

การเกิดน้ำตาคริสติวซ์จากทะเลสาบปาล์มเปล่าโดยใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส



นางสาวกฤษดาภรณ์ อินทรกำแหง

นางสาวศันสนีย์ ธีธำไพ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การเกิดน้ำตาลรีดิวซ์จากทะเลลายปาล์มเปล่าโดยใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HYDROLYSIS OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH FIBERS TO
PRODUCE REDUCING SUGAR



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2013

ปริญญานิพนธ์เรื่อง
โดย

การเกิดน้ำตาลรีดิวซ์จากทะเลสาบปาล์มเปล่าโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส
นางสาวกฤษดาภรณ์ อินทรกำแหง
นางสาวศันสนีย์ ธัญอำไพ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัตินับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ
(ผศ. รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

.....กรรมการ
(ดร. อีรพร สุธีวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การเกิดน้ำตาลรีดิวซ์จากทะเลลายปาล์มเปล่าโดยใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส
โดย นางสาวกฤษดาภรณ์ อินทรกำแหง
นางสาวศันสนีย์ ธัญอำไพ
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการปลูกปาล์มน้ำมันจำนวนมาก หลังจากการสกัดน้ำมันปาล์มจะทำให้มี ส่วนที่เป็นทะเลลายปาล์มเปล่าเหลือทิ้งมาก ปริญญานิพนธ์นี้จึงจะนำทะเลลายปาล์มเปล่าเหลือทิ้งมาผลิตเป็น น้ำตาลรีดิวซ์ โดยใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในงานวิจัยจะนำทะเลลายปาล์มเปล่าและสารละลายกรดซัลฟูริก เจือจางใส่ลงไปเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงที่อุณหภูมิ 120 , 150 และ 180 องศาเซลเซียส มีสภาวะที่ใช้ ในการทดลองดังนี้ ทะเลลายปาล์มเปล่าที่แช่สารละลายซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 0, 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร 1 และ 2 วัน ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15, 35 และ 60 นาที ซึ่งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ คือใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส 60 นาที ทะเลลายปาล์มเปล่าที่แช่สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อ ปริมาตร เป็นเวลา 2 วัน จะได้น้ำตาลรีดิวซ์ 14.33 กรัมต่อ 100 กรัมทะเลลายปาล์มเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Hydrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunch to Produce Reducing Sugar

By Miss Krissadaporn Intarakumhaeng
Miss Sansanee Thanumpai

Advisor Assoc.Prof. Prakob Kitchaiya

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Nowadays, there is a large number of oil palm plantations in Thailand resulting in a large amount of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) as the waste resulting from palm oil extraction. In this research, we aim to use the OPEFB in order to produce the reducing sugar via hydrolysis reaction. In the experiment, OPEFB and diluted sulfuric acid solution were added into a high pressure reactor and then operated at temperature 120, 150, and 180°C respectively. The experimental conditions were 1. OPEFB were immersed in 0, 0.06% and 0.09 (w/v) sulfuric acid solution for 1 day and 2 days respectively. By varying the reaction time 15, 35, and 60 minutes, the optimum condition of hydrolysis to produce the reducing sugar was 60 minutes by using OPEFB immersed in 0.09% (w/v) sulfuric acid solution for 2 days. The product of reducing sugar was 14.33 g. per 100 gram of OPEFB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย โดยผู้ดำเนินโครงการใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ให้ความช่วยเหลือดังนี้

รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษา และชี้แนะในการแก้ปัญหาต่างๆ อีกทั้งยังแนะนำในการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณ ดร. อีรพร สุธีวงศ์ และ ผศ. รื่นฤติ เบญจางคประเสริฐ ผู้เป็นกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษามาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ สำหรับการจัดหาและซ่อมแซมเครื่องมือและอุปกรณ์

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนคุณครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ช่วยให้คำแนะนำระหว่างการทำปริญญาานิพนธ์ตลอดมา

อนึ่งยังมีผู้มีพระคุณอีกหลายท่านที่คณะผู้จัดทำยังไม่ได้กล่าวนาม และหากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอน้อมรับและกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นางสาวกฤษฎาภรณ์ อินทรกำแหง

นางสาวศันสนีย์ ธิญ่อไพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ปริมาณทะเลลายปาล์มเปล่า.....	3
2.2 องค์ประกอบของเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	3
2.2.1 องค์ประกอบที่สำคัญ.....	3
2.2.2 พอลิแซ็กคาไรด์.....	3
2.2.2.1 เซลลูโลส.....	5
2.2.2.2 เฮมิเซลลูโลส.....	6
2.2.2.3 ลิกนิน.....	6
2.3 การปรับสภาพวัตถุดิบเบื้องต้น (Pretreatment).....	7
2.3.1. Mechanical pretreatment.....	7
2.3.2. Physical pretreatment.....	7
2.3.3. Physicochemical pretreatment.....	8
2.3.4. Chemical pretreatment.....	8
2.3.5. Biological pretreatment.....	8
2.4 น้ำตาลรีดิวซ์.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....	11
2.5.1 อุณหภูมิ.....	11
2.5.2 ความดัน.....	11
2.5.3 ความเข้มข้นของสารละลายกรด.....	12
2.5.4 ชนิดของสารละลายกรด.....	12
2.5.5 เวลา.....	12
2.5.6 ชนิดของวัตถุดิบคงเหลือทางการเกษตร.....	12
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
บทที่ 3 การทดลอง.....	13
3.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา.....	13
3.2 การเตรียมสารสำหรับการทดลอง.....	13
3.2.1 สารละลายกรดซัลฟูริก.....	13
3.2.2 ทะลายปาล์มเปล่า (OPEFB).....	14
3.2.3 การปรับสภาพทะลายปาล์มเปล่าเบื้องต้น (Pre-treatment).....	14
3.3 การทดลองกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อย่อยน้ำตาลรีดิวซ์ออกมาจาก ทะลายปาล์มเปล่า.....	14
3.3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	14
3.3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	15
3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาลรีดิวซ์.....	17
3.4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับใช้วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์.....	17
3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิส.....	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย.....	21
4.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน.....	21
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการกระบวนการไฮโดรไลซิส ทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการอบแห้งและที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง.....	21
4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสของ ทะลายปาล์มเปล่าเมื่อผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสของ ทลายปาล์มเปล่าเมื่อเทียบเวลาในการแช่ทลายปาล์มเปล่า.....	24
4.4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส ของทลายปาล์มเปล่าเมื่อเทียบเวลาในการแช่สารละลายกรดซัลฟูริก เจือจาง 1 วันและ 2 วัน ที่ความเข้มข้น 0 , 0.06 , 0.09 เปอร์เซ็นต์ โดยมวลต่อปริมาตร อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส.....	26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	27
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	27
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	28
อ้างอิง.....	29
ภาคผนวก.....	30
ภาคผนวก ก การคำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์.....	31
ภาคผนวก ข ผลการคำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์โลส.....	5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเอมิเซลล์โลส.....	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลิกนิน.....	7
รูปที่ 2.4 วิธีการในการปรับสภาพเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	9
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของน้ำตาลรีดิวซ์.....	10
รูปที่ 2.6 ปฏิกริยาของวิธี DNS.....	11
รูปที่ 3.1 ทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการอบและการลดขนาด.....	13
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ชุดควบคุม เครื่องให้ความร้อน และเครื่องปฏิกรณ์สำหรับปฏิกริยาไฮโดรไลซิส.....	14
รูปที่ 3.3 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับปฏิกริยาไฮโดรไลซิส.....	15
รูปที่ 3.4 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับปฏิกริยาไฮโดรไลซิสที่ใส่ลงในเครื่องให้ความร้อน.....	15
รูปที่ 3.5 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	18
รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำตาลไฮโดรไลซิส.....	21
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการอบและ ไม่ผ่านการอบและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกริยาไฮโดรไลซิส ที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ใช้เวลาในการทำปฏิกริยา 15 นาที.....	22
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกใน ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสโดยทะลายปาล์มเปล่าผ่านการแช่มา 1 วัน.....	23
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกใน ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสโดยทะลายปาล์มเปล่าผ่านการแช่มา 2 วัน.....	23

