การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยด้วยการย่อยโดยกรดและลูกแป้ง

PRODUCTION OF REDUCING SUGAR FROM BANANA PEEL BY ACID HYDROLYSIS AND THAI MOLD BRAN

นางสาวรัตนา โทราช

นางสาวศิตา ขมินทกูล

นางสาวสุริปัญญา แก้ววาปี

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCTION OF REDUCING SUGAR FROM BANANA PEEL BY ACID HYDROLYSIS AND THAI MOLD BRAN

MISS RATTANA THORACH

MISS SITA KAMINTAGOOL

MISS SURIPUNYA KEAWWAPEE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยด้วยการย่อยโดยกรดและลูกแป้ง
PRODUCTION OF REDUCING SUGAR FROM BANANA PEEL BY ACID HYDROLYSIS AND THAI MOOLD BRAN

ชื่อนักศึกษา นางสาวรัตนา โทราช รหัส 54051114
นางสาวศิตา ขมินทกูล รหัส 54051126
นางสาวสุริปัญญา แก้ววาปี รหัส 54051139

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์	
อ.ปัทมา ลีพหาวงศ์	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยโดยการย่อยด้วยกรดและลูกแป้ง Production of reducing sugar from Banana Peel by Acid Hydrolysis and Thai Mold Bran
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรัตนา โทราช รหัส 54051114
	นางสาวศิตา ขมินทกูล รหัส 54051126
	นางสาวสุริปัญญา แก้ววาปี รหัส 54051139
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยหอมสุกโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกเทียบกับการย่อยด้วยลูกแป้ง ผลจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (SEM) พบว่าผนังเซลล์ของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพทั้งโดยใช้น้ำกลั่นหรือใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความขรุขระและพรุนมากกว่าผนังเซลล์ของเปลือกกล้วยก่อนปรับสภาพ เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเพิ่มขึ้นสูงกว่าเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 35.69% และ 22.60% ตามลำดับ เมื่อนำเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพมาไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นต่างกัน พบว่าที่ความเข้มข้น 0.5% จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดคือ 6.04 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และเกิดสารประกอบเฟอร์ฟูรัลเท่ากับ 0.23 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรผลการศึกษาพบว่าลูกแป้งข้าวหมากในปริมาณตั้งแต่ 1.5 กรัม สามารถย่อยเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพเพื่อผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ แต่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มีปริมาณต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการไฮโดรไลซีสด้วยกรด

คำสำคัญ : วัสดุลิกโนเซลลูโลส, ไฮโดรไลเสท, น้ำตาลรีดิวซ์, การปรับสภาพเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Production of reducing sugar from Banana Peel by Acid Hydrolysis and Thai Mold Bran		
Students	Miss Rattana	Thorach	ID 54051114
	Miss Sita	Kamintagool	ID 54051126
	Miss Suripunya	Keawwapee	ID 54051139
Degree	Bachelor of Science		
Major Program	Environmental Chemistry		
Academic Year	2014		
Advisor	Asst.Prof. Dr. Usarat Thawornchaisit		

ABSTRACT

The production of reducing sugars from the ripe banana peels by acid hydrolysis in comparison with fermentation with Thai Mold Bran was investigated in this special project. Results from SEM show that the cell walls of the pretreated banana peel either by distilled water or by sodium hydroxide solution were higher rough and porous than those in the non-pretreated samples. Pretreatment with distilled hot water yields the contents of hemicellulose and cellulose higher than those in the NaOH pretreated samples. The contents of hemicellulose and cellulose in the distilled water pretreated samples were 35.69% and 22.60%, respectively. The pretreated banana peels were then hydrolyzed with hydrochloric acids at different concentrations. It was found that the highest amount reducing sugars at 6.04 mg/g dry weight obtained when 0.5% HCl was applied. At this condition, the amounts of furfural was 0.23 mg/ml. Results also show that Thai Mold Bran from 1.5 g can convert the pretreated banana peels to produce reducing sugars but at the lesser amount in comparison with those in the acid hydrolysis.

Keywords : Lignocellulosic material, Hydrolysate, Reducing sugar, Pretreatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้หมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่คณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณคือ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ได้อบรมสั่งสอน ให้ความรู้ คำแนะนำในทุกด้าน พร้อมทั้งตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้โครงงานพิเศษนี้สมบูรณ์ที่สุด ท่านที่สองคือ นางบุญนาค แก้ววาปี ที่ได้จัดหาจัดซื้อพร้อมจัดส่งลูกแป้งให้คณะผู้จัดทำได้นำมาทำวิจัยครั้งนี้ ท่านที่สามคือ นายมณเฑียร ขมินทกูล ที่ได้จัดหาเปลือกกล้วยหอมพร้อมตากและจัดส่งให้คณะผู้จัดทำ และขอขอบคุณร้านโรตี ตลาดเทศบาลเมืองมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ที่คอยสนับสนุนเปลือกกล้วยหอมให้กับคณะผู้จัดทำตลอดมา คณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณพี่นักวิทย์ประจำสาขาวิชาเคมีทุกท่าน ที่ช่วยจัดหา ให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกตลอดการทำวิจัย ที่สำคัญที่สุดขอขอบพระคุณ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับทำโครงงานพิเศษ ขอขอบคุณ เพื่อนๆทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือจนเสร็จสิ้นงานวิจัย

ท้ายที่สุด คณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก รวมถึงญาติพี่น้อง ผู้ที่อยู่ในเบื้องหลังความสำเร็จ ผู้ที่ให้โอกาส ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงงานพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ทำการศึกษาได้บ้างตามสมควร หากมีข้อเสนอแนะประการใดเพื่อปรับปรุงผลงานให้ดีขึ้น ทางคณะผู้จัดทำขอน้อมรับข้อเสนอแนะและคำติชม ด้วยความยินดีและขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กล้วย	4
2.1.1 ความรู้เกี่ยวกับกล้วยหอม	4
2.1.2 ประโยชน์ของกล้วยหอม	4
2.2 วัสดุลิกโนเซลลูโลส	5
2.2.1 เซลลูโลส	5
2.2.2 เฮมิเซลลูโลส	6
2.2.3 ลิกนิน	7
2.3 การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากลิกโนเซลลูโลส	8
2.3.1. การปรับสภาพเบื้องต้น	10
2.3.2 การไฮโดรไลซิส	13
2.4 ลูกแป้ง	16
2.4.1จุลินทรีย์ในลูกแป้ง	16
2.4.2บทบาทของจุลินทรีย์ในลูกแป้ง	17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	20
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	20
3.1.1 อุปกรณ์	20
3.1.2 สารเคมี	20
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	21
3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกล้วย	21
3.4 แผนการดำเนินงานวิจัย	22
3.4.1 การศึกษาผลของการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	23
3.4.2 ศึกษาผลของวิธีการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ	23
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย	25
4.1 องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกกล้วย	25
4.2 ผลของการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี	26
4.2.1 องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพ	26
4.2.2 ปริมาณเปลือกกล้วยที่เหลือหลังจากการปรับสภาพ	28
4.2.3 โครงสร้างและพื้นผิวของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ	29
4.2.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในของเหลวขั้นต้น	30
4.3 ผลของการไฮโดรไลซ์เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ	31
4.3.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก	31
4.3.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลซ์ด้วยลูกแป้ง	32
4.3.3 ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใยที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง	34
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก ก	41
ภาคผนวก ข	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประโยชน์ของกล้วยหอม	4
2.2 เปรียบเทียบผลดีและผลเสียในการย่อยด้วยกรด	14
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์เปลือกกล้วย	21
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยที่ศึกษา	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ไบโอเอทานอลจัดเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนที่หลายประเทศทั่วโลกนำมาใช้ ส่งผลให้ในแต่ละปีความต้องการใช้เอทานอลในหลายประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยแนวโน้มปี 2557 คาดว่าการผลิตและการใช้เอทานอลของโลกจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.8 และ 2.5 ตามลำดับ (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2556) ไบโอเอทานอลสามารถผลิตได้จากกระบวนการเทคโนโลยีชีวภาพโดยการหมักน้ำตาลรีดิวซ์ให้เป็นเอทานอล ซึ่งน้ำตาลรีดิวซ์ที่ใช้ในการผลิตเอทานอลได้มาจากวัตถุดิบ 3 ประเภทหลักคือ (1) *วัตถุดิบที่มีน้ำตาลรีดิวซ์* เป็นองค์ประกอบสูง ได้แก่ อ้อยและกากน้ำตาล (2) *วัตถุดิบจำพวกแป้ง*ที่สำคัญคือ มันสำปะหลัง และ (3) *วัสดุจำพวกลิกโนเซลลูโลส* ในปัจจุบันวัตถุดิบสองจำพวกแรกจัดเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้นำมาผลิตเอทานอล แต่เนื่องจากวัตถุดิบดังกล่าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ ทำให้เกิดกังวลในเรื่องความขัดแย้งระหว่างอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมพลังงาน ด้วยเหตุนี้การผลิตเอทานอลในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่วัตถุดิบจำพวกลิกโนเซลลูโลส ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพด

กล้วยจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและสร้างรายได้ให้กับประเทศไม่ต่ำกว่า 300 ล้านบาทต่อปี กล้วยหอมจัดเป็นพันธุ์กล้วยที่คนไทยปลูกเพื่อการบริโภคสดภายในประเทศและส่งออกเป็นจำนวนมาก ในปี 2555 ประเทศไทยมีพื้นที่ในการปลูกกล้วยหอม 86,050 ไร่ ผลผลิตกล้วยหอมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553-2555 รวมกันมีปริมาณถึง 705,999 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกเป็นเงิน 234.42 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) นอกจากมีการส่งออกกล้วยหอมสดในปริมาณมากในแต่ละปี ผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูป เช่น กล้วยกวน กล้วยอบกรอบ กล้วยตาก กล้วยฉาบ ท็อฟฟี่กล้วย ข้าวเกรียบกล้วย จัดเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตด้วย (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ, 2548) ผลจากการนำกล้วยมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จะทำให้เหลือเปลือกกล้วย ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร จิราภรณ์และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยหอม 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกกล้วยหอม เปลือกกล้วยน้ำว้า และเปลือกกล้วยไข่ ที่มีความสุกแตกต่างกัน 3 ระยะ (ดิบ , ห่าม และสุก) โดยการนำเปลือกกล้วยมาปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกและนำเปลือกที่ผ่านการปรับสภาพไปไฮโดรไลซิสเพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลด้วยกรดชนิดเดียวกัน พบว่า การปรับสภาพวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้น้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พบว่า เปลือกกล้วยที่ระยะความสุกต่างกันจะได้น้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณแตกต่างกัน โดยเปลือกกล้วยหอมสุกจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดเท่ากับ 341.22 ± 82.30 mg/g นอกเหนือจากการปรับสภาพวัตถุดิบด้วยกรด พบว่าสารละลายด่างโดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้รับความนิยมมากกว่าในการใช้เป็นสารเคมีในการปรับสภาพวัตถุดิบ (นันทิกา , เพ็ญศรี และอนุสิษฐ์, 2554) นอกจากนี้วัตถุดิบที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างสามารถนำมาย่อยด้วยลูกแป้งเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้ เกศมณี และคณะ (2546) ได้ทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH และย่อยด้วยลูกแป้ง พบว่า เปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.5 M จะมีปริมาณเซลลูโลสสูงขึ้นถึง 91.32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปย่อยเซลลูโลสเพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์โดยการใช้ลูกแป้งจะได้น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 8 องศาบริกซ์ โครงงานพิเศษนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยหอมที่ผ่านการปรับสภาพโดยใช้ลูกแป้งเทียบกับกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยหอมสุกโดยกระบวนการย่อยด้วยลูกแป้งและการไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาคือ เปลือกกล้วยหอมสุก ที่อบแห้งบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช
2. สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกล้วยที่ศึกษา ได้แก่
   - องค์ประกอบเยื่อใย (เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน) ด้วยวิธี Detergent method
   - ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี 3,5 – Dinitrosalicyclic acid Method (DNS)
   - ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
3. การปรับสภาพเปลือกกล้วย
   - สารเคมีที่ใช้ปรับสภาพได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
   - ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้น (1.0, 1.5 , 2 , 2.5 โมลาร์)
   - สภาวะที่ใช้ปรับสภาพ คือแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปต้มเป็นเวลา 90 นาที
   - ตัวแปรตามที่วัด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• ส่วนที่เป็นของแข็ง : องค์ประกอบเยื่อใย และชั่งน้ำหนักเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ

• ส่วนของเหลวขั้นต้น : วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

4. การไฮโดรไลซิส

- ปัจจัยที่ทำการศึกษา (ตัวแปรต้น) ได้แก่ กระบวนการในการย่อย (ลูกแป้ง กับ กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5%, 1%, 2%)

- ตัวแปรตามที่วัด ได้แก่

• ปริมาณน้ำตาลโดยใช้เครื่องมือวัดน้ำตาลชนิดมือถือ และวิธี DNS

• ปริมาณเฟอร์ฟูรัลด้วยสารละลายรีเอเจนต์สแตนนัสคลอไรด์-แอนิลีน-กรดแอซิติก

• ส่วนที่เป็นของแข็ง : วิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วย
2. เป็นการนำวัสดุชีวภาพที่เหลือใช่มาทำให้เกิดประโยชน์ละลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วย

กล้วยเป็นพืชล้มลุกขนาดใหญ่ มีอายุหลายปี อยู่ในตระกูล *Musaceae* (เมื่อโตเต็มที่อาจมีความสูง 2-9 เมตรซึ่งอยู่ในหลาย Genus ด้วยกัน เช่น *musa,Heliconia,curcuma* และ *calathai* กล้วยสกุลที่พบในประเทศไทยที่สามารถรับประทานได้มีหลายชนิด ได้แก่ กล้วยป่า กล้วยตานี กล้วยหก กล้วยไข่ กล้วยหอม กล้วยหักมุก และกล้วยน้ำว้า กล้วยเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในชีวิตประจำวันเนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน ในประเทศไทยนิยมบริโภคกล้วยทุกชนิดโดยเฉพาะกล้วยหอม นิยมนำมาประกอบอาหารหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นเค้กกล้วยหอม โรตีกล้วยหอม เนื่องจากมีความหวานและคุณค่าทางอาหารสูงและย่อยง่าย (เบญจมาศ, 2545)

2.1.1 ความรู้เกี่ยวกับกล้วยหอม

กล้วยหอมเป็นไม้ล้มลุกชนิดหนึ่ง มีอยู่หลากหลายสายพันธุ์ เช่น กล้วยหอมจันท์กล้วยหอมทองกล้วยหอมเขียว โดยกล้วยหอมเขียวหรือกล้วยหอมคาเวนดิชเป็นกล้วยหอมที่นิยมปลูกทั่วไป จัดเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยคุณค่าสารอาหารครบถ้วนตามหลักทางโภชนาการ อาทิเช่น มีวิตามินไฟเบอร์ที่มีส่วนช่วยในเรื่องของการขับถ่าย มีสารแทนนินซึ่งมีส่วนช่วยในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีชื่อว่า *Escherichia coli* ที่เชื่อว่าทำให้เกิดอาการท้องร่วงได้ เป็นต้น ซึ่งกล้วยหอมได้ถูกจัดว่าเป็นผลไม้ของเขตเมืองร้อน สามารถปลูกได้เกือบทุกประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนชื้นหลายแห่ง สำหรับประเทศไทยสามารถปลูกกล้วยหอมได้ทั่วทุกภาคปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่สำหรับปลูกกล้วยหอมอยู่ประมาณ 140,000 ไร่ (ผลการสำรวจปี พ.ศ. 2529) โดยพบว่าภาคที่มีการปลูกกล้วยหอมมากที่สุดได้แก่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือภาคใต้แต่ภาคใต้และภาคตะวันออกจะเน้นปลูกกล้วยหอมเพื่อการค้า(พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ, 2544)

2.1.2 ประโยชน์ของกล้วยหอม

กล้วยหอมสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ทั้งนำมาใช้เป็นยา ใช้เป็นวัสดุในงานฝีมือและใช้ในงานทางด้านการเกษตร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประโยชน์ของกล้วยหอม

ประโยชน์	ส่วนประกอบ	การนำไปใช้
ยารักษาโรค	- ผล	- ขับปัสสาวะ
	- ผลดิบ	- ช่วยแก้โรคท้องเสีย สมานแผลในกระเพาะอาหาร
	- ผลสุก	- ใช้เป็นอาหาร กระตุ้นให้ร่างกายรู้สึกผ่อนคลาย
	- ยางกล้วยจากใบ	- ใช้ห้ามเลือด
	- ราก	- ใช้ต้มน้ำดื่มเพื่อบรรเทาอาการปวดฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์	ส่วนประกอบ	การนำไปใช้
งานฝีมือ, บรรจุภัณฑ์, เลี้ยงสัตว์	- ลำต้น -ใบ	- ใช้เป็นฐานกระทงหรือใช้หั่นเลี้ยงสัตว์ - ใช้ห่ออาหาร
งานเกษตร	- เปลือกกล้วย	- นำเปลือกกล้วยไปวางรอบๆ โคนต้นกุหลาบ แล้ว โกยดินทับประมาณ 1 นิ้ว จะช่วยให้กุหลาบแตกกิ่งเร็วขึ้น

ที่มา: พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ, 2544)

เปลือกกล้วยเป็นส่วนที่กินไม่ได้ของผลกล้วย เมื่อนำผลกล้วยมาบริโภค/แปรรูป จะกลายสภาพเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของเปลือกกล้วยพบว่าเปลือกกล้วยมีปริมาณเยื่อใยและไขมันค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเนื้อกล้วย(ศิริโชค, 2535; ณิฐิมา และคณะ, 2539; กุลยา, 2540) เปลือกกล้วยหอม มีโปรตีนประมาณ 5.29-6.20 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6.66-11.99 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 8.52-12.08 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 9.90-16.30 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนฟรีแอกแทรกซ์ (NFE) 47.89-63.81 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.31-0.60 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 0.19-0.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.2วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic material)

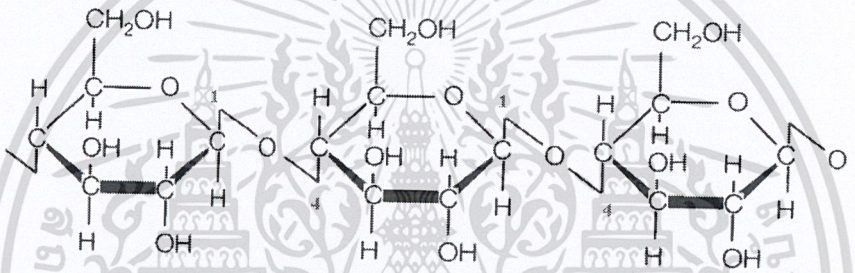
วัสดุลิกโนเซลลูโลส หมายถึงชีวมวลที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่พบเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช โดยพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณสัดส่วนแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและส่วนต่างๆของพืช

2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์สายยาวและมีมวลโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเบตา (β-(1,4) glucosidic linkage) ประมาณ 10,000 หน่วย (รูปที่ 2.1) พบทั่วไปในธรรมชาติ โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืชและมีการเรียงตัวอยู่ในรูปของผลึกเซลลูโลสมีโครงสร้างเส้นใยเล็กๆที่เรียกว่าไฟบริล (fibril) ซึ่งมีลักษณะเป็นมัดยาวรวมกันอยู่อย่างแข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล การจัดเรียงตัวของโมเลกุลไฟบริลทำให้เซลลูโลสมีโครงสร้างหลายรูปแบบ โครงสร้างทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลสเกิดจากไฟบริลหรือโปรโตไฟบริลที่มีการเรียงตัวขนานและจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง ซึ่งเมื่อตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นแผ่นบางๆ และเมื่อตัดขวางแผ่นบางๆเหล่านี้ จะพบส่วนที่เป็นโครงสร้างผลึกที่มีการจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเรียงตัวขนานกันไปโดยบางส่วนอาจเรียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งบริเวณนี้ทำให้เซลลูโลสสลายตัวและแยกออกจากกันได้โดยการเข้าทำปฏิกิริยาของของเหลว เช่น กรดแก่ นอกจากนี้ยังอาจเกิดเป็นรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายโดยแรงกล เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบและขีดจำกัดของความยืดหยุ่นของไมโครไฟบริลเมื่อความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบเปลี่ยนแปลงไป เซลลูโลสที่มีลักษณะแห้งจะดูดความชื้น ทำให้เซลลูโลสสามารถพองตัวหรือหดตัวได้แต่ในบางภาวะ เช่น เมื่อเซลลูโลสอยู่ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เซลลูโลสจะไม่เกิดการพองตัวเหมือนอยู่ในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ ความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสอยู่ในช่วง 9-21.1% ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ โดยการดูดน้ำหรือความชื้นจะเกิดจากท่อขนาดเล็กจำนวนมากที่อยู่ตามพื้นที่ผิวสัมผัสของเซลลูโลสและพื้นที่ทั้งหมดของวัสดุ โดยทั่วไปเซลลูโลสสามารถพองตัวได้ประมาณ 100 เท่าของวัสดุขณะแห้ง ซึ่งการพองตัวได้จะทำให้ตัวทำละลายต่างๆ เข้าทำลายโครงสร้างได้ง่ายขึ้น



รูปที่2.1 โครงสร้างเซลลูโลส

(ที่มา: http://thebiochemsynapse.wordpress.com/tag/cellulose/)

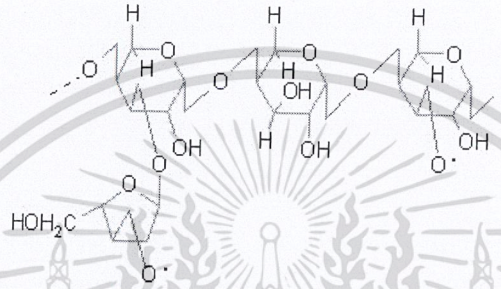
2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำและมีปริมาณการเกิดเป็นพอลิเมอร์(Degree of polymerization, DP)ประมาณ 200 (นิธิยา, 2551) โดยมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในเฮมิเซลลูโลสหลายชนิด กล่าวคือ มีไซโลสมากที่สุดถึง 85- 90% เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบตา (รูปที่ 2.2) และส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน5 และ 6 อะตอม กรดแมนนูโรนิก (Mannuronic acid) และกรดกาแลกตูโรนิก (Galacturonic acid) เป็นองค์ประกอบ เฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยกรดหรือเบสเจือจาง หรือเอนไซม์ เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสไม่มีรูปร่างแน่นอน ไม่เป็นเส้นตรง และมีลำดับของหน่วยย่อยน้ำตาลที่เรียงตัวแบบสุ่ม จึงทำให้พันธะที่เชื่อมระหว่างไซโลสถูกทำลายด้วย พืชจะประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำหนักแห้ง (Prosky and Devries, 1992) โดยอยู่รวมกับเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งลิกนินจับตัวกันอยู่อย่างหนาแน่นด้วยพันธะโควาเลนท์จะทำให้เกิดผนังเซลล์พืชที่แข็งแรง ส่วนใหญ่พบในไม้เนื้อแข็งมากกว่าไม้เนื้ออ่อน โดยทั่วไปเฮมิเซลลูโลสจะมีความเป็นกรด เนื่องจากหมู่ 4-เมธิล-แอลฟา-ดี-กลูโคส (4-methyl-α-D-glucose) จับอยู่กับออกซิเจนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งการมีหมู่แทนที่ในตำแหน่งที่ 2 และ 3 ส่งผลให้สามารถสกัดเฮมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลสโดยง่ายด้วยสารละลายเบสและกรดเจือจางแต่ขั้นตอนของการสกัดเฮมิเซลลูโลสออกนั้นอาจต้องมีการกำจัดลิกนิน(delignification) ร่วมด้วย

เฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะพบในผนังเซลล์ชั้นนอกสุด และพบส่วนน้อยในผนังเซลล์ชั้นที่ 2 โดยจะถูกย่อยสลายและสกัดออกจากผนังเซลล์พืชได้ในภาวะที่ไม่รุนแรง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลมีโซ่กิ่งเป็นจำนวนมากคล้ายกับโครงสร้างของเพกติน โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะชอบน้ำ ทำให้เกิดการรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นเจลได้ ขณะที่เมื่อเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์จะไม่สามารถสกัดออกได้ด้วยน้ำ แต่สามารถละลายได้ในเบส



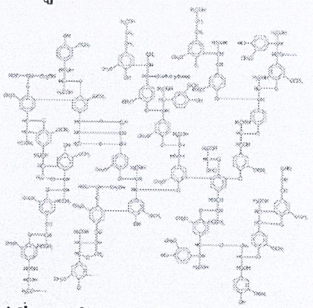
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

(ที่มา: http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/section2/an431/content/lesson02.htm)

2.2.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่พบในผนังเซลล์พืชที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างร่วมกับเซลลูโลสและพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นๆ ลิกนินประกอบด้วยโมเลกุลที่เป็นวงแหวนที่ต่อกันแบบสุ่มเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โดยภายในโครงสร้างจะเชื่อมกันด้วยพันธะอีเธอร์หรือคาร์บอนระหว่าง2 โมเลกุล ทำให้ลิกนินทนทานต่อการย่อยสลายด้วยสารเคมีและเอนไซม์มากกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ (Southgate et al., 1976)ดังนั้นจึงต้องอาศัยสารเคมีในการแยกลิกนินออกจากพอลิแซ็กคาไรด์

ลิกนินมีโครงสร้างที่เกิดจากหน่วยที่เหมือนกันซ้ำๆ ประกอบเป็นโมเลกุลที่ใหญ่มีการเชื่อมต่อกันของหน่วยย่อยคือ ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenyl propanoid) ที่มีหมู่เมธิลอยู่บนโมเลกุล (รูปที่ 2.3) ลิกนินจากไม้เนื้ออ่อน หญ้า และไม้เนื้อแข็งมีองค์ประกอบของหมู่แทนที่พวกเมธอกซี (methoxy) และการเกิดพันธะระหว่างหมู่ฟีนิลที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลิกนิน

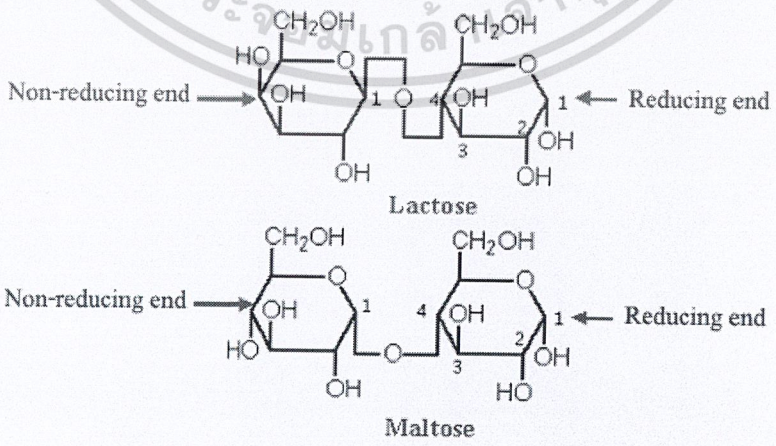
(ที่มา: http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/lignin.htm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติลิกนินจะไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถสกัดลิกนินได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วสูง ขณะที่บางส่วนในกลุ่มของอัลคาไลน์ลิกนิน (alkaline lignin) สามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกไดออกเซน (dioxane) ไพริดีน (pyridine) และสารละลายเบสเจือจางได้ นอกจากนี้ เมื่อมีการเติมหมู่เมธิล (methylation) และหมู่อะซีติล (acetylation) แทนที่ตำแหน่งต่างๆ บนวงแหวนเบนซีนในโครงสร้างของลิกนิน ทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตได้ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 280 นาโนเมตร ทั้งนี้การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ก็เป็นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซีลให้แก่โครงสร้างของลิกนิน ทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงได้ ด้วยการที่ลิกนินอยู่รวมกับเซลลูโลสในเนื้อไม้ ทำให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรงได้ตามธรรมชาติ รวมทั้งยังทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์ไม่สามารถทำลายโครงสร้างพืชได้ง่าย โดยโครงสร้างที่ลิกนินอยู่รวมกับเซลลูโลสจะมีพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเพื่อให้การใช้ประโยชน์จากวัสดุกลุ่มลิกโนเซลลูโลสมีมากขึ้น จึงต้องใช้การปรับสภาพวัสดุเหล่านี้ก่อน และป้องกันผลเสียที่เกิดจากลิกนิน รวมทั้งให้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ต่อไป

2.3การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากลิกโนเซลลูโลส

น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) คือ น้ำตาลที่เกิดจากการรวมตัวกันของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) หมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde) หรือคีโทน (ketone) ที่เป็นอิสระอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาล และถูกออกซิไดส์ได้ง่ายด้วยตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent) อย่างอ่อนตัวอย่างของน้ำตาลกลุ่มนี้ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ทุกชนิด เช่น น้ำตาลกลูโคส (glucose) น้ำตาลกาแล็กโทส (galactose) น้ำตาฟรักโทส (fructose) และน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) บางชนิด เช่น น้ำตาลแล็กโทส (lactose) น้ำตาลมอลโทส (maltose) ที่มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.4

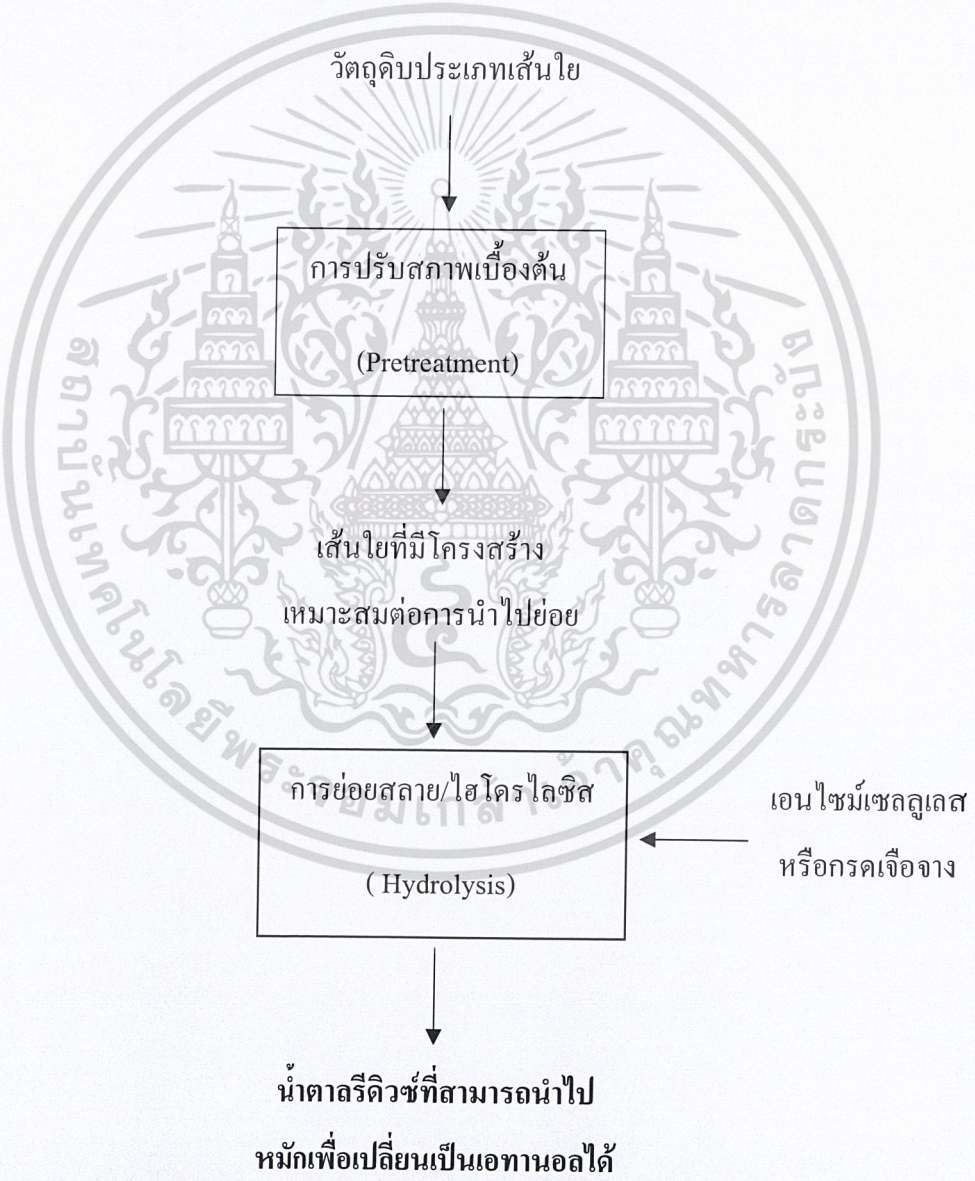


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของน้ำตาลรีดิวซ์

(ที่มา :http://science.srru.ac.th/org/sci-elearning/courseonline/4022503/chapter3-disac.htm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลรีดิวซ์ส่วนมากจะผลิตได้จากวัตถุดิบ เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด เปลือกไม้ ผักตบชวา หญ้าแฝก หรือเยื่อใยจากพืชชนิดต่างๆ (ธีรภัทร, 2543; อำนวย, 2548) วัสดุเหลือทิ้งจากโรงเลื่อย โรงงานทำกระดาษ กระดาษหนังสือพิมพ์ (เทพปัญญา, 2545) วัตถุดิบประเภทนี้มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก และมีองค์ประกอบอื่นๆ คือ ลิกนิน โปรตีน เถ้า และสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ (Murphy and McCaty, 2005) เป็นต้น เรียกวัตถุดิบประเภทนี้ว่า *วัสดุลิกโนเซลลูโลส* ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ ประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์พืช ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากวัสดุลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วย2 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.5

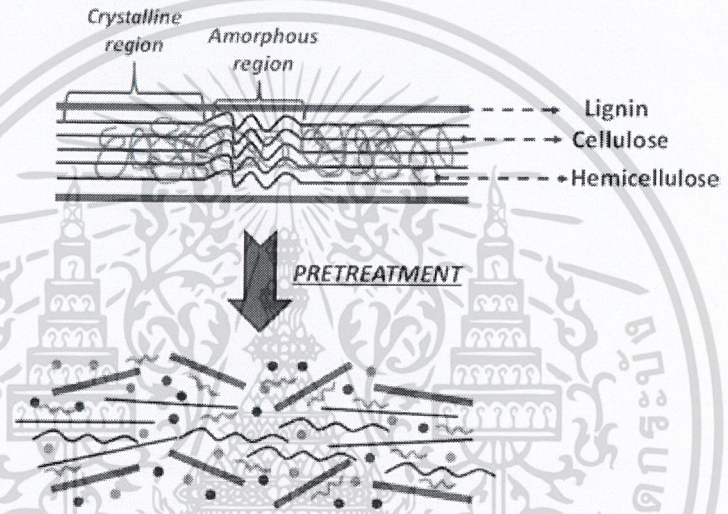


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5กระบวนการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์

2.3.1.การปรับสภาพเบื้องต้น(Pretreatment)

กระบวนการปรับสภาพ คือ เป็นขั้นตอนการเตรียมลิกโนเซลลูโลสให้อยู่ในรูปที่พร้อมต่อการย่อย ลดโครงสร้างแบบผลึกของเซลลูโลส และเพิ่มความเป็นรูพรุนของวัตถุดิบด้วยการเปลี่ยนหรือกำจัดโครงสร้างที่เป็นสิ่งกีดขวางได้แก่ ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ออกไปจากวัสดุ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยดีขึ้นและผลได้ของน้ำตาลที่ใช้ในการหมักเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับสภาพจึงถือเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนแรกที่กำหนดอัตราการผลิตและผลที่ได้ทั้งหมดของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว รวมทั้งต้นทุนการผลิตเอทานอล(วนิดา 2553; Sathisuksanoh et al., 2013) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่2.6 โครงสร้างวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสหลังการปรับสภาพ (Mosier et al, 2005)

กระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส สามารถแบ่งออกได้ 4 กระบวนการหลัก ดังนี้

1.การปรับสภาพโดยกระบวนการทางกายภาพ (Physical pretreatment)

กระบวนการทางกายภาพเป็นการใช้แรงกล เช่น การบด ตัด หรือโม่ เข้าไปลดขนาดของวัตถุดิบ ซึ่งขนาดของวัสดุที่ได้จากการตัดจะมีขนาด 10-13 มิลลิเมตรและหลังจากการโม่หรือบดจะมีขนาด 0.2-2มิลลิเมตร (วนิดา, 2553) นอกจากการลดขนาดของวัตถุดิบแล้ววิธีการนี้ยังทำให้โครงสร้างผลึก (Crystalline) ของเส้นใยที่ประกอบด้วยไมโครไฟบริลจำนวนมากแตกออก เพิ่มพื้นที่ผิวและลดจำนวนโมโนเมอร์เฉลี่ยในโมเลกุลของโพลิเมอร์ หรือองศาของการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of Polymerization, DP) ซึ่งจะส่งผลให้การย่อยลิกโนเซลลูโลสเกิดได้ดีขึ้น 5-25% (วนิดา, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การปรับสภาพโดยกระบวนการทางเคมีกายภาพ (Physical-chemical pretreatment)

เป็นการใช้วิธีทางกายภาพร่วมกับวิธีทางเคมี แปลงโครงสร้างเซลลูโลส และกำจัดลิกนิน ซึ่งจะทำให้การแตกตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนการไฮโดรไลซิสเพิ่มขึ้น วิธีการที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธี ได้แก่

- *การระเบิดด้วยไอน้ำ (Stream Explosion Process)*หลักการคือทำให้วัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอิ่มตัวด้วยไอน้ำภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงแล้วลดความดันลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เส้นใยแยกออกจากกัน ความชื้นและอุณหภูมิสูงทำให้พืชปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสให้เป็นโอลิโกแซคคาไลด์และน้ำตาลเพนโทสบางส่วนจะกลายเป็นเฟอร์ฟูรัล(Furfural)รวมทั้งน้ำตาลเฮกโซสบางส่วนก็เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลเมททิลเฟอร์ฟูรัล (Hydroxyl methyl furfural) ดังนั้นการย่อยสลายเซลลูโลสในขั้นต่อไปจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

- *การใช้น้ำร้อน (Liquid hot water, LHW)*เป็นการใช้น้ำร้อนแทนไอน้ำ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อสลายเฮมิเซลลูโลส ทำให้เข้าถึงเซลลูโลสได้ดีขึ้น และทำให้การย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้น 2-5 เท่า (Hendriks and Zeeman, 2009 อ้างถึงใน วนิดา, 2553)

- *การระเบิดด้วยสารละลายเบสเจือจาง* ชนิดของสารละลายเบสเจือจางที่นิยมใช้กันมี 3 ชนิดคือ

(1) Ammonia fiber explosion (AFEX) เป็นวิธีการหนึ่งของการปรับสภาพทางด้านเคมีกายภาพ ซึ่งวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสจะถูกรมด้วยแอมโมเนียมเหลวที่ความดันและอุณหภูมิสูงตามระยะเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นความดันจะลดลงทันที ซึ่งหลักการคล้ายกับวิธี steam explosion โดยในกระบวนการ AFEX ปริมาณของแอมโมเนียเหลวที่ใช้จะอยู่ในระดับ 1-2 กรัมแอมโมเนียต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

(2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้มากที่สุด สามารถกำจัดลิกนินได้ดี เนื่องจาก NaOH เป็นเบสแก่ ซึ่งในบางครั้ง NaOH ไม่ได้กำจัดลิกนินออกไปเพียงอย่างเดียว แต่อาจทำลายเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสบางส่วนออกไปด้วย ดังนั้นการใช้ NaOHจึงจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมกับพืชชนิดนั้นๆ ผลผลิตที่ได้จึงจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด(Wang et al., 2011)

(3) โซเดียมซัลไฟด์(Na_2S)เป็นสารเคมีที่นิยมใช้น้อยที่สุด แต่เป็นสารที่กำจัดลิกนินได้ดีที่สุด โดยที่ Na_2S จะมีความจำเพาะเจาะจงกับลิกนินเท่านั้น โดยจะไม่มีผลต่อเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส เหตุผลที่นิยมใช้ Na_2S ค่อนข้างน้อย ก็อาจเนื่องจากกลิ่นของแก๊สไข่เน่าที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายลิกนิน แต่อย่างไรก็ตาม Na_2S ยังคงใช้ในระดับอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องกำจัดลิกนินออกเท่านั้น เช่น อุตสาหกรรมผลิตเยื่อ/กระดาษในหลายบริษัท เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การปรับสภาพโดยกระบวนการทางเคมี (Chemical pretreatment)

เป็นการปรับสภาพวัตถุดิบโดยใช้สารเคมี เช่น สารละลายกรด สารละลายด่าง ตัวทำละลายอินทรีย์หรือตัวออกซิแดนซ์(Oxidant reagent) วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยเฮมิเซลลูโลสในกรณีของสารละลายกรดหรือเพิ่มปริมาณการละลายของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินกรณีการใช้สารละลายด่าง นอกจากนี้สารละลายด่างยังช่วยให้เกิดการบวม (swelling) ของโครงสร้าง ซึ่งเชื่อว่าจะช่วยเพิ่มปริมาณการย่อย เนื่องจากเอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น

1.การทำปฏิกิริยาด้วยการใช้กรด (acid hydrolysis)

การปรับสภาพโดยการใช้กรดนั้นมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้น้ำตาลในปริมาณที่สูงจากวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส เนื่องจากกรดสามารถเข้าไปทำลายพันธะของโครงสร้างวัตถุดิบได้ดีและนิยมกันอย่างแพร่หลายเพราะราคาไม่สูงมากนัก ซึ่งชนิดของกรดที่นิยมนำมาปรับสภาพวัตถุดิบได้แก่ กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริกหรือกรดฟอสฟอริก แต่การปรับสภาพวัตถุดิบโดยใช้กรดที่มีความเข้มข้นสูงจะมีอันตรายเพราะมีความเป็นพิษสูง เกิด by product ที่ยับยั้งกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ดังนั้นการใช้กรดเจือจางจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมและสนใจที่จะศึกษากันแพร่หลายที่สุด(Ballesteros et al., 2004)

2. การทำปฏิกิริยาด้วยการใช้ด่าง (alkaline hydrolysis)

การใช้ด่างเจือจางในวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสจะมีผลทำให้เกิดการบวมภายในโครงสร้างของวัตถุดิบ เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและเพิ่มความพรุนในการทำปฏิกิริยา โดยที่ความพรุนของวัตถุดิบจะสามารถเพิ่มขึ้นได้นั้นต้องกำจัดสายโซ่ที่เชื่อมต่อภายในโครงสร้าง ทำให้ลดความเป็นโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสและลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ สามารถแยกสายโครงสร้างของลิกนิน อย่างไรก็ตามการใช้ด่างเพื่อปรับสภาพมักจะไม่มีผลต่อวัสดุพวกไม้เนื้ออ่อนเท่าไม้เนื้อแข็ง

3. การใช้สารออกซิแดนซ์(Oxidannt)

สารเคมีที่ใช้ได้แก่ SO_2และตัวทำละลายชนิดอื่นๆที่สามารถกำจัดลิกนินได้เช่น$NaClO_2$, KB_2O_2 , KIO_3 ,SO_3โดยจะมีผลต่อการละลายของลิกนินวิธีการนี้จะมีปัญหาทางสิ่งแวดล้อมโดยจะเกิดสาร Lignosulphonateซึ่งไม่สามารถใช้ในการหมักได้จึงถูกกำจัดออกจากระบบซึ่งเป็นปัญหาเดียวในอุตสาหกรรม Sulphite pulping

4. การปรับสภาพโดยกระบวนการทางชีวภาพ (Biological pretreatment)

เป็นการปรับสภาพที่ต้องพึ่งพาจุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่เป็นแบคทีเรียและเชื้อรารวมทั้งเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลชีพเหล่านี้เชื้อราทั้งชนิดที่เป็น white-rot, brown-rod และชนิดที่เป็น soft-rot สามารถย่อยสลายเซลลูโลสเฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้โดย brown-rod มีบทบาทสำคัญในการย่อยพวกเซลลูโลสในขณะที่white-rot และ soft-rot จะเข้าย่อยสลายพวกลิกนินและเฮมิเซลลูโลสจากการทดลองนำลิกโนเซลลูโลสมาหมักกับเชื้อราเหล่านี้ที่อุณหภูมิ 25-35°C เป็นเวลา 3-22 วันพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฮโลเซลลูโลสและลิกนินถูกย่อยสลายไปได้มากถึง 45-75 % และ65-80 % ตามลำดับนอกจากนั้นยังพบว่าชีวมวลที่ผ่านการ pretreatment ด้วยวิธีนี้ยังให้ก๊าซชีวภาพได้มากกว่าเมื่อนำไปpost-treat ต่อด้วยระบบ anaerobic digestionเชื้อราและแบคทีเรียเหล่านี้ได้ได้แก่*Aspergillusterreus, Trichodermaspp, Cyathusstercoreus, Penicilliumcamemberti, Phanerochaetechrysosporium, Streptomyces griseus*ฯลฯเป็นต้น

2.3.2การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) คือ การย่อยสลายวัสดุเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพโดยเฉพราะอย่างยิ่งคือ เซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งน้ำตาลรีดิวซ์ที่สำคัญคือ น้ำตาลกลูโคส นอกจากนี้การย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ของน้ำตาลคาร์บอน 5 และ 6 อะตอม จะได้น้ำตาลไซโลส แมนโนสอะราบิโนส และกลูโคส ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (Bosch et al.,2010) ซึ่งการย่อยสลายจะทำให้สายพอลิเมอร์ทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสถูกทำให้สั้นลงกลายเป็นน้ำตาลอิสระก่อนที่จะนำไปหมักเป็นเอทานอลโดยการไฮโดรไลซิสนั้นสามารถทำได้2 วิธี โดยวิธีแรกคือ *การย่อยด้วยสารเคมี*ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นวิธีการย่อยด้วยกรด (Acid hydrolysis) และการย่อยด้วยด่าง (Alkaline hydrolysis) วิธีที่สองคือ *การย่อยด้วยเอนไซม์*(DudsadeeUttapap, 2550)

1. การย่อยด้วยสารเคมี (Chemical Hydrolysis)

1.1 การย่อยสลายด้วยกรด (Acid hydrolysis)

เป็นการใช้กรดเจือจางภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง หรืออาจจะเพิ่มความเข้มข้นของกรดขึ้นเพื่อลดอุณหภูมิและความดันให้ต่ำลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยกรดเจือจางจะต้องนำไปทำปฏิกิริยาสะเทินก่อนกระบวนการหมัก การย่อยสลายด้วยกรดเจือจางมักนิยมใช้กรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นกรดที่นิยมใช้กันมาก และมีราคาถูก แต่ในขณะเดียวกัน ก็ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงหลายชนิด เช่น เฟอร์ฟูรัลไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล ที่เกิดจากการกำจัดน้ำของน้ำตาลโดยเฉพาะน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลคาร์บอน 5 อะตอม ซึ่งในระยะยาวสารเหล่านี้จะมีความเป็นพิษสูง การย่อยสลายด้วยกรด แบ่งได้เป็น2 กระบวนการคือ (รัตติยาพรและศิตาภา, 2553)

ก. กระบวนการแบบโฮโมจีนัส(Homogeneous Process)เป็นกระบวนที่ใช้กรดแก่เช่นกรดไฮโดรคลอริก(hydrochloric acid) หรือกรดซัลฟูริก (sulfuric acid) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่คือน้ำตาลกลูโคส แต่มีข้อเสียคือ ต้องมีการแยกกรดที่ใช้ออกจากน้ำตาลก่อนนำไปใช้ และเรื่องการผุกร่อนของเครื่องมือรวมทั้งปัญหาการสูญเสียกรดไปกับส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลาย

ข. กระบวนการย่อยแบบเฮเทอโรจีนัส(Heterogeneous Process) เป็นกระบวนการที่ใช้กรดอ่อนกว่า แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส ผลการย่อยคือ เซลลูโลสยังมีโครงสร้างของเส้นใยอยู่(fibrous structure) วิธีการนี้จะไม่สามารถนำกรดกลับมาใช้ใหม่ แต่จะถูกทำให้เป็นกลางด้วยปูนขาว หรือแคลเซียมคาร์บอเนต วิธีการย่อยด้วยกรดมี ข้อดี –ข้อเสียของวิธีการทั้งสองสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบผลดีและผลเสียในการย่อยด้วยกรด

ผลดี	ผลเสีย
1. ปฏิกิริยาเกิดเร็ว ง่าย และสั้น 2. ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ราคาถูกและหาง่าย 3. ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ(กรณีใช้กรดแก่) 4. ให้ผลิตภัณฑ์สูง(กรณีใช้กรดแก่)	1.ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่เจาะจงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่บริสุทธิ์ 2. ต้องใช้อุณหภูมิสูง (กรณีใช้กรดอ่อน) 3.น้ำตาลที่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นสารอื่น เช่น เฟอร์ฟูรัล และสารเคมีอื่นๆ 4. ผลพลอยได้ของปฏิกิริยาการย่อยด้วยกรด เช่น เฟอร์ฟูรัล เป็นต้น

ที่มา: เกศมณี และคณะ(2545)

1.2 การย่อยด้วยด่าง (Alkaline Hydrolysis)

สารละลายที่นิยมใช้ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง เอทินลีนไดอะมีน (ethylene diamine) และแอมโมเนีย (ammonia) เป็นต้น การใช้สารละลายด่างในการย่อยจะทำให้สายของโพลีแซคคาไรด์สั้นลง ปฏิกิริยานี้จะเกิดในสภาพอุณหภูมิสูงประมาณ 160 ถึง 180 องศาเซลเซียส และต้องการออกซิเจนในปริมาณเล็กน้อยซึ่งใช้ในการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสข้อจำกัดคือปฏิกิริยาที่เกิดจะไม่เฉพาะเจาะจง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่บริสุทธิ์ ผลิตภัณฑ์บางส่วนเปลี่ยนไปเป็นสารอื่น เช่นเฟอฟูรัล (Furfural) และ ไฮดรอกซิลเมททิลเฟอฟูรัล (Hydroxyl methyl furfural) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการและมีความเป็นพิษต่อจุลชีพที่ใช้ในการผลิตเอทานอล

2.การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Enzymatic Hydrolysis)

เอนไซม์ที่ใช้ในการปรับสภาพหรือย่อยสลาย คือเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase)ซึ่งมีความจำเพาะสูง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสจะเป็นน้ำตาลรีดิวส์ ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (รูปที่ 2.7) ซึ่งในด้านค่าใช้จ่ายโดยการใช้เอนไซม์จะต่ำกว่าการใช้กรดหรือเบสเนื่องจากไม่ต้องคำนึงถึงปัญหาจากการกัดกร่อนโดยเอนไซม์เซลลูเลสสามารถผลิตได้จากทั้งแบคทีเรียและเชื้อรา โดยปกติในกระบวนการไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์เซลลูเลส ประกอบด้วยการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส3 กลุ่ม คือ

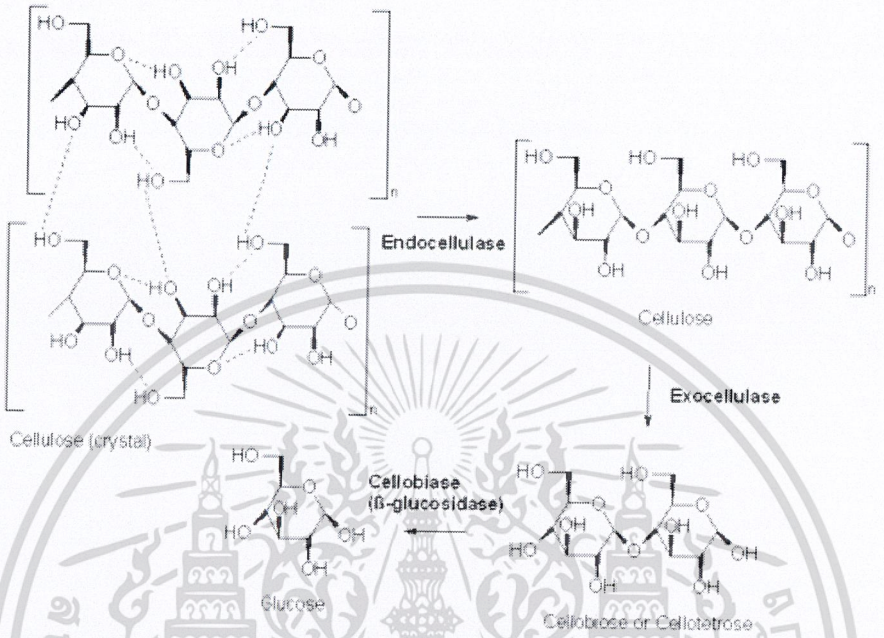
(1) endoglucanase (EG, endo-1,4-D-glucanohydrolase หรือ EC 3.2.1.4)เอนไซม์ในกลุ่มนี้เป็นเอนไซม์ที่เข้าทำปฏิกิริยาในบริเวณที่มีลักษณะเป็นผลึกต่ำของเซลลูโลส

(2) exoglucanase หรือ cellobiohydrolase (CHB, 1,4-β-D-glucancellobiohydrolase หรือ EC 3.2.1.91) เป็นเอนไซน์ที่ย่อยเซลลูโลสให้เป็นเซลโลไบโอส(cellobiose)

(3) β-glucosidase (EC 3.2.1.21) เป็นเอนไซน์ที่ย่อยเซลโลไบโอสเป็นกลูโคส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยกรดและการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ จะได้น้ำตาลที่มีคาร์บอนหกอะตอม หรือ น้ำตาลเฮกโซส เช่น กลูโคส และน้ำตาลที่มีอะตอมของคาร์บอน 5 อะตอม หรือน้ำตาลเพนโตสเช่น ไซโลส แมนโนสอะราบิโนส เป็นต้น (Dwivedi et al., 1999)



รูปที่ 2.7 กลไกการทำปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ในการย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส

(ที่มา http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulase)

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

1. อุณหภูมิ

ปัจจัยที่มีผลปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่สำคัญ คืออุณหภูมิ เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดได้ต้องอาศัยความร้อนเพื่อทำให้น้ำเข้าทำลายพันธะของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซิสเฮมิเซลลูโลสคือ 180 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสคือ 250 องศาเซลเซียสถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลทำให้น้ำตาลที่ไฮโดรไลซิสออกมาได้ถูกทำลายไป แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิสมีปริมาณน้อยมาก(นันทิชา และคณะ,2554)

2. ความดัน

ในการไฮโดรไลซิสความดันที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามอุณหภูมิที่ให้กับเครื่องปฏิกรณ์ ความดันมีผลคือถ้าความดันมีค่าสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดได้ดีขึ้น แต่สามารถเพิ่มความดันได้ถึงช่วง 35-40บาร์ เท่านั้น ซึ่งความดันนี้เกิดขณะที่อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าอยู่ในช่วง 242 ถึง 250 องศาเซียส เพราะถ้าเพิ่มความดันมากกว่านี้จะมีผลทำให้น้ำตาลที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสถูกทำลาย

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความเข้มข้นของสารละลายกรด

ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสต้องอาศัยสารละลายกรดเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้ง่ายขึ้นและเกิดได้มากขึ้น เนื่องจากถ้าไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยามีผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้น้อยและช้ากว่าการมีตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้สารละลายกรดเจือจางที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น แต่ความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ควรใช้คือ 0.5 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรเท่านั้น ถ้าใช้มากกว่านี้อาจจะกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์ได้ และมีผลทำลายน้ำตาลที่ได้อีกด้วย กรดที่นิยมใช้เช่น กรดอะซิติก กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น

4. เวลา

ถ้าเพิ่มเวลาในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้มากขึ้น ปริมาณน้ำตาลที่ได้ออกมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก็จะมากตามไปด้วย เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสถูกทำลายพันธะมากขึ้น **5. พื้นที่ผิว**

ขนาดของเปลือกกล้วยที่เป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีผลต่อปริมาณน้ำตาลที่ได้เนื่องจากขนาดของเปลือกกล้วยยิ่งเล็กก็ยิ่งมีผลทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากขึ้นและปริมาณน้ำตาลที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

2.4ลูกแป้ง

ลูกแป้ง (Mold bran) คือกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่เก็บอยู่ในรูปเชื้อแห้ง ใช้ในการผลิตอาหารหมักหลายชนิด ในแถบเอเชีย การผลิตลูกแป้งเข้าใจว่ามีต้นกำเนิดจากประเทศจีน กล้าเชื้อนี้มีชื่อเรียกตามภาษา ท้องถิ่นในแต่ละประเทศแตกต่างกันไป เช่น ชาวตะวันตก เรียกลูกแป้งของจีนว่า Chinese yeast, Chinese yeast cake หรือ Chinese kojiในเวียดนามเรียกลูกแป้งว่า “Peka” ในมาลายาและอินโดนีเซีย เรียกว่า “Raji” หรือ “Raggi” ในประเทศอินเดียเรียก Bukhar(มนตรี, 2521) ลูกแป้งมีหลายชนิดผลิตตามวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ เช่น ลูกแป้งเหล้า ลูกแป้งข้าวหมาก ลูกแป้งน้ำส้มสายชูลูกแป้งขนมถ้วยฟู การใช้ประโยชน์จะคล้ายคลึงกัน คือใช้ในการหมักที่มีกิจกรรมการเปลี่ยนแป้งในวัตถุดิบประเภทธัญพืชและพืชหัว ให้เป็นน้ำตาล เพื่อผลิตเป็นอาหารหมักประเภทข้าวหมาก สุรา และเมรัย เช่น กระแช่ สาโท หรือ อุ(นภา, 2535)

2.4.1จุลินทรีย์ในลูกแป้ง

ลูกแป้งเป็น “กล้าเชื้อผสม” สามารถจำแนกจุลินทรีย์ที่พบออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1.*เชื้อรา*ที่พบเสมอ ได้แก่ *Amylomycesrouxii*และ *Rhizopus* spp. ปริมาณมากน้อย ขึ้นกับชนิดของลูกแป้งราที่พบมากในลูกแป้งข้าวหมากคือ *A. rouxii*อยู่ในพวก Mucoralesทุกสายพันธุ์ สร้าง chlamydosporeรูปร่างทรงกระบอกสั้นๆจนกระทั่งกลม เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส(เจริญ เจริญชัย, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.*ยีสต์*ที่พบในลูกแป้งข้าวหมากและข้าวหมากมีหลายชนิดส่วนใหญ่ ได้แก่ *Endomycopsis* เป็นยีสต์ที่ย่อยแป้งได้ นอกจากนี้ยังพบ *Hansenula*เป็นยีสต์ที่ให้กลิ่นเอสเทอร์ ซึ่งเป็นกลิ่นที่ดีแก่ข้าวหมาก ในลูกแป้งข้าวหมากอาจพบ *Saccharomyces cerevisiae*ปนมาบ้าง ส่วนลูกแป้งเหล้าจะพบ *S.* cerevisiaeในปริมาณมากกว่า *Endomycopsis*spp. (นภา, 2535)

3.*แบคทีเรีย* ที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่แบคทีเรียแลคติก*Pediococcuspentosaceus*ในลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งเหล้าของไทยบางท้องถิ่นอาจพบ*Lactobacillus* spp. และอาจพบแบคทีเรียกรดน้ำส้ม เช่น *Acetobacter* spp. และ *Gluconobacter*ซึ่งมีมากในส่าน้ำส้ม นอกจากนี้อาจพบ *Bacillus* spp. ในลูกแป้งจากการปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ เช่น แป้งและสมุนไพร แต่ส่วนผสมของสมุนไพรที่เหมาะสม สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์นี้ได้มาก (นภา, 2535)

2.4.2 บทบาทของจุลินทรีย์ในลูกแป้ง

จุลินทรีย์ที่พบในลูกแป้งมีหลายชนิด แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่มีบทบาทในกระบวนการหมัก บทบาทสำคัญของจุลินทรีย์ในลูกแป้งมี 2 ประเภท คือ

1. เปลี่ยนแป้งในเมล็ดข้าวให้เป็นน้ำตาล โดยจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์อมัยเลสเช่น *Hansenula*และ *Saccharomyces*

2. การหมักน้ำตาลที่เกิดขึ้นให้เป็นเอทานอลกับคาร์บอนไดออกไซด์โดยยีสต์ *Amylomycesrouxii*และ *Rhizopus* spp. ผลิตเอนไซม์อมัยเลส ชนิด แอลฟา-อมัยเลส และกลูโคอมัยเลส

บทบาทของจุลินทรีย์ทั้งสองประเภทนี้ จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันตลอดระยะเวลาของการหมัก ข้าวนอกจากนี้เอสเทอร์อาจเกิดจากลิปิดในข้าวถูกย่อยเป็นกรดไขมัน โดย เอนไซม์ไลเปส และกรดไขมันที่ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ให้ สารประกอบของเอสเทอร์เกิดขึ้น (สิรินทรเทพ, 2523) ในลูกแป้งเหล้านั้น *Rhizopus* spp. และ *A. rouxii*มีบทบาทเช่นเดียวกับใน การหมักข้าวหมากคือ เปลี่ยนแป้งในข้าวให้เป็นน้ำตาลแต่ยีสต์เป็นตัวการสำคัญในการหมักน้ำตาลให้เป็นเอทานอล ได้แก่ S.*cerevisiae*ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอล (นภา, 2535)

2.5งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิยวัฒน์ และมนัสวี(2553) ได้ทำการศึกษาการผลิตเอทานอลจากมันเทศโดยใช้เชื้อที่แยกได้จากลูกแป้งเหล้าแต่ละเชื้อนำมาหมักในสภาวะของเหลว พบว่าเชื้อ *A.rouxii MNT 037*ผลิตน้ำตาลรีดิวส์ได้สูงสุด 43.81 กรัมต่อลิตร โดยใช้แป้งมันเทศร้อยละ 6 น้ำหนักต่อปริมาตร หมัก 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เลี้ยงบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 130 รอบต่อนาที และทำการผลิตเอทานอลด้วยกระบวนการย่อยสลายแยกจากการหมัก (SHF) โดยใช้เชื้อ *A.rouxii MNT*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมักเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และเติมเชื้อ *S.cerevisiae YRK 017*หมักต่ออีก 72 ชั่วโมง พบว่าให้ปริมาณเอทานอลสูงสุด 13.87 กรัมต่อลิตร

เสรี และเฉลิม (2555) ศึกษาการผลิตลิกโนเซลลูโลสิกเอทานอลจากลำต้นมันสำปะหลังด้วยการย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเจือจาง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลกระทบของการปรับสภาพตัวอย่างโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยวิธีการต่างๆ จากผลของการศึกษาปริมาณของน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการย่อยตัวอย่างลำต้นมันสำปะหลังและตัวอย่างโฮโลเซลลูโลสด้วยกรดซัลฟูริกเจือจางโดยใช้เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี เท่ากับ 0.24±0.03 และ 0.26±0.02 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง

เกศมณี และคณะ (2546) ได้ทำการศึกษาการปรับสภาพเปลือกสับปะรดโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0,1.5,2.0 และ 2.5 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที พบว่าที่ความเข้มข้น 2.5โมลาร์มีปริมาณเซลลูโลส 91.32 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 0.46 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน4.09 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำเปลือกสับปะรดไปย่อยเซลลูโลสเพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวส์โดยการใช้ลูกแป้ง ที่อัตราส่วน 3.0 กรัมต่อน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อเปลือกสับปะรด 1.5 กรัม ได้น้ำตาลรีดิวส์เท่ากับ 8 องศาบริกซ์ สารละลายน้ำตาลรีดิวส์ที่ผลิตได้หลังจากเติมสารอาหารที่จำเป็นและปรับค่ากรด-เบส ให้เหมาะสมกับการเจริญของยีสต์ *Sacchoromycescerevisiae*และนำไปหมักที่อุณหภูมิห้อง ในสภาวะแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นเวลา 7 วันจะได้เอทานอลเข้มข้น 4.5505 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

วัชรา และสุภัตรา (2546) ได้ทำการศึกษาการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและผักตบชวา โดยการหมักด้วยยีสต์ *Sacchoromycescerevisiae* พบว่าปริมาณเอทานอลที่ได้จากชานอ้อยมีปริมาณสูงกว่าผักตบชวา โดยชานอ้อยมีค่าความเข้มข้นของเอทานอลสูงสุดที่ ระยะเวลาในการหมัก 4 วัน คือ 0.966 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเอทานอล80.499 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนผักตบชวามีค่าความเข้มข้นของเอทานอลสูงสุดที่ ระยะเวลาในการหมัก 3 วัน คือ 0.428 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเอทานอล40.803 กรัมต่อกิโลกรัม

พรรณวิไล (2545)ทำการศึกษาการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากโครงสร้างของเหง้ามันสำปะหลังโดยใช้วิธีการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการแช่เหง้ามันสำปะหลังในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.0 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะได้ตะกอนเหง้ามันสำปะหลังที่มีเซลลูโลสประกอบอยู่ 96.46% เฮมิเซลลูโลส 1.85% และลิกนิน1.69% จากเหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพโดยการบด เทียบกับเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี ซึ่งมีส่วนประกอบคือเซลลูโลส 82.14% เฮมิเซลลูโลส 11.41% และลิกนิน6.45%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Harun et al. (2011) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการปรับสภาพผักตบชวาด้วยการต้มด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 5 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอบไอน้ำด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อย

ละ 5 ที่ 121 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30, 60 และ 90 นาที พบว่าต้มที่เวลา 30 นาที กรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 5 ด้วย อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอบไอน้ำด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 5 ที่ 121 องศาเซลเซียส สามารถผลิตน้ำตาลรีติวซ์ได้มากที่สุด ที่ 33.55 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 37.62 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

Zhu et al. (2011) ทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวส์จากกากถั่วโดยการไฮโดรไลซีสในน้ำ พร้อมทั้งศึกษาผลของอุณหภูมิระยะเวลาสัมผัสและคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเกิดน้ำตาลรีดิวส์ จากการศึกษาพบว่าในสภาวะที่เหมาะสมจะเกิดการไฮโดรไลซีสคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มการเกิดน้ำตาลรีดิวส์เพิ่มซึ่งเปอร์เซ็นการเกิดน้ำตาลรีดิวส์ได้สูงสุดคือ 65% ที่ 300 องศาเซลเซียสและเวลา 360 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องกรองสุญญากาศ ยี่ห้อ Eyelaรุ่น Aspirator A-3S บริษัท Tokyo RikakikaiCo.,Ltdประเทศญี่ปุ่น
2. เครื่องระเหยสุญญากาศ ยี่ห้อ EyelaRotary Vaicuum Evaporator N-N Series
3. Water Bath ยี่ห้อ Eyela Digital WaterBath รุ่น SB-651ประเทศญี่ปุ่น
4. เครื่องทำความเย็น ยี่ห้อ EyelaCool รุ่น ACE CA-1111 ประเทศญี่ปุ่น
5. เตาเผา Thermolyneรุ่น 6000 Furnace บริษัท Electric Service DericeCo.,Ltd
6. ตู้อบ Memmert
7. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV)ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น Genesys 10s UV-visc Spectrophotometer
8. เครื่องย่อยยี่ห้อ BuchiSwitzerland รุ่น Speed Digister K-425 บริษัท Bchi Thailand Ltd.
9. เครื่องกลั่น BuchiSwitzerland รุ่น Buchi Distillation Unit B-323
10. เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น ED 2248 บริษัท SCIENTIFIC Promotion Co.,Ltd
11. โถดูดความชื้น(Desiccators)
12. เตาให้ความร้อน (Hotplate)
13. ตู้ดูดควัน (Hood)
14. ตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช
15. เทอร์โมมิเตอร์
16. เครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติกสำหรับห้องปฏิบัติการ
17. เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์

3.1.2สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริก 37% (HCl), AR grade, Carlo Erba
2. กรดซัลฟิวริก 96% (H_2SO_4), AR grade, Carlo Erba
3. อะซิโตน (C_3H_6O), AR grade, Carlo Erba
4. แอนไฮดรัสโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3 anhydrous), AR grade, Rankem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โซเดียมลอริลซัลเฟต, AR grade, Carlo Erba

6. ไดโซเดียมเอทิลีนไดอามีนเตตระอาซิเทต (EDTA), AR grade, Carlo Erba

7. โซเดียมบอเรตเดคาไฮเดรต ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), AR grade, Carlo Erba

8. อะนิลีน

9. เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB), AR grade, Acros

10. ดี-กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$), AR grade, Carlo Erba

11. กรดไดไนโตรซาลิซิลิกแอซิด (3,5-dinitrosalicylic), AR grade, Carlo Erba

12. โพแทสเซียมโซเดียมทราเทรต ($KNaC_4H_4O_6$), AR grade, Carlo Erba

13. ไตรเอทิลีนไกลคอล ($C_6H_{14}O_4$), AR grade, Acros

14. โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) AR grade Carlo Erba

15. กรดอะซิติก

16. สแตนนัสคลอไรด์

3.2การเตรียมตัวอย่าง

นำเปลือกกล้วยหอมมาล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด ตากแดดให้แห้ง จากนั้นปั่นด้วยเครื่องปั่นจนละเอียด นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และร่อนตัวอย่างที่ปั่นแล้วผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช นำมาวางทิ้งไว้ในเดซิเคเตอร์จนเย็น เก็บตัวอย่างในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทแล้วเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เพื่อใช้ในการทดลองตอนต่อไป

3.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกล้วย

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกกล้วยดังแสดงในตารางที่ 3.1

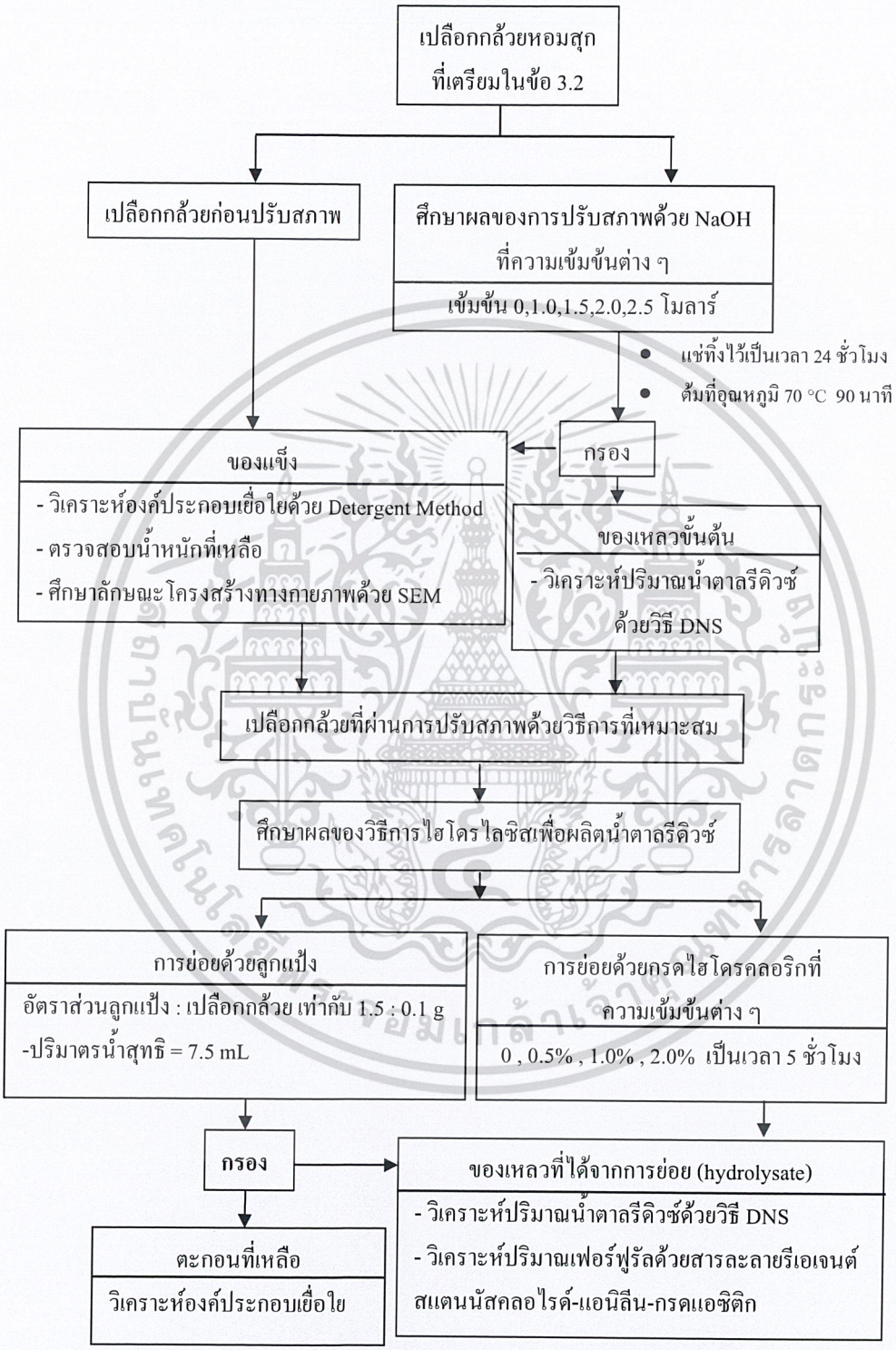
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์เปลือกกล้วย

พารามิเตอร์	วิธีการ/เครื่องมือ
โครงสร้างทางกายภาพ	กล้องอิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (Scanning electron microscope, SEM)
องค์ประกอบเยื่อใย : เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน	Detergent method (Van Soest, 1967) (รายละเอียดวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก)
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	3,5-Dinitrosalicylic acid Method (DNS) (Miller, 1959) (รายละเอียดวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1การศึกษาผลของการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.ชั่งตัวอย่างเปลือกกล้วยในหัวข้อ 3.2 ประมาณ 20 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0,1.0, 1.5, 2.0และ 2.5 โมลาร์ ในอัตราส่วนของเปลือกกล้วยต่อปริมาตรสารปรับสภาพเท่ากับ 1:10 กรัมต่อมิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง24ชั่วโมง

2. กรองแยกตะกอนออกจากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นเดียวกับที่ใช้แช่นำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที

3. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดกรองสารละลายแบบลดความดัน นำเปลือกกล้วยมา ล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายมีสภาพเป็นกลาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพไปวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใย (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (Scanning electron microscope, SEM)

4. นำส่วนที่เป็นของเหลวขั้นต้น(prehydrolysate) ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ด้วยวิธี DNS

3.4.2ศึกษาผลของวิธีการไฮโดรไลซิสเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ

นำเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพในหัวข้อ 3.4.1มาทำการย่อยด้วย(hydrolysis) ลูกแป้งและสารละลายกรดไฮโดรคลอริกโดยมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

1.การย่อยด้วยลูกแป้ง

1. ชั่งเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพในข้อที่ 3.4.1 มา1.5 กรัมเติมลูกแป้งในปริมาณ 0.1 กรัมทำการคลุกให้เข้ากันจากนั้นเติมน้ำ 7.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน พร้อมกับวัดปริมาณน้ำตาลทุกวันจนครบ 7 วันด้วยเครื่องมือวัดปริมาณน้ำตาลชนิดมือถือ (รีแฟ็คโตมิเตอร์)

2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดทำการกรองแบบลดความดัน นำส่วนที่เป็นของแข็งไปอบที่อุณหภูมิ 65 °Cจนน้ำหนักคงที่และวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใย ส่วนของเหลวที่ได้ (prehydrolysate) นำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS และปริมาณเฟอร์ฟูรัลด้วยวิธี

3. ทำซ้ำแต่เปลี่ยนปริมาณลูกแป้งที่ใช้ย่อยจาก 0.1 กรัมเป็น 0.3,1.5 และ 3.0 กรัม

2.การไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

1. ชั่งเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพตามขั้นตอนที่ 3.4.1 ประมาณ 1.5กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5% , 1% และ 2% กำหนดอัตราส่วนของเปลือกกล้วยต่อปริมาตรสารปรับสภาพเท่ากับ 1:30 กรัมต่อมิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดทำการกรองแบบลดความดัน นำส่วนที่เป็นของแข็งไปอบที่อุณหภูมิ 65 °Cจนน้ำหนักคงที่และวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใย ส่วนของเหลวที่ได้ (prehydrolysate) นำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS และปริมาณเฟอร์ฟูรัลด้วยสารละลายรีเอเจนต์สแตนนัสคลอไรด์-แอนิลีน-กรดแอซิก

หมายเหตุ: ภายหลังการไฮโดรไลซิสด้วยกรด วัสดุทั้งหมดจะกลายสภาพเป็นของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยหอมสุกโดยวิธีการย่อยด้วยลูกแป้งและการไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก รวมไปทั้งศึกษาผลของการปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพร่วมกับวิธีทางเคมีต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยหอมสุก ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1 องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกกล้วยหอมสุก

จิราภรณ์ และคณะ (2556) พบว่าระยะความสุกของเปลือกกล้วยจะมีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยเปลือกกล้วยสุกจะมีน้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณสูงสุด ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้เปลือกกล้วยหอมสุกเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยหอมสุก ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกล้วยที่ศึกษา

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)	
	ผู้ทดลอง	จิราภรณ์ และคณะ, 2556
เฮมิเซลลูโลส	25.72±4.31	23.61
เซลลูโลส	9.66±1.89	15.39
ลิกนิน	19.37±0.22	24.68

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เปลือกกล้วยหอมสุกที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน 9.66±4.31, 25.72±1.89, 19.37±0.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยในเปลือกกล้วยหอมสุกของจิราภรณ์และคณะ (2556) พบว่าเปลือกกล้วยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสใกล้เคียงกัน แต่มีเซลลูโลสและลิกนินที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระดับความสุกของเปลือกกล้วยที่ใช้ในงานวิจัