-pretreatment of empty palm fruit bunch fiber," *Bioresour. Technol.*, vol. 109, pp. 229–233, Apr. 2012.
- [7] J. Gandi, M. T. Holtzapple, A. Ferrer, F. M. Byers, N. D. Turner, M. Nagwani, and S. Chang, "Lime treatment of agricultural residues to improve rumen digestibility," *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol. 68, no. 3–4, pp. 195–211, Oct. 1997.
- [8] J. P. Sitompul, R. F. Simangunsong, A. A. Asrizal, H. Alisyahbana, H. W. Lee, and C. B. Rasrendra, "Catalytic Conversion of Empty Fruit Bunch of Palm Oil for Producing Lactic Acid," *Procedia Chem.*, vol. 9, pp. 88–93, 2014.
- [9] X. Z. Yuan, H. Li, G. M. Zeng, J. Y. Tong, and W. Xie, "Sub- and supercritical liquefaction of rice straw in the presence of ethanol–water and 2-propanol–water mixture," *Energy*, vol. 32, no. 11, pp. 2081–2088, Nov. 2007.
- [10] M. Shibata, M. Varman, Y. Tono, H. Miyafuji, and S. Saka, "Characterization in Chemical Composition of the Oil Palm (*Elaeis guineensis*)," *J. Jpn. Inst. Energy*, vol. 87, no. 5, pp. 383–388, 2008.
- [11] "ทบทวนเอกสาร". ค้นหามาเมื่อ 13 สิงหาคม 2557, จาก http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/biot0352at_ch2.pdf.

- [12] “Basics of Kraft Pulping Lignin”. Retrieved 10 July 2014, from http://www.ipst.gatech.edu/faculty/ragauskas_art/technical_reviews/Basics%20of%20Kraft%20Pulping.pdf
- [13] Goodwin, J. F. “Micromethod for Measuring Pentose by Use of an Aniline Reagent”. CLINICAL CHEMISTRY, 17(5), 397, 1971.
- [14] Sarkar, N., S.K. Ghosh, et al. “Bioethanol production from agricultural wastes”. Renewable Energy, 37(1), 19 – 27, 2012.
- [15] ธนวัฒน์ ขำนิวิกัยวงศ์ และ ชัยกฤต เพิ่มสุข. 2555. “การไฮโดรไลซิสหะลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์.” ปรินญาณิพนธิวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [16] Campbell, M. K., Farrell, S. O. “Biochemistry”. 459. USA: Mary Finch, 2012.
- [17] Jong, W. D., & Marcotullio G. “Overview of biorefineries based on co – production of furfural, existing concepts and novel developments”. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 8(A69), 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



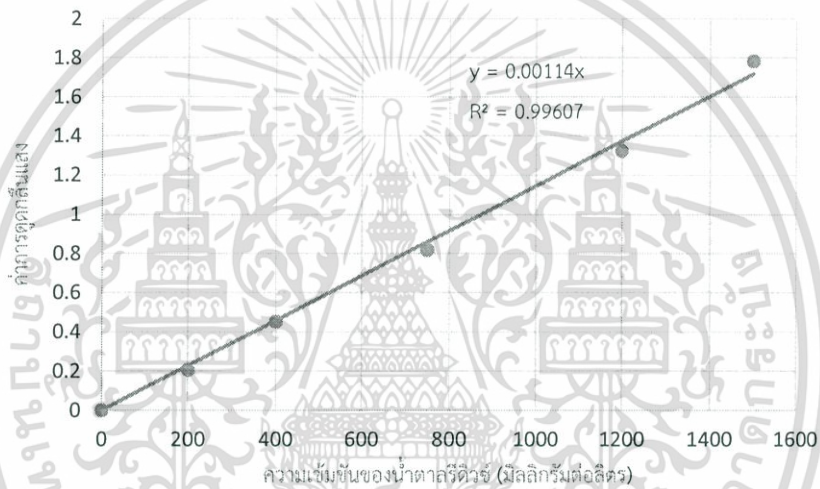
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
กราฟมาตรฐาน

กราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์

รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์กับความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์

ภาคผนวก ข

การคำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส

1. คำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสที่เตรียมเป็นกราฟมาตรฐาน

1.1 น้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งน้ำตาลไซโลส 0.15 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายไซโลสความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.2 น้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร

แบ่งสารละลายที่เตรียมจากสารละลายไซโลสความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 40 มิลลิลิตร

จากสูตร $N_1V_1 = N_2V_2$

N_1 คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V_1 คือ ปริมาณของน้ำที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (มิลลิลิตร)

N_2 คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสที่ต้องการเตรียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V_2 คือ ปริมาณของน้ำที่ทราบความเข้มข้นที่ต้องการเตรียม (มิลลิลิตร)

$$1,500 \times 40 = 1,200 \times V_2$$

$$V_2 = 50 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น ปริมาตรรวมของสารละลายความเข้มข้น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 50 มิลลิลิตร

1.3 น้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร

แบ่งสารละลายที่เตรียมจากสารละลายไซโลสความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

มา 10 มิลลิลิตร

จากสูตร $N_1V_1 = N_2V_2$

$$1,500 \times 10 = 750 \times V_2$$

$$V_2 = 20 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น ปริมาตรรวมของสารละลายความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 20 มิลลิลิตร

1.4 น้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

แบ่งสารละลายที่เตรียมจากสารละลายไซโลสความเข้มข้น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 20 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad N_1V_1 &= N_2V_2 \\ 1,200 \times 20 &= 400 \times V_2 \\ V_2 &= 60 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรรวมของสารละลายความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 60 มิลลิลิตร

1.5 น้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

แบ่งสารละลายที่เตรียมจากสารละลายไซโลสความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 20 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad N_1V_1 &= N_2V_2 \\ 400 \times 20 &= 200 \times V_2 \\ V_2 &= 40 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรรวมของสารละลายความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 40 มิลลิลิตร

2. คำนวณหาความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เมื่อเทียบจากกราฟมาตรฐาน

จากการทดลองปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังจากการปรับสภาพทะเลาะปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก โดยนำสารละลายตัวอย่างมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNSA หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

2.1 ตัวอย่างการคำนวณเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก

เมื่อเก็บสารละลายตัวอย่างที่เวลา 2 ชั่วโมง มา 1 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดสารละลายที่เจือจาง 1 มิลลิลิตร นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNSA ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.076

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส คือ

$$Y = 0.0014 \times X$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

X คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$$\text{แทนค่า} \quad Y = 0.0014 \times 0.076$$

$$X = 66.67 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากก่อนที่จะนำสารละลายตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสง มีการเจือจางสารละลาย 10 เท่า ดังนั้นความเข้มข้นหลังจากเก็บสารละลายตัวอย่างมาจึงต้องนำมาคูณกลับ

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์} &= 66.67 \times 10 \\ &= 666.67 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}\end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อปรับสภาพละลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดเข้มข้นร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก ที่เวลา 2 ชั่วโมง มีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 666.67 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 ตัวอย่างการคำนวณเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

เมื่อเก็บสารละลายตัวอย่างที่เวลา 2 ชั่วโมง มา 1 มิลลิลิตร นำสารละลายทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายมา 1 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายที่เจือจาง 1 มิลลิลิตร นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNSA ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.68

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส คือ

$$Y = 0.0014 \times X$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

X คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$$\text{แทนค่า } Y = 0.0014 \times 0.68$$

$$X = 596.49 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

เนื่องจากก่อนที่จะนำสารละลายตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสง มีการเจือจางสารละลาย 1.25×10 เท่ากับ 12.5 เท่า ดังนั้นความเข้มข้นหลังจากเก็บสารละลายตัวอย่างมาจึงต้องนำมาคูณกลับ

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์} &= 596.49 \times 12.5 \\ &= 7,456.14 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}\end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อปรับสภาพละลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่เวลา 2 ชั่วโมง มีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 7,456 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3 ตัวอย่างการคำนวณเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

เมื่อเก็บสารละลายตัวอย่างที่เวลา 2 ชั่วโมง มา 1 มิลลิลิตร นำสารละลายทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 มิลลิลิตร ปิดสารละลายมา 1 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดสารละลายที่เจือจาง 1 มิลลิลิตร นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNSA ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.668

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของน้ำตาลโซโลส คือ

$$Y = 0.0014 \times X$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

X คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

แทนค่า $Y = 0.0014 \times 0.668$

$$X = 585.96 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

เนื่องจากก่อนที่จะนำสารละลายตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสง มีการเจือจางสารละลาย 1.5×10 เท่ากับ 15 เท่า ดังนั้นความเข้มข้นหลังจากเก็บสารละลายตัวอย่างมาจึงต้องนำมาคูณกลับ

แทนค่า ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ = 585.96×15

$$= 8,789 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

ดังนั้น เมื่อปรับสภาพทะเลาะปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่เวลา 2 ชั่วโมง มีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 8,789 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4 ตัวอย่างการคำนวณเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก

เมื่อเก็บสารละลายตัวอย่างที่เวลา 2 ชั่วโมง มา 1 มิลลิลิตร นำสารละลายทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตร ปิดสารละลายมา 1 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดสารละลายที่เจือจาง 1 มิลลิลิตร นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNSA ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 1.069

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของน้ำตาลโซโลส คือ

$$Y = 0.0014 \times X$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

X คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

แทนค่า $Y = 0.0014 \times 1.069$

$$X = 937.72 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

เนื่องจากก่อนที่จะนำสารละลายตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสง มีการเจือจางสารละลาย 1.75×10 เท่ากับ 17.5 เท่า ดังนั้นความเข้มข้นหลังจากเก็บสารละลายตัวอย่างมาจึงต้องนำมาคูณกลับ

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์} &= 937.72 \times 17.5 \\ &= 16,410 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ที่เวลา 2 ชั่วโมง มีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 16,410 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.5 ตัวอย่างการคำนวณเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

เมื่อเก็บสารละลายตัวอย่างที่เวลา 2 ชั่วโมง มา 1 มิลลิลิตร นำสารละลายทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตร บีบเปิดสารละลายมา 1 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร จากนั้นบีบเปิดสารละลายที่เจือจาง 1 มิลลิลิตร นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNSA ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.897

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส คือ

$$Y = 0.0014 \times X$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

X คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad Y &= 0.0014 \times 0.897 \\ X &= 786.4 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

เนื่องจากก่อนที่จะนำสารละลายตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสง มีการเจือจางสารละลาย 2×10 เท่ากับ 20 เท่า ดังนั้นความเข้มข้นหลังจากเก็บสารละลายตัวอย่างมาจึงต้องนำมาคูณกลับ

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์} &= 786.4 \times 20 \\ &= 15,728 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ที่เวลา 2 ชั่วโมง มีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 15,728 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.6 ตัวอย่างการคำนวณเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

เมื่อเก็บสารละลายตัวอย่างที่เวลา 4 ชั่วโมง มา 1 มิลลิลิตร นำสารละลายทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายมา 1 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายที่เจือจาง 1 มิลลิลิตร นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNSA ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.033

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของน้ำตาลโซลอส คือ

$$Y = 0.0014 \times X$$

เมื่อ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

X คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

แทนค่า $Y = 0.0014 \times 0.033$

$$X = 28.95 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

เนื่องจากก่อนที่จะนำสารละลายตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสง มีการเจือจางสารละลาย 3.5×10 เท่ากับ 35 เท่า ดังนั้นความเข้มข้นหลังจากเก็บสารละลายตัวอย่างมาจึงต้องนำมาคูณกลับ

แทนค่า ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ = 28.95×35

$$= 1,013 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

ดังนั้น เมื่อไฮโดรไลซิสละลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่เวลา 2 ชั่วโมง มีความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 1,013 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาคผนวก ค

ข้อมูลผลการทดลอง

การคำนวณหาปริมาณลิกนินที่เกิดขึ้น

$$\text{ร้อยละของลิกนินที่คงเหลือ} = \frac{\text{ปริมาณลิกนินที่คงเหลือรวม}}{\text{ปริมาณสารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละของการขจัดลิกนิน} = \frac{\text{ปริมาณลิกนินที่คงเหลือรวม}}{\text{ปริมาณลิกนินที่คงเหลือรวมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ}} \times 100$$

ตารางที่ ค.1 ปริมาณลิกนินคงเหลือในทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายต่าง

อัตราส่วนปริมาณปูนขาวต่อน้ำโดยน้ำหนัก	ร้อยละของลิกนินที่คงเหลือ	ร้อยละของการขจัดลิกนิน
0.25	36.4	4.4
0.50	34.0	10.8

ตารางที่ ค.2 ปริมาณลิกนินคงเหลือในทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างที่ระยะเวลาในการแช่ที่ต่างกัน

ระยะเวลาในการแช่ทะลายปาล์มเปล่า (วัน)	ร้อยละของลิกนินที่คงเหลือ	ร้อยละของการขจัดลิกนิน
1	34.0	10.8
30	29.1	23.5

การคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น

ร้อยละของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด

$$\begin{aligned}
 &= \text{ร้อยละของปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงสุด} \times \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุลไซโลสในรูปน้ำตาลรีดิวซ์}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลไซโลสในรูปเฮมิเซลลูโลส}} \\
 &= 33.8 \times \frac{150}{132} \\
 &= 38.4
 \end{aligned}$$

ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ = $\frac{\text{ความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสที่ได้จากการแปลงกราฟมาตรฐาน}}{\text{ปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก}}$

ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลรีดิวซ์ = $\frac{\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์}}{\text{ปริมาณทะเลายปาล์มเปล่าที่ใช้}} \times 100$

ร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ที่นำกลับมาได้ (% Recovery) = $\frac{\text{ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลรีดิวซ์}}{\text{ร้อยละของปริมาณน้ำตาลสูงสุด}} \times 100$

ตารางที่ ค.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างจากการปรับสภาพทะเลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรด

ความเข้มข้นร้อยละ โดยน้ำหนักของ สารละลายกรด ซัลฟิวริก	ค่าการดูดกลืนแสง	
	ที่เวลา 1 ชั่วโมง	ที่เวลา 2 ชั่วโมง
0	0.054	0.076
0.5	0.401	0.680
1	0.509	0.668
2	0.630	0.897

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพทะเลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรด
ที่เวลา 1 ชั่วโมง

ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักของสารละลายกรดซัลฟิวริก	ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม)	ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลรีดิวซ์	ร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ที่นำกลับมาได้
0	473	0.0711	1.0	2.5
0.5	4,394	0.6592	9.0	23.5
1	6,692	1.0039	13.7	35.8
2	11,052	1.6579	22.7	59.1

ตารางที่ ค.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพทะเลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรด
ที่เวลา 2 ชั่วโมง

ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักของสารละลายกรดซัลฟิวริก	ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม)	ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลรีดิวซ์	ร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ที่นำกลับมาได้
0	666	0.1000	1.4	3.6
0.5	7,456	1.1184	15.3	39.8
1	8,789	1.3184	18.0	47.0
2	15,728	2.3592	32.3	84.0

ตารางที่ ค.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างจากการปรับสภาพทะเลายปาล์มเปล่าแบบ
สองขั้นตอน ปรับสภาพในขั้นแรกด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5
โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

การทดลองที่	ค่าการดูดกลืนแสง
1	1.069
2	1.119
3	1.002
4	1.104
5	1.145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ปริมาณน้ำตาลรีตีวซ์ที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน ในการปรับสภาพขั้นแรกด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

การทดลองที่	ความเข้มข้นของ น้ำตาลรีตีวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณของ น้ำตาลรีตีวซ์ (กรัม)	ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลรีตีวซ์	ร้อยละของ น้ำตาลรีตีวซ์ที่นำกลับมาได้
1	16,410	2.46	24.6	64.1
2	17,178	2.58	25.8	67.1
3	15,382	2.31	23.1	60.1
4	16,947	2.54	25.4	66.2
5	17,577	2.64	26.4	68.6

ตารางที่ ค.8 ปริมาณลิกนินคงเหลือในทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน

อัตราส่วนของไฮโซโพรพานอล ต่อ น้ำโดยปริมาตร	ปริมาณลิกนินที่ไม่ละลายในกรด (กรัม)	ร้อยละของลิกนินที่คงเหลือ	ร้อยละของการขจัดลิกนิน
0	0.1105	27.8	27.1
0.25	0.0991	25.1	33.9
0.50	0.0981	25.3	33.6
0.75	0.1004	24.4	36.0
1	0.0956	23.4	38.5

ตารางที่ ค.9 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างจากกระบวนการไฮโดรไลซิสทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน

อัตราส่วนของไฮโซโพรพานอลต่อ น้ำโดยปริมาตร	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.033
0.25	0.021
0.50	0.036
0.75	0.040
1	0.108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไฮโดรไลซิสทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่าน
การปรับสภาพแบบสองขั้นตอน

อัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำโดยปริมาตร	ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม)	ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลรีดิวซ์	ร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ที่นำกลับมาได้
0	1,013	0.0203	2.0	5.1
0.25	644	0.0129	1.3	3.2
0.50	1,105	0.0221	2.2	5.8
0.75	1,228	0.0246	2.5	6.4
1	3,316	0.0663	6.6	17.3

ตารางที่ ค.11 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นรวมจากปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าแบบสองขั้นตอน
และการไฮโดรไลซิสทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพแบบสองขั้นตอน

อัตราส่วนของไอโซโพรพานอลต่อน้ำโดยปริมาตร	ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลรีดิวซ์			ร้อยละของน้ำตาลรีดิวซ์ที่นำกลับมาได้
	การปรับสภาพแบบสองขั้นตอน	การไฮโดรไลซิส	รวม	
0	24.6	2.0	26.6	69.4
0.25	25.8	1.3	27.1	70.4
0.50	23.1	2.2	25.3	65.8
0.75	25.4	2.5	27.9	72.6
1	26.4	6.6	33.0	85.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้