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่กรดซัลฟูริก เจือจางที่ความเข้มข้น 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร 1 วัน และ 2 วัน โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส.....	24
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่กรดซัลฟูริก เจือจางที่ความเข้มข้น 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร 1 วัน และ 2 วัน โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส.....	25
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับทะเลลายปาล์มเปล่าที่ ผ่านการแช่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 1 วัน ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที.....	26
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับทะเลลายปาล์มเปล่า ที่ผ่านการแช่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 2 วัน ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือ กากทางการเกษตร.....	4
ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที.....	34
ตารางที่ ข.2 ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที.....	35
ตารางที่ ข.3 ปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที.....	35
ตารางที่ ข.4 ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 , 35 และ 60 นาที.....	36
ตารางที่ ข.5 ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 , 35 และ 60 นาที.....	37
ตารางที่ ข.6 ปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 , 35 และ 60 นาที.....	37
ตารางที่ ข.7 ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 , 35 และ 60 นาที.....	38
ตารางที่ ข.8 ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 , 35 และ 60 นาที.....	39
ตารางที่ ข.9 ปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 , 35 และ 60 นาที.....	39
ตารางที่ ข.10 ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากการไฮโดรไลซิสน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ที่มีการปรับสภาพเบื้องต้น 1 และ 2 วัน.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ข.11 ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสน้ำตาลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ที่มีการปรับสภาพเบื้องต้น 1 และ 2 วัน.....	40
ตารางที่ ข.12 ปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสน้ำตาลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ที่มีการปรับสภาพเบื้องต้น 1 และ 2 วัน.....	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ทะลายปาล์ม ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชังข้าวโพด ยังไม่มีการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ บางส่วนจะกำจัดโดยนำไปเผาทำลาย หรือไม่ก็นำไปเผาเพื่อให้ได้พลังงาน แต่วิธีการจัดการด้านการนำไปเผาทำลายก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และมีผลกระทบต่อด้านสุขภาพจากปัญหาหมอกควันพิษ แม้ว่าเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนี้จะนำมาผลิตเป็นปุ๋ยได้ แต่ก็ยังไม่เป็นที่สนใจแก่เกษตรกร เพราะสิ้นเปลืองแรงงานและใช้เวลานาน 3-6 เดือนในการย่อยสลาย และยังได้ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับจำนวนพื้นที่เพาะปลูกโดยเฉลี่ยของเกษตรกร การกำจัดวัสดุทางการเกษตรที่กล่าวมา ได้ก่อให้เกิดรายได้เล็กน้อยและมีผลเสียตามมามากมาย จนกระทั่งราวทศวรรษได้เกิดวิกฤตพลังงานทั่วโลกขึ้น ราคาเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้ปรับตัวขึ้นสูง ส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานปิโตรเลียมในกระบวนการผลิตต้องแบกรับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต ทำให้มีการศึกษาวิจัยที่จะนำเชื้อเพลิงอื่นมาทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียม การที่ประเทศไทยมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมากมาย จึงนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า โดยการนำมาแปรรูปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ และนำน้ำตาลรีดิวซ์ไปผลิตเป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนต่อไปในอนาคต สำหรับการแปรรูปวัสดุทางการเกษตรนั้นมีหลายวิธีเช่น การใช้เอนไซม์ในการย่อยสลาย และการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด ในปริญญานิพนธ์ที่ศึกษานี้ จะศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟูริกเจือจางโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรคือ ทะลายปาล์มเปล่า สาเหตุที่เลือกศึกษาโดยการใช้กรดชนิดนี้ เพราะกรดซัลฟูริกมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย และใช้ปริมาณกรดซัลฟูริกเพียงเล็กน้อยในการทำปฏิกิริยา ซึ่งขั้นตอนในการศึกษา คือ เลือกรสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำตาลรีดิวซ์ออกจากทะลายปาล์มเปล่า และศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการแช่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกับกรดซัลฟูริกก่อนที่จะนำมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีส่งผลต่อปริมาณการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากทะเลสาบปาล์มเปล้า
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ให้ได้ปริมาณมาก

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจากทะเลสาบปาล์มเปล้า
- 1.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในเครื่องปฏิกรณ์ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์จากทะเลสาบปาล์มเปล้า
- 1.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
- 1.3.4 วิเคราะห์หาปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ 3, 5-Dinitrosalicylic acid (DNSA)

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์
- 1.4.2 ศึกษากระบวนการผลิตและปัจจัยที่จะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา
- 1.4.3 ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์และวิธีการใช้ในการวิเคราะห์หาน้ำตาลรีดิวซ์
- 1.4.4 ออกแบบการทดลอง
- 1.4.5 ดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลอง
- 1.4.6 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองและสรุปผลการทดลอง
- 1.4.7 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดน้ำตาลรีดิวซ์จากทะเลสาบปาล์มเปล้า
- 1.5.2 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์จากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส
- 1.5.3 เป็นแนวทางในการกำจัดเศษซากวัตถุดิบเหลือทิ้งจากการเกษตรโดยไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นการเพิ่มมูลค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปริมาณทะลายปาล์มในประเทศไทย[1]

จากข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมัน สามารถประเมินปริมาณของทะลายปาล์มได้ปีละประมาณ 2.01 ล้านตัน โดยมีการนำชีวมวลประเภทนี้มาใช้ในการผลิตไฟฟ้า คิดเป็นปริมาณรวม 80,000 ตันต่อปี และใช้ในประเภทอื่นๆ เช่น ทำปุ๋ยและเพาะเห็ด คิดเป็นปริมาณ 160,000 ตันต่อปี ดังนั้นจะมีชีวมวลคงเหลือสุทธิ 1.13 ล้านตันต่อปี คิดเป็นค่าพลังงานความร้อน 16,119.18 GJ และคิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 146 MW

2.2 องค์ประกอบของเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร[2]

วัตถุดิบที่มีราคาถูก เช่น วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมอาหาร การเกษตรฟาร์มปศุสัตว์ ป่าไม้ ของเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในเขตบ้านเรือนต่างๆ รวมทั้งกระดาษและของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ซึ่งเป็นขยะที่ถูกทิ้งในสิ่งแวดล้อม ส่วนมากเป็นสารอินทรีย์ไม่มีพิษและสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในดิน ของเสียเหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อผลิตพลังงาน และผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่างๆได้ โดยวัตถุดิบที่กล่าวมานั้น มีองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งในลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยพอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin)

2.2.1 องค์ประกอบที่สำคัญ

พืชที่มีเนื้อเยื่อระบบท่อลำเลียง ในผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นส่วนประกอบหลัก โดยพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดนั้นในแต่ละชนิดจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) ทำให้ผนังเซลล์พืชมีความแข็งแรงรวมกันเป็นลิกโนเซลลูโลสซึ่งมีมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของเซลล์พืช ปริมาณของพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับ ชนิด อายุ และส่วนต่างๆ ของพืช โดยทั่วไปนั้นในไม้เนื้ออ่อนจะมีปริมาณลิกนินมากกว่าไม้เนื้อแข็ง

2.2.2 พอลิแซ็กคาไรด์

พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) เป็นโมเลกุลคาร์โบไฮเดรตสายยาวที่ประกอบด้วยหน่วย มอนอเมอร์ซ้ำๆ มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก โครงสร้างมีได้ตั้งแต่เส้นตรงไปจนถึงแตกกิ่งมากมาย พอลิแซ็กคาไรด์มักพบเป็นวิวิธพันธุ์ (heterogeneous) ซึ่งประกอบด้วยการดัดแปลงหน่วยซ้ำ ๆ เล็กน้อย โมเลกุลใหญ่เหล่านี้สามารถมีคุณสมบัติแตกต่างจากมอนอแซ็กคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบได้ ขึ้นอยู่กับโครงสร้าง เช่น อาจจะเป็นอสัณฐานหรือไม่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือภาคทางการเกษตร [2]

วัสดุลิกโนเซลลูโลส	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
หญ้า	25-40	35-50	10-30
กระดาษ	85-99	0	0-15
ฟางข้าวสาลี	30	50	15
ขยะ หรือเศษของที่ใช้แล้วแยกประเภท	60	20	20
ใบไม้	15-20	80-85	0
ใยเมล็ดฝ้าย	80-95	5-20	0
กระดาษหนังสือพิมพ์	40-55	25-40	18-30
เศษกระดาษจากหนังสือ	60-70	10-20	5-10
ของแข็งจากน้ำเสียขั้นแรก	8-15	NA	24-29
ของเสียจากโรงเลี้ยงหมู (มูลหมู)	6.0	28	NA
มูลวัว ควาย ปศุสัตว์	1.6-4.7	1.4-3.3	2.7-5.7
หญ้าพันธุ์ Coastal Bermuda	25	35.7	6.4
หญ้าพันธุ์ Switch	45	31.4	12.0

หมายเหตุ NA : ไม่มี

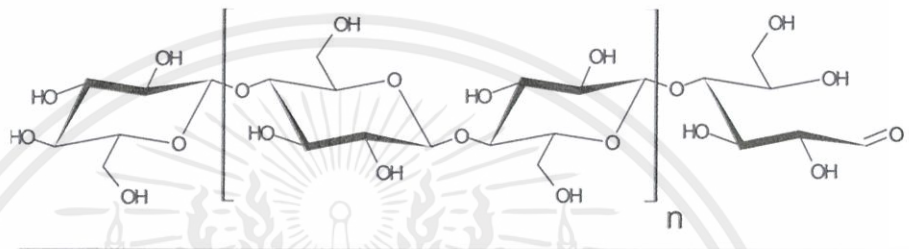
ตัวอย่างมีพอลิแซ็กคาไรด์สะสม เช่น แป้ง ไกลโคเจน และพอลิแซ็กคาไรด์โครงสร้าง เช่น เซลลูโลสและไคติน

พอลิแซ็กคาไรด์มีสูตรทั่วไปว่า $C_x(H_2O)_y$ โดยที่ x มักมีค่าระหว่าง 200 ถึง 2,500 เมื่อพิจารณาจะพบว่า หน่วยซ้ำ ในแกนพอลิเมอร์มักเป็นมโนแซ็กคาไรด์คาร์บอนหกอะตอม สูตรทั่วไปจึงอาจเขียนได้เป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ โดยที่ $40 \leq n \leq 3000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 เซลลูโลส [3]

เซลลูโลสเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคส (glucose) จำนวน 1,000-10,000 โมเลกุล ต่อกันเป็นโพลิเมอร์ (polymer) เชื่อมกันด้วย β -1, 4-glycosidic bond ระหว่าง alcoholic hydroxyl groups โดยโมเลกุลสายยาวของเซลลูโลสประกอบด้วยกลูโคส 2,000-15,000 โมเลกุล และมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 20,000-2,400,000 ดาลตัน (Dalton) การเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีแขนงย่อยมีสูตรเคมีทั่วไปคือ $[C_6H_{10}O_5]_n$ เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส สูตรโมเลกุลคือ $[C_6H_{10}O_5]_n$ [3]

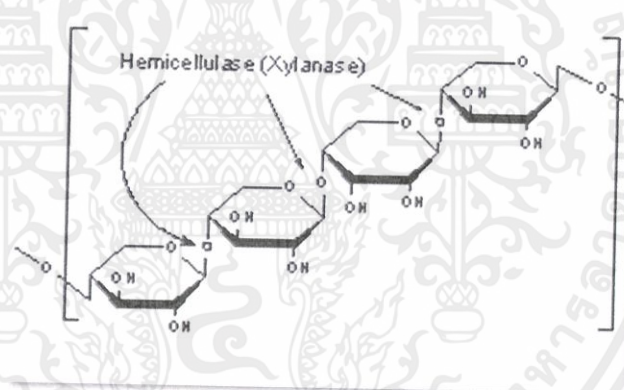
ชนิดของเซลลูโลสแบ่งตามความสามารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เป็น 3 ชนิด (Anonymous 2, 2007) คือ

1. แอลฟา-เซลลูโลส (α -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5%
2. เบต้า-เซลลูโลส (β -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% ที่อุณหภูมิห้องแต่สามารถตกตะกอนได้ง่ายในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด
3. แกมมา-เซลลูโลส (γ -cellulose) คือ เซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% และสารละลายกรด แต่สามารถตกตะกอนได้โดยใช้แอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 เฮมิเซลลูโลส [4]

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส เป็น heteropolysaccharide ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด มีน้ำตาลไซโลส (xylose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่ง β (1-4) เป็นโซ่หลัก อาจมีน้ำตาลแมนโนส (mannose) กาแล็กโทส (galactose) หรือ กลูโคส (glucose) มาต่อกันเป็นโซ่หลักด้วยและมีน้ำตาลชนิดอื่นมาต่อกันเป็นโซ่สาขา หรือโซ่แขนงได้แก่ น้ำตาลอะราบินโนส (arabinose) กรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) เฮมิเซลลูโลส จัดเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ที่ไม่ละลายน้ำ ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ และสัตว์ กระเพาะเดี่ยว สามารถละลายได้ในสารละลายต่างเจือจาง สมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ มีความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) และแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก (cation exchange) เมื่ออยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ของมนุษย์ เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ของพืชที่อยู่ร่วมกับเซลลูโลสพบมากในผักและผลไม้



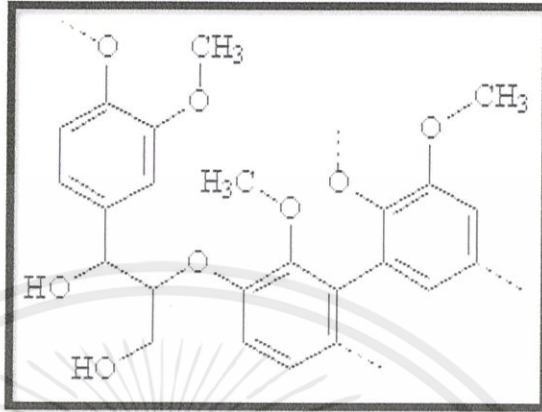
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [5]

2.2.2.3 ลิกนิน [6]

ลิกนิน (lignin) เป็นคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ประเภทใยอาหาร (dietary fiber) ที่ไม่ให้พลังงาน โครงสร้างโมเลกุลของลิกนินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยไซโมเลกุลของออกซิเจนเตต ฟีนิลโพรเพน (oxygenated phenyl propane) มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 1,000-4,500 ดาลตัน สันเคราะห์จากอนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ คูมาริล (coumaryl) โคนิเฟอริล (coniferyl) และไซนาพิล (sinapyl) ไม่สลายทั้งในกรดและด่าง

แหล่งที่พบลิกนินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อพืช โดยพบในส่วนของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรงอยู่ร่วมกับเซลลูโลส (cellulose) และเฮมิ

เซลลูโลส (hemicellulose) เป็นส่วนประกอบของเปลือก ชัง หรือส่วนที่เป็นเยื่อใยของราก ลำต้น และจะสร้างจากส่วนโคนต้น ไปสู่ยอด เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ปริมาณลิกนินจะเพิ่มมากขึ้นด้วย พบมากในผลไม้สุกมากกว่าผลไม้ดิบ



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลิกนิน [7]

2.3 การปรับสภาพวัตถุดิบเบื้องต้น (Pretreatment) [8]

การปรับสภาพวัตถุดิบเบื้องต้น (Pretreatment) แบ่งออกเป็น 5 ประเภท

2.3.1. Mechanical pretreatment

เป็นการลดขนาดของวัตถุดิบหรือการเพิ่มพื้นที่เพื่อให้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ข้างในย่อยสลายได้มากขึ้นโดยการหั่น การสับ การทุบหรือการบดด้วยลูกบอลหรือลูกกลิ้ง จัดว่าเป็นวิธีการที่ให้ผลสำเร็จเป็นอย่างดีและมีต้นทุนต่ำและยังช่วยลดปริมาณการใช้เอนไซม์ในการช่วยย่อยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสให้เปลี่ยนไปเป็นกลูแคนและไซแลนในขั้นตอนต่อไป

2.3.2. Physical pretreatment

การเพิ่มอุณหภูมิและการแผ่รังสีเป็นวิธีการทางกายภาพที่ประสบผลสำเร็จมากที่สุดวิธีหนึ่งวิธีการที่เรียกว่า Thermogravimetric treatment โดยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1100 เคลวิน ภายใต้สภาวะทั้งที่มีก๊าซเฉื่อยและตัวออกซิแดนซ์สามารถทำให้เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินย่อยสลายได้ดีส่วนวิธีการเผาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) พวกเปลือกถั่วชนิดต่างๆ ฟางข้าว หรือพวกขี้เลื่อยที่อุณหภูมิ 600-1200 เคลวิน ให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นพวกถ่านของเหลว และก๊าซมากกว่าวิธีธรรมดาทั่วไป 55% สำหรับการแผ่รังสีด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ 700 W ด้วยเวลานานต่างกันพบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักของวัตถุดิบไปบ้างเนื่องจากมีการสลายตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินแต่ทำให้อัตราการย่อยสลายโดยใช้ต่างร่วมด้วยเพิ่มขึ้นมากนอกจากนี้การใช้รังสีแกมมาขนาด 500 kGy ทำให้โครงสร้างของฟางข้าว สาที่ที่ป่นเป็นผงขนาด 140 mesh แตกตัวให้ผลผลิตน้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้นอีก 13.40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3. Physicochemical pretreatment

การรวมกันระหว่างวิธี chemical และ physical treatment มีส่วนสำคัญในการละลายน้ำของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่ถูกแปลงโครงสร้างแล้วเป็นผลทำให้การแตกตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนไฮโดรไลซิส เพิ่มขึ้น Physicochemical pretreatment ร่วมกับ Thermochemical treatment เช่น วิธี steam explosion, ammonia fiber explosion, CO₂ explosion, SO₂ explosion อุณหภูมิที่ใช้อุณหภูมิระหว่าง 160-260°C กระทำภายใต้ความดัน 0.69-4.83 MPa ที่มีไอน้ำอิ่มตัวเป็นเวลาหลายวินาที หรือ 2-3 นาที ก่อนที่จะปรับลดลงมาอยู่ที่ความดันปกติ วิธี wet oxidation pretreatment กระทำที่อุณหภูมิระหว่าง 200-210 °C และมีการเติมต่างหรือ Na₂CO₃ ร่วมด้วยซึ่งจะทำให้สารพวกลิกโนเซลลูโลสละลายดีขึ้น และยังทำให้การผลิตผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่า (value-added products) โดยการใช้เอนไซม์ต่างๆให้ผลดีขึ้น ส่วนวิธี Liquid hot water (LHW) pretreatment โดยการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170-230 °C ความดัน 5 MPa นานหลายนาทีจึงปรับคืนสู่ความดันปกติวิธีนี้ทำให้เฮมิเซลลูโลสในพวกรวมอ้อย เส้นใยข้าวโพด และพวงฟางข้าวต่างๆ แตกตัวเป็นไซโลส ได้ถึง 45-65%

2.3.4. Chemical pretreatment

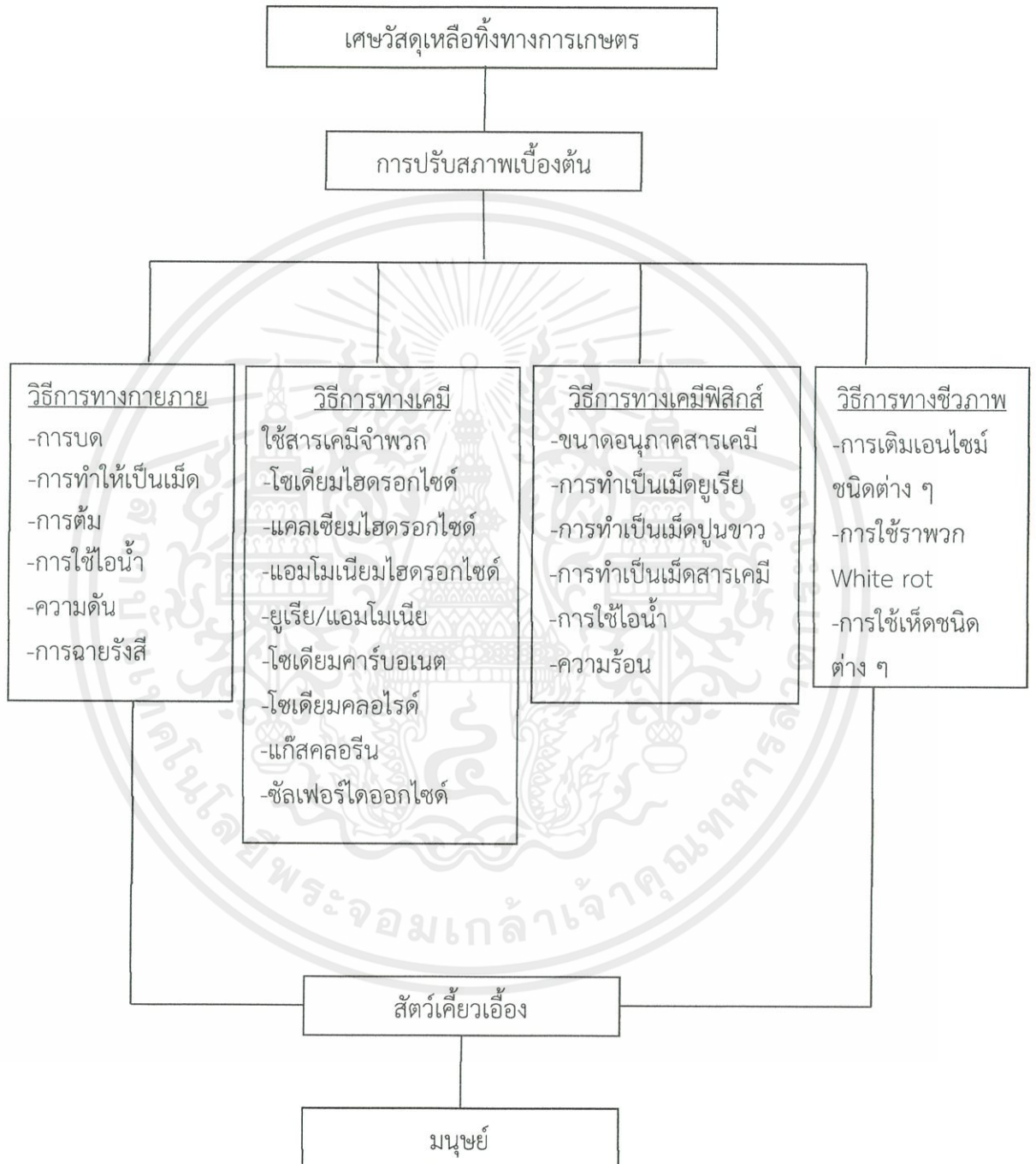
สารเคมีตั้งแต่พวก oxidizing agents พวกกรดต่างๆไปจนกระทั่งถึงด่างหรือเกลือสามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้ และสามารถทำภายใต้ความดันและอุณหภูมิปกติได้ด้วยอย่างเช่น

- Alkaline treatment : sodium hydroxide , ammonia , ammonium sulfite
- Acid treatment : sulphuric acid, hydrochloric acid, phosphoric acid
- Gas treatment : chlorine dioxide, nitrogen dioxide, sulphur dioxide
- Addition of oxidizing agents : hydrogen peroxide, ozone
- Solvent extraction of lignin : ethanol-water extraction, benzene-water extraction, Ethylene glycol extraction, butanol-water extraction, swelling agents

2.3.5. Biological pretreatment

เป็นการปรับสภาพเบื้องต้น ที่ต้องพึ่งพาจุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่เป็นแบคทีเรียและเชื้อรา รวมทั้งเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์เหล่านี้ เชื้อราทั้งชนิดที่เป็น white-rot, brown-rod และชนิดที่เป็น soft-rot สามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้ โดย brown-rod มีบทบาทสำคัญในการย่อยพวกเซลลูโลส ในขณะที่ white-rot และ soft-rot จะเข้าย่อยสลายพวกลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ไม่นานมานี้เมื่อนำลิกโนเซลลูโลสมาหมักกับเชื้อราเหล่านี้ที่อุณหภูมิ 25-35°C เป็นเวลา 3-22 วันพบว่า ไฮโดรเซลลูโลสและลิกนิน ย่อยสลายไปได้มากถึง 45-75% และ 65-80% ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าชีวมวลที่ผ่านการ pretreatment ด้วยวิธีนี้ยังให้ก๊าซชีวภาพได้มากกว่าเมื่อนำไป post-treat ต่อด้วยระบบ anaerobic digestion เชื้อรา และ แบคทีเรีย เหล่านี้ได้แก่ *Aspergillus terreus*,

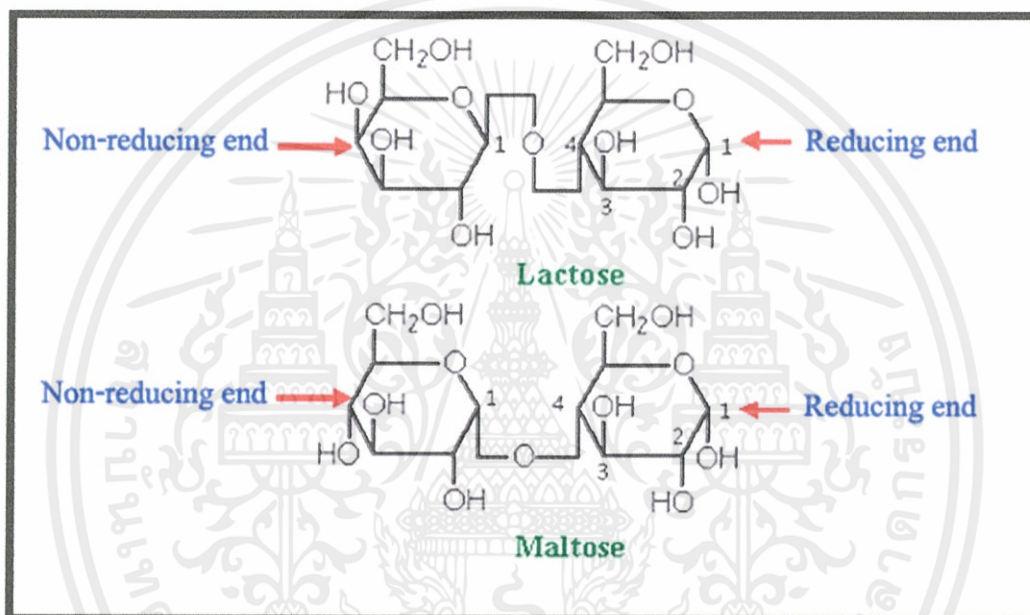
Trichodermaspp, Cyathus stercoreus, Penicillium camemberti, Phanerochaete chrysosporium, Streptomyces griseus เป็นต้น ส่วนเอนไซม์ที่ใช้ย่อยลิกโนเซลลูโลส ตัวอย่างเช่น cellulases, glucuronidase, acetylsterase, feruloylsterase, xylanase , β -xylosidase, lignin peroxidase, manganese peroxidase และ laccase เป็นต้น



รูปที่ 2.4 วิธีการในการปรับสภาพเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะเป็นใครๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 น้ำตาลรีดิวซ์ [9]

น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) คือ น้ำตาลที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde) หรือคีโตน (ketone) ที่เป็นอิสระอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลและถูกออกซิไดส์ได้ง่ายด้วยตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent) อย่างอ่อน ตัวอย่างของน้ำตาลกลุ่มนี้ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ทุกชนิด เช่น น้ำตาลกลูโคส (glucose) น้ำตาลกาแล็กโทส (galactose) น้ำตาลฟรุคโทส (fructose) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) บางชนิด เช่น น้ำตาลแล็กโทส (lactose) น้ำตาลมอลโทส (maltose) น้ำตาลรีดิวซ์มีคุณสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์และสามารถรีดิวซ์คอปเปอร์ (II) ไอออนในสารละลายเฟห์ลิง (Fehling's solution) เป็นคอปเปอร์ (I) ไอออน ซึ่งปฏิกิริยานี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ได้



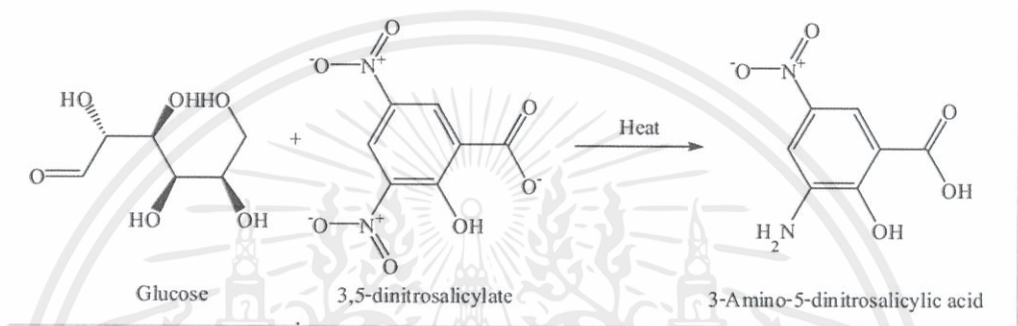
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของน้ำตาลรีดิวซ์ [9]

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโดยวิธีของ Lane และ Eynon นี้ อาศัยปฏิกิริยารีดักชันของคอปเปอร์ที่มีอยู่ในสารละลาย Fehling จึงเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับคอปเปอร์ซัลเฟตตามด้วยปฏิกิริยากับโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรตในสารละลายต่าง น้ำตาลที่มีสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์จะรีดิวซ์คิวพริกไอออน (Cu^{2+}) ในรูปคอปเปอร์ซัลเฟตให้เป็นคิวพรัสไอออน (Cu^+) ในรูปคิวพรัสออกไซด์ซึ่งเกิดเป็นตะกอนสีแดงส้ม

การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สามารถทำได้โดยการไทเทรตกับสารละลายเฟห์ลิง ที่ทราบปริมาตรแน่นอน แล้วนำปริมาตรของสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ที่ใช้ไปเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลในตารางมาตรฐานสำหรับน้ำตาลแต่ละชนิด เช่น น้ำตาลฟรุคโทส มอลโทส หรือแลคโทส ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลายเฟห์ลิง ที่ใช้วิธีนี้จำเป็นต้องคาดคะเนความเข้มข้นของน้ำตาลตัวอย่างในอาหารให้พอเหมาะ แล้วใส่ตัวอย่างสารละลายน้ำตาลลงในบิวเรตเพื่อรีดิวซ์คอปเปอร์ไอออนในสารละลายนำไปต้มภายในเวลาที่กำหนด (2 นาที) แล้วเติมสารละลายเมทิลินบลูลงไป ไทเทรตด้วย

สารละลายน้ำตาลตัวอย่างภายในเวลา 3 นาที จนกระทั่งสีของเมทิลีนบลูหายไป วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กับการวิเคราะห์น้ำตาล เช่น การหาน้ำตาลรีดิวซิงในน้ำผึ้งและน้ำเชื่อมที่มีน้ำตาลรีดิวซิงสูง

การทดสอบโดยใช้กรด 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิก (3,5-dinitrosalicylic acid, DNS หรือ DNSA) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง (Reducing sugar) ในตัวอย่างสารที่สกัดมาได้ โดยสารละลาย DNS ซึ่งมี หมู่ไนโตร 2 หมู่ มีลักษณะสีเหลือง เมื่อหมู่ไนโตร 1 หมู่ถูกรีดิวซ์โดยหมู่แอลดีไฮด์ของน้ำตาลโดยมีความร้อนและสารละลายต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้สารละลาย 3,5-dinitrosalicylate กลายเป็น 3-amino-5-nitrosalicylic acid ที่มีสีส้ม-แดง ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 520-540 นาโนเมตร



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาของวิธี DNS [10]

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.5.1 อุณหภูมิ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่สำคัญคือ อุณหภูมิ เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสต้องอาศัยการให้ความร้อนแก่น้ำเพื่อทำลายพันธะของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส ในทะเลาะปาล์มเปล่าให้เป็นน้ำตาล ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส คือ 180-250 องศาเซลเซียส โดยจะได้เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสออกมา ตามลำดับ เนื่องจากถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้น้ำตาลสลายตัว แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้ได้น้ำตาลจากการไฮโดรไลซิสน้อยมาก

2.5.2 ความดัน

ความดันที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะแปรผันตามอุณหภูมิที่เกิดขึ้น โดยถ้าในเครื่องปฏิกรณ์มีความดันสูงจะส่งผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดี แต่ถ้าความดันสูงมากเกินไปจะทำให้ลายน้ำตาลที่เกิดขึ้น

2.5.3 ความเข้มข้นของสารละลายกรด

ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสต้องอาศัยสารละลายกรดเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเกิดได้ง่ายขึ้น ถ้าไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาจะเกิดได้น้อยและช้ากว่าการมีตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้สารละลายกรดเจือจางที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น แต่ควรใช้สารละลายกรดที่มีความเข้มข้นต่ำๆ เพราะสารละลายกรดที่มีความเข้มข้นสูงอาจกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์ได้ และอาจจะทำลายน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.5.4 ชนิดของสารละลายกรด

เนื่องจากกรดแต่ละชนิดมีการแตกตัวไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์ออกมาไม่เท่ากัน ซึ่งสารละลายซัลฟูริกเป็นสารละลายที่แตกตัวได้ดีและมีราคาถูกจึงนิยมนำมาใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.4.5 เวลา

เวลาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยถ้าเพิ่มเวลามากขึ้นจะทำให้ได้น้ำตาลจากปฏิกิริยามากขึ้น เนื่องจากพันธะถูกทำลายได้มากขึ้น

2.5.6 ชนิดของวัตถุดิบคงเหลือทางการเกษตร

เนื่องจากชนิดของวัตถุดิบคงเหลือทางการเกษตรแต่ละอย่าง มีเอมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินในปริมาณที่ไม่เท่ากัน จึงส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไม่เท่ากัน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Siew Xian Chin, Chin Hua Chia and Sarani Zakaria [11] ได้ใช้เส้นใยเซลลูโลสของทะลายปาล์มน้ำมัน (EFB) มาเป็นวัตถุดิบในการไฮโดรไลซิสโดยใช้กรด (H_2SO_4 และ HCL) ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ที่อุณหภูมิปานกลางและความดันบรรยากาศ มีการควบคุมและตรวจสอบผลกระทบของตัวแปรของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส รวมทั้งความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ การศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเบื้องต้นของเส้นใย EFB แสดงให้เห็นว่าลิกนินในเส้นใยมีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ อัตราน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดที่คาดว่าจะได้รับจากการใช้กรดซัลฟูริกในสถานะที่เหมาะสมที่สุด เป็น 30.61% และอัตราสูงสุดที่คาดว่าจะได้รับจากการใช้กรดไฮโดรคลอริก

Fitriani Kasim, Anwar Kasim, [12] ผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยการใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจากทะลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1% ที่อุณหภูมิ 120 และ 130 องศาเซลเซียส และเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที จากผลการวิจัยพบว่าเวลาและอุณหภูมิมีผลต่อระดับน้ำตาลรีดิวซ์ โดยเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ออกมาได้มาก คือ 60 นาที 130 องศาเซลเซียส ซึ่งได้น้ำตาลรีดิวซ์ 3.51%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

1. ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลองต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสทะลายปาล์มเปล่า
2. ศึกษาอิทธิพลของการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยการแช่สารละลายกรดต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไฮโดรไลซิสทะลายปาล์มเปล่า
3. ศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทดลองต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไฮโดรไลซิสทะลายปาล์มเปล่า
4. ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสทะลายปาล์มเปล่า

3.2 การเตรียมสารสำหรับการทดลอง

3.2.1 สารละลายกรดซัลฟูริก

- สารละลายซัลฟูริกเข้มข้น 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร
ปิเปตกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 98% เปอร์เซ็นต์โดยมวล ปริมาณ 0.33 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงในขวดปรับปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร โดยปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร
- สารละลายซัลฟูริกเข้มข้น 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร
ปิเปตกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 98% เปอร์เซ็นต์โดยมวล ปริมาณ 0.49 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงในขวดปรับปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร โดยปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.2.2 ทะลายปาล์มเปล่า (OPEFB)

ทะลายปาล์มเปล่าที่นำมาทดลองได้ผ่านการแยกผลปาล์มออกแล้ว โดยไม่ได้นำมาทำความสะอาด และนำทะลายปาล์มเปล่ามาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำ เมื่อนำทะลายปาล์มเปล่ามาทดลองจะได้น้ำหนักของทะลายปาล์มเปล่าที่แท้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าารูปที่ 3.1 ทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการอบและการลดขนาดครั้งที่มีกรนำมาไปใช้

3.2.3 การปรับสภาพทะเลาะปาล์มเปล่าเบื้องต้น (Pre-treatment)

ทะเลาะปาล์มเปล่าที่นำมาทดลองต้องทำการปรับสภาพเบื้องต้นก่อนโดยการแช่ทะเลาะปาล์มเปล่าที่มีขนาดเล็กตามต้องการลงในสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างทะเลาะปาล์มเปล่าต่อสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางเป็น 5 กรัม ต่อ 40 มิลลิลิตร สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางจะช่วยให้โครงสร้างภายในของทะเลาะปาล์มเปล่ามีสภาพอ่อนตัวลง เมื่อนำทะเลาะปาล์มเปล่าไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้น้ำตาลไฮโดรมีปริมาณเพิ่มขึ้น

3.3 การทดลองกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อย่อยน้ำตาลรีดิวซ์ออกมาจากทะเลาะปาล์มเปล่า

3.3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

1.) สารเคมี

1. ทะเลาะปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น
2. สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร

2.) อุปกรณ์

- | | | |
|---|----|---------|
| 1. เครื่องปฏิกรณ์สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (รูปที่ 3.3) | 1 | เครื่อง |
| 2. อุปกรณ์ชุดควบคุม (รูปที่ 3.2) | 1 | ชุด |
| 3. เครื่องให้ความร้อน (รูปที่ 3.2) | 1 | เครื่อง |
| 4. เทอร์โมคัพเบิล | 1 | อัน |
| 5. ปิเปตขนาด 2 มิลลิลิตร | 1 | อัน |
| 6. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร | 1 | อัน |
| 7. ขวดเก็บสารตัวอย่าง | 10 | ขวด |
| 8. นาฬิกาจับเวลา | 1 | เครื่อง |



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ชุดควบคุม เครื่องให้ความร้อน และเครื่องปฏิกรณ์สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

3.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

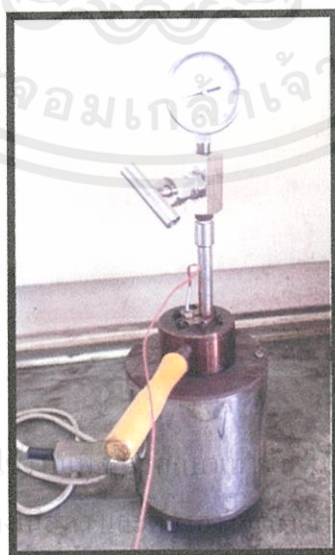
ตอนที่ 1 วิธีการทดลองกระบวนการไฮโดรไลซิสโดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อละลายปาล์มผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น

1. นำทะเลาะปาล์มเปล่าที่ผ่านการอบและการลดขนาดมาปรับสภาพเบื้องต้น จากนั้นนำทะเลาะปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาบรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส พร้อมปิดเครื่องให้แน่น ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2. นำเครื่องปฏิกรณ์สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในข้อ 1 ไปวางในเครื่องให้ความร้อนที่มีเทอร์โมคัพเบิลสำหรับวัดอุณหภูมิและต่อกับอุปกรณ์ชุดควบคุมแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ใส่ลงในเครื่องให้ความร้อน

3. เปิดเครื่องทำความร้อนโดยมีเทอร์โมคัพปิดติดไว้กับเครื่องให้ความร้อนเพื่อวัดค่าอุณหภูมิที่เครื่องปฏิกรณ์ได้รับ
4. ให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไปจนถึงอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส แล้วควบคุมความร้อนให้คงที่ ทิ้งให้สารภายในเครื่องปฏิกรณ์เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นเวลา 15 , 35 และ 60 นาที โดยเริ่มจับเวลา ตั้งแต่เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์วัดค่าได้ถึงอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยค่าความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เมื่อเกิดปฏิกิริยาครบ 15, 35 และ 60 นาทีแล้ว นำเครื่องปฏิกรณ์ออกจากเครื่องให้ความร้อน แล้วเปิดพัดลมเพื่อช่วยลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์
5. รอจนอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิลดลงมาที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงเปิดเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเอาของเหลวภายในเครื่องปฏิกรณ์ออก นำของเหลวที่ได้เก็บใส่ขวดตัวอย่างไว้เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 5 โดยจับคู่การทดลองเป็น
 - 6.1 ใช้ทะลายปาล์มที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางความเข้มข้น 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 วัน
 - 6.2 ใช้ทะลายปาล์มที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางความเข้มข้น 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 1 วัน
 - 6.3 ใช้ทะลายปาล์มที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางความเข้มข้น 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 วัน
 - 6.4 ใช้ทะลายปาล์มที่ผ่านการแช่แช่น้ำเปล่า 1 วัน และ 2 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบน้ำตาลรีดิวซ์

3.4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับใช้วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี

1. น้ำตาลไซโลส
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. กรดไดโนโตรซาลิซิลิก
4. โซเดียม-โพแทสเซียม ทาเทรต
5. น้ำกลั่น

- อุปกรณ์

1. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร	1	ขวด
2. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร	3	ขวด
3. กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร	1	อัน
4. ปิเปตขนาด 2 มิลลิลิตร	1	อัน
5. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร	1	อัน
6. แท่งแก้ว	1	อัน
7. บีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร	2	อัน
8. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	1	เครื่อง
9. หลอดทดลองขนาด 20 มิลลิลิตร	5	หลอด
10. แผ่นให้ความร้อน (Heater)	1	เครื่อง
11. ลูกแก้ว	5	ลูก
12. ตะแกรงวางหลอดทดลอง	1	อัน
13. หม้อต้มน้ำ	1	อัน
14. น้ำแข็ง		

ตอนที่ 1 การเตรียมน้ำตาลไซโลสเพื่อเป็นตัวอย่างมาตรฐาน

1. ชั่งน้ำตาลไซโลส 0.1171 กรัม ละลายในน้ำกลั่นมีปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสที่มีความเข้มข้น 1,171 ppm ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. แบ่งสารละลายน้ำตาลไซโลสจากข้อ 1 มา 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 585 ppm ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. แบ่งสารละลายน้ำตาลไซโลสจากข้อ 2 มา 25 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 292 ppm ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
4. แบ่งสารละลายน้ำตาลไซโลสจากข้อ 3 มา 25 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสความเข้มข้น 146 ppm ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยฯ หรือมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยฯ จะถือว่าผิดกฎหมายและต้องรับผิดชอบต่อผู้เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 2 การเตรียมสารละลาย DNSA [13]

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 0.8 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร คนให้ละลายเข้ากันจะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2 โมลาร์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. ชั่งกรดไนโตรซาลิซิลิกมา 0.5 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิลิตร จากข้อ 1 คนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
3. ชั่งโซเดียมโพแทสเซียมทาเทรตมา 15 กรัม ใส่ลงในสารละลายในข้อ 2 เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร สุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตร คนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บสารละลาย DNSA นี้ไว้ในขวดวัดปริมาตรแล้วหุ้มด้วยแผ่นฟอยล์เพื่อไม่ให้เสียสภาพ

ตอนที่ 3 การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับใช้วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1. ปิเปตสารละลายน้ำตาลไซโลสที่มีความเข้มข้น 146, 292, 585 และ 1,171 ppm ตามลำดับ ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง 4 หลอด หลอดละ 1 ความเข้มข้น และปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 1 มิลลิลิตรอีก 1 หลอด เพื่อใช้เป็นสารละลาย Blank
2. ปิเปตสารละลาย DNSA ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าสารในหลอดทดลองให้เป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำหลอดทดลองไปต้มในหม้อต้มน้ำเดือด แล้วปิดฝาของหลอดทดลองด้วยลูกแก้ว เพื่อป้องกันการระเหยของสารที่บรรจุอยู่ในหลอดทดลอง ต้มเป็นเวลา 10 นาที
4. นำสารละลายที่ผ่านการต้มแล้วมาแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 นาที
5. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองทุกหลอด เขย่าให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน
6. นำสารละลายในหลอดทดลองทุกหลอดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.5 โดยใช้ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และใช้สารละลายที่มีน้ำเปล่าในตอนแรกเป็นสารละลาย Blank
7. ได้กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส



รูปที่ 3.5 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิส

1.) สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์
2. น้ำกลั่น
3. สารละลาย DNSA

2.) อุปกรณ์

1. ขวดเก็บสารตัวอย่าง	6	ขวด
2. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร	1	อัน
3. ปิเปตขนาด 2 มิลลิลิตร	1	อัน
4. กระจกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร	1	อัน
5. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร	1	อัน
6. หลอดทดลองขนาด 20 มิลลิลิตร	7	หลอด
7. แผ่นให้ความร้อน (Heater)	1	เครื่อง
8. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	1	เครื่อง
9. ลูกแก้ว	7	ลูก
10. ตะแกรงวางหลอดทดลอง	1	อัน
11. หม้อต้มน้ำ	1	อัน
12. แท่งแก้ว	1	อัน
13. น้ำแข็ง		

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากสารตัวอย่าง

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแต่ละการทดลองมาอย่างละ 2 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อเจือจางน้ำตาลรีดิวซ์ให้มีความเข้มข้นลดลง
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อที่ 1 ใส่ลงในหลอดทดลองปริมาณ 1 มิลลิลิตร และปิเปตน้ำเปล่าปริมาตร 1 มิลลิลิตรอีก 1 หลอดด้วยเพื่อใช้เป็นสารละลาย Blank
3. ปิเปตสารละลาย DNSA ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 1 มิลลิลิตร เขย่าหลอดทดลอง เพื่อให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน
4. นำหลอดทดลองไปต้มในหม้อต้มน้ำเดือดแล้วปิดฝาของหลอดทดลองด้วยลูกแก้วเพื่อป้องกันการระเหย ต้มเป็นเวลา 10 นาที
5. นำสารละลายที่ผ่านการต้มแล้วมาแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 นาที
6. เติมน้ำกลั่นปริมาณ 10 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองทุกหลอดเพื่อเจือจาง เขย่าหลอดทดลองให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

7. นำสารละลายในหลอดทดลองทุกหลอดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ใช้สารละลายที่มีน้ำเปล่าในตอนแรกเป็น Blank
8. นำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำตาลรีดิวซ์แต่ละหลอดที่ได้มาเทียบความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากตอนที่ 1



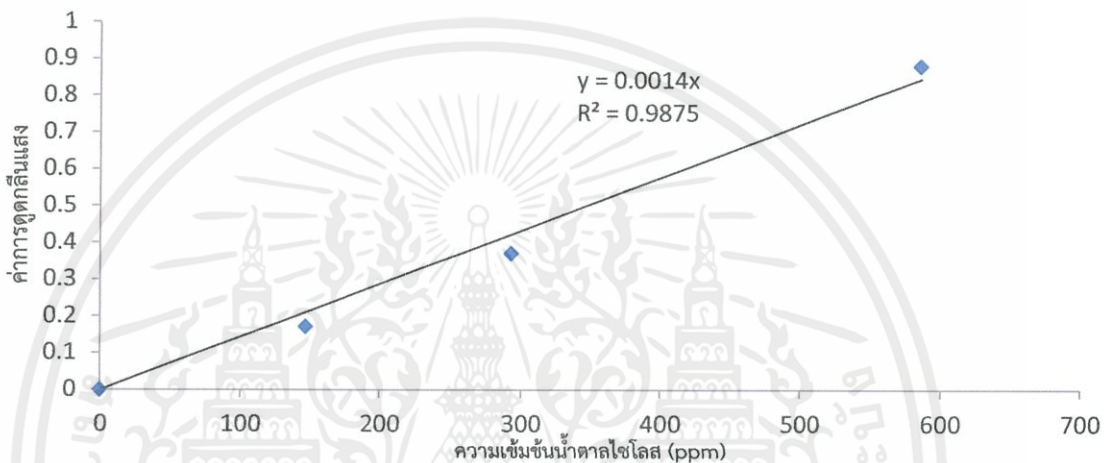
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

รูปที่ 4.1 เป็นการสร้างกราฟมาตรฐานโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสกับค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์จากการวัดค่าการดูดกลืนแสง จากกราฟที่ได้จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลสเป็นเส้นตรงมีความชันเท่ากับ 0.0014

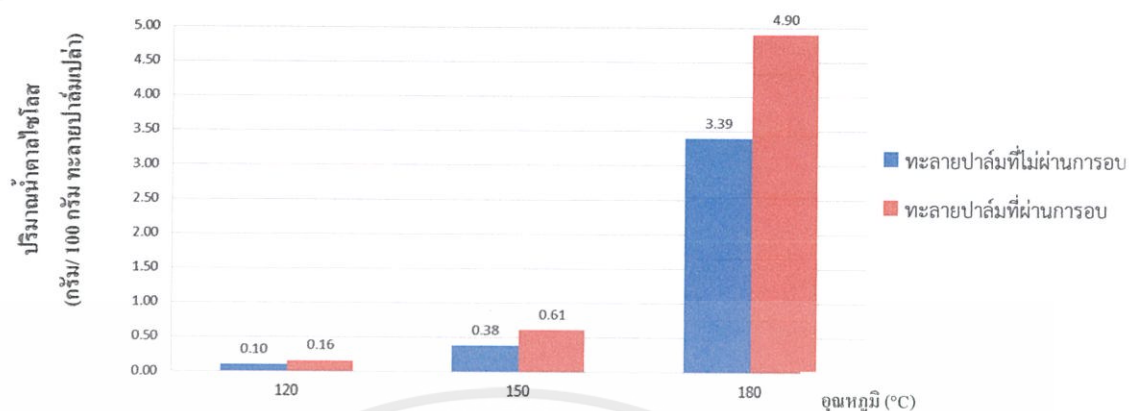


รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของน้ำตาลไซโลส

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการกระบวนการไฮโดรไลซิสทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการอบแห้งและที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง

จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าโครงสร้างภายในทะเลลายปาล์มเปล่าประกอบไปด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยก่อนที่จะนำทะเลลายปาล์มเปล่ามาทดลองนั้น ได้มีการแยกทะเลลายปาล์มเปล่าออกเป็น 2 ส่วน นำส่วนแรกไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางความเข้มข้น 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร และส่วนที่สองนำไปผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงก่อนที่จะนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางความเข้มข้น 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เพื่อย่อยน้ำตาลรีดิวซ์ออกมา แสดงดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการอบและไม่ผ่านการอบและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

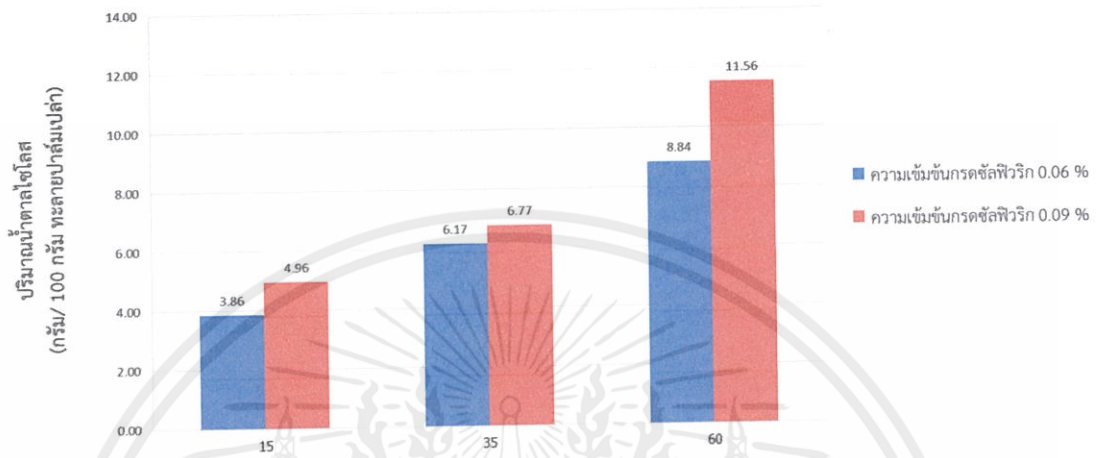
จากรูปที่ 4.2 พบว่าปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์หลังจากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริกเจือจาง 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร อุณหภูมิ 120 150 และ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ปรากฏว่าทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการอบแห้งมาแล้ว มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่าทะลายปาล์มเปล่าที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง โดยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณมากที่สุดที่อยู่ทีอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสของทะลายปาล์มเปล่าเมื่อผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น 1 วัน และ 2 วัน

ในกระบวนการไฮโดรไลซิสทะลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ทะลายปาล์มเปล่าผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นโดยนำทะลายปาล์มเปล่าไปแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 1 วันก่อนที่จะนำมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แบบที่ 2 ทะลายปาล์มเปล่าผ่านการแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 วันก่อนที่จะนำมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ที่มีการปรับสภาพเบื้องต้น 1 และ 2 วัน มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยละลายปาล์มเปล้าผ่านการแช่มา 1 วัน



รูปที่ 4.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยละลายปาล์มเปล้าผ่านการแช่มา 2 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 ทะลายปาล์มเปล่าผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15, 35 และ 60 นาที ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการแช่ทะลายปาล์มเปล่ากับสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางเป็นเวลา 1 และ 2 วันนั้น พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทะลายปาล์มเปล่ากับสารละลายกรดซัลฟูริกมีการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และจากแนวโน้มพบว่าความเข้มข้นกรดซัลฟูริกเพิ่มขึ้นจะทำให้แนวโน้มของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้น

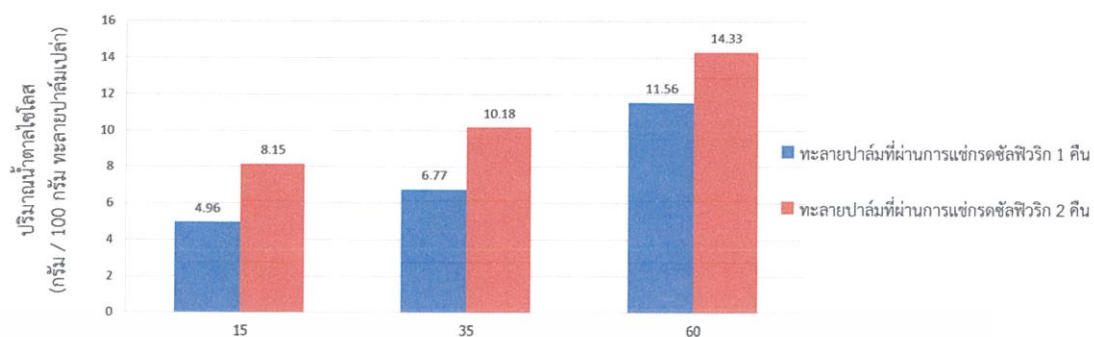
4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสของทะลายปาล์มเปล่าเมื่อเทียบเวลาในการแช่ทะลายปาล์มเปล่าในสารละลายเจือจางกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร

จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร 1 วัน และ 2 วัน ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสสำหรับทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่กรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร 1 วัน และ 2 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



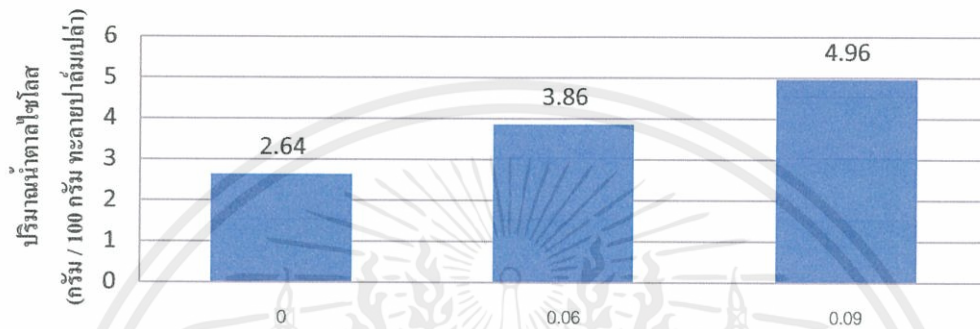
รูปที่ 4.6 ปริมาณน้ำตาลไซโลสที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสสำหรับ ทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่กรดซัลฟูริกเจือจางที่ความเข้มข้น 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อ ปริมาตร 1 วัน และ 2 วัน

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 ทะลายปาล์มเปล่าที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วย สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่ความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ที่สภาวะอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดจากการแช่ทะลายปาล์ม เปล่าด้วยสารละลายซัลฟูริกเจือจางที่ความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อ ปริมาตรที่เวลา 2 วัน มีค่ามากกว่าการแช่ทะลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเจือ จางที่ความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่เวลา 1 วัน

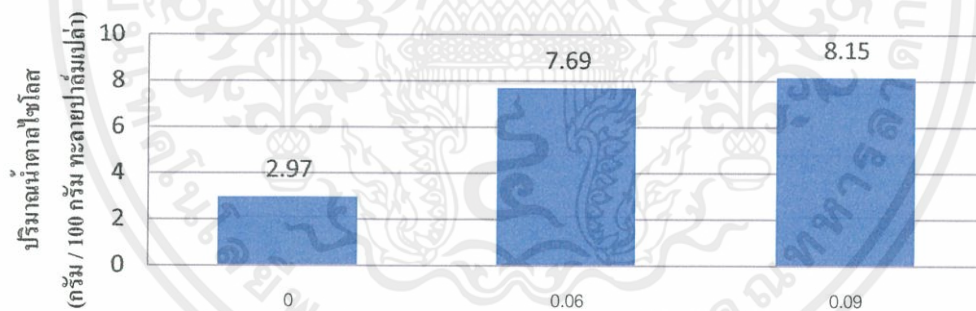
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสของทะเลลายปาล์มเปล่าเมื่อเทียบเวลาในการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจาง 1 วันและ 2 วัน ที่ความเข้มข้น 0 , 0.06 , 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจาง 1 วันและ 2 วัน ที่ความเข้มข้น 0 , 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรแสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 1 วัน ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 2 วัน ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงให้เห็นว่าทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่ความเข้มข้น 0, 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงถึง 180 องศาเซลเซียส จะสามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ แม้ว่าจะไม่มีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก็สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ และการทดลองที่มีกรดซัลฟูริก มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของกรด และแนวโน้มของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการแช่ทะเลลายปาล์มเปล่าเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้ทะเลาะปาล์มเปล่ากับสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจาง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ โดยตัวแปรควบคุมในการทดลองนี้ได้แก่ อุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนั้นจะคงที่ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และปัจจัยที่ใช้ศึกษาในการทดลอง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 0, 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และการปรับสภาพเบื้องต้นของทะเลาะปาล์มเปล่าด้วยการแช่สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจาง 1 วัน และ 2 วัน

การทดลองในช่วงแรก เป็นการทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยเริ่มทดลองตั้งแต่อุณหภูมิ 120, 150 และ 180 องศาเซลเซียส จากการทดลองนั้นพบว่าที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่าที่สภาวะอื่น ดังนั้นจึงเลือก สภาวะนี้ในการศึกษาขั้นต่อไป

จากการศึกษาผลของการปรับสภาพเบื้องต้นของทะเลาะปาล์มเปล่าด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางก่อนที่จะนำมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 นาที พบว่าที่ความเข้มข้นเดียวกันปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพเบื้องต้นของทะเลาะปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่ 2 วัน มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่าการปรับสภาพเบื้องต้นของทะเลาะปาล์มเปล่าที่ผ่านการแช่ 1 วัน และแนวโน้มของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรด

จากการทดลองที่ใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางที่มีความเข้มข้น 0, 0.06 หรือ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร แล้วทำการปรับเวลา ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยเวลาที่ใช้ในการทดลองคือ 15, 35 และ 60 นาที จากผลการทดลองจะพบว่า เวลาที่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น โดยในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เวลา 60 นาที จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสภาวะเหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส คือ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยใช้ทะเลาะปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นมาแล้ว 2 วันโดยการแช่สารละลายซัลฟูริกเจือจางความเข้มข้น 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองซ้ำ เพราะมีโอกาสที่เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในการทดลอง
2. ในการทำการทดลองนั้นใช้เครื่องปฏิกรณ์ที่มีขนาดเล็กอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วน และอาจได้ผลที่ผิดพลาด
3. ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงควรใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เครื่องเดิม และใช้เซลล์เดิมในการวัด เนื่องจากถ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนจะได้มีค่าที่เป็นค่าเดียวกัน
4. ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เช่น ความเข้มข้น เวลา อุณหภูมิ ชนิดของกรดและชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง เป็นต้น เพื่อเป็นแนวทางและประยุกต์ใช้ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มพลังงานชีวมวล. 2557. พลังงานชีวมวล. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : www2.dede.go.th/kmmf/download/.../สวค/คู่มือพลังงานชีวมวล.
- [2] Sun, Y. and Cheng, J. 2014. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83: 1-11.
- [3] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. เซลลูโลส. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0612/cellulose>.
- [4] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. เฮมิเซลลูโลส. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3154/hemicellulose>.
- [5] สารานุกรมโลก. 2557. เฮมิเซลลูโลส. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://th.swewe.com/word_show.htm.
- [6] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. ลิกนิน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3289/lignin>.
- [7] สุรัชย์ ศรีชินราช. 2557. องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.buranapagroup.com/knowledge_chemical.php.
- [8] ฉัตรชัย ไกรสรพงษ์. 2557. การผลิตเอทานอลจากของเสียการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://web.yru.ac.th/~dolah/notes/4034605-2-48/REP-13/R404652064-13.pdf>.
- [9] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. น้ำตาลรีดิวซ์. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1056/reducing-sugar>.
- [10] Mufaddal. 2014. DNSA Principle. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://microbiologyme.blogspot.com/search/label/DNSA%20Method>.
- [11] Siew Xian Chin, Chin Hua Chia, Sarani Zakaria. 2014. Production of Reducing Sugar from Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) Cellulose Fibres via Acid Hydrolysis. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_08_1_447_Chin_Reducing_Sugar_ERB_Hydrolysis.
- [12] Fitriani Kasim, Anwar Kasim. 2014. Hydrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers to Produce Sugar Hydrolyzate as Raw Material for Bioethanol Production. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://insightsociety.org/ojaseit/index.php/ijaseit/article/view/322>.
- [13] Goodwin, J.F 1971. Micromethod for measuring pentose by use of Aniline reagent. *Clin Chem*, 17, 397 – 399.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การคำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์

1. การคำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่เตรียมเป็นกราฟมาตรฐาน

ชั่งน้ำตาลไซโลส 0.1171 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสที่มีความเข้มข้น 1,171 ppm ปริมาณ 100 มิลลิลิตร

- ต้องการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้น 585 ppm
ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{จากสูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 คือความเข้มข้นของน้ำตาลที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

V_1 คือปริมาตรของน้ำตาลที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

C_2 คือความเข้มข้นของน้ำตาลที่ต้องการเตรียม

V_2 คือปริมาตรของน้ำตาลที่ต้องการเตรียม

$$\begin{aligned} (1,771)(V_1) &= (585.5)(50) \\ V_1 &= 25 \end{aligned}$$

แบ่งสารละลายน้ำตาลไซโลสที่ทราบความเข้มข้นแล้ว 1,171 ppm มา 25 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายน้ำตาลไซโลสที่มีความเข้มข้น 585.5 ppm ปริมาณ 50 มิลลิลิตร สารละลายที่มีความเข้มข้น 292, 146 ppm ทำการคำนวณโดยวิธีเดียวกันตามลำดับ

2. การคำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการเทียบกับกราฟมาตรฐาน

จากการทดลองหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้มาจากทะเลลายปาล์มเปล่าทำได้โดยนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNSA ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 3.4.1 หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานความเข้มข้นที่เตรียมไว้ตามรูป 4.1

ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อนำน้ำตาลรีดิวซ์มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.809 จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลไฮโดรไลซิสคือ

$$y = 0.0014x$$

โดย y คือค่าการดูดกลืนแสง
 x คือความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์หลังการเจือจาง (ppm)

แทนค่า ;

$$0.809 = 0.0014x$$

$$x = 577.86$$

ดังนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.809 จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการเจือจางเท่ากับ 577ppm

เมื่อนำตัวอย่างมาทำการเจือจาง 25 เท่า เพราะฉะนั้นจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนการเจือจางเท่ากับ $577.86 \times 25 = 14,446.43$ ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผลการคำนวณความเข้มข้นของน้ำตาลรีตีวซ์

1. ข้อมูลการทดลองไฮโดรไลซิสทะลายปาล์มเปล่า

1.1 ใช้น้ำเปล่าเป็นสารละลายในการไฮโดรไลซิส

โดยทดลองที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ กันซึ่งจะได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ค่าการดูดกลืนแสง	
	ทะลายปาล์มเปล่าที่ อบแห้ง	ทะลายปาล์มเปล่าที่ ไม่อบแห้ง
120	0.030	0.019
	0.027	0.016
	0.026	0.016
เฉลี่ย	0.028	0.017
150	0.107	0.068
	0.108	0.067
	0.106	0.064
เฉลี่ย	0.107	0.066
180	0.858	0.592
	0.858	0.592
	0.856	0.596
เฉลี่ย	0.857	0.593

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นของน้ำตาล (ppm)	
	ละลายปาล์มเปล้าที่อบแห้ง	ละลายปาล์มเปล้าที่ไม่อบแห้ง
120	197.62	121.43
150	764.29	473.81
180	6,123.81	4,238.10

ตารางที่ ข.3 ปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที

อุณหภูมิ (°C)	% Reducing Sugar	
	ละลายปาล์มเปล้าที่อบแห้ง	ละลายปาล์มเปล้าที่ไม่อบแห้ง
120	0.16	0.10
150	0.61	0.38
180	4.90	3.39

หมายเหตุ % Reducing Sugar คือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กรัมต่อ 100 กรัมละลายปาล์มเปล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวล
ต่อปริมาตร ที่มีการปรับสภาพเบื้องต้น 1 วัน

ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15, 35 และ 60 นาที ได้ผลการทดลอง
ดังนี้

ตารางที่ ข.4 ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ
0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15, 35 และ 60 นาที

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	
	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.06 (%โดยมวลต่อปริมาตร)	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.09 (%โดยมวลต่อปริมาตร)
15	0.271	0.355
	0.271	0.345
	0.270	0.342
เฉลี่ย	0.271	0.347
35	0.433	0.473
	0.432	0.474
	0.432	0.475
เฉลี่ย	0.432	0.474
60	0.620	0.798
	0.618	0.817
	0.619	0.812
เฉลี่ย	0.619	0.809

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15, 35 และ 60 นาที

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของน้ำตาล (ppm)	
	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.06 (%โดยมวลต่อปริมาตร)	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.09 (%โดยมวลต่อปริมาตร)
15	4,830.36	6,202.38
35	7,714.29	8,464.88
60	11,047.62	14,446.43

ตารางที่ ข.6 ปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15, 35 และ 60 นาที

เวลา (นาที)	% Reducing Sugar	
	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.06 (%โดยมวลต่อปริมาตร)	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.09 (%โดยมวลต่อปริมาตร)
15	3.86	4.96
35	6.17	6.77
60	8.84	11.56

หมายเหตุ % Reducing Sugar คือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กรัมต่อ 100 กรัมละลายปาล์มเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางความเข้มข้น 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวล
ต่อปริมาตร ที่มีการปรับสภาพเบื้องต้น 2 วัน

ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15, 35 และ 60 นาที ได้ผลการทดลอง
ดังนี้

ตารางที่ ข.7 ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ
0.09เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15, 35 และ 60 นาที

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	
	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.06 (%โดยมวลต่อปริมาตร)	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.09 (%โดยมวลต่อปริมาตร)
15	0.540	0.572
	0.538	0.571
	0.537	0.570
เฉลี่ย	0.538	0.571
35	0.698	0.714
	0.670	0.711
	1.098	0.713
เฉลี่ย	0.698	0.713
60	0.851	1.000
	0.851	1.006
	0.850	1.005
เฉลี่ย	0.851	1.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15, 35 และ 60 นาที

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของน้ำตาล (ppm)	
	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.06 (%โดยมวลต่อปริมาตร)	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.09 (%โดยมวลต่อปริมาตร)
15	9,613.10	10,190.48
35	12,294.64	12,726.19
60	15,190.48	17,916.67

ตารางที่ ข.9 ปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก 0.06 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตรที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15, 35 และ 60 นาที

เวลา (นาที)	% Reducing Sugar	
	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.06 (%โดยมวลต่อปริมาตร)	กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.09 (%โดยมวลต่อปริมาตร)
15	7.69	8.15
35	9.84	10.18
60	12.15	14.33

หมายเหตุ % Reducing Sugar คือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กรัมต่อ 100 กรัมละลายปาล์มเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ใช้น้ำเปล่าที่มีการปรับสภาพเบื้องต้น 1 และ 2 วัน

ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ ข.10 ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากการไฮโดรไลซิสน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ที่มีการปรับสภาพเบื้องต้น 1 และ 2 วัน

อุณหภูมิ(°C)	ค่าการดูดกลืนแสง	
	ปรับสภาพเบื้องต้น 1 วัน	ปรับสภาพเบื้องต้น 2 วัน
180	0.188	0.209
	0.184	0.208
	0.183	0.208
เฉลี่ย	0.185	0.208

ตารางที่ ข.11 ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ที่มีการปรับสภาพเบื้องต้น 1 และ 2 วัน

อุณหภูมิ(°C)	ความเข้มข้นของน้ำตาล (ppm)	
	ปรับสภาพเบื้องต้น 1 วัน	ปรับสภาพเบื้องต้น 2 วัน
180	3,303.57	3,711.31

ตารางที่ ข.12 ปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ที่มีการปรับสภาพเบื้องต้น 1 และ 2 วัน

อุณหภูมิ(°C)	% Reducing Sugar	
	ปรับสภาพเบื้องต้น 1 วัน	ปรับสภาพเบื้องต้น 2 วัน
180	2.64	2.97

หมายเหตุ % Reducing Sugar คือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กรัมต่อ 100 กรัมทะลายปาล์มเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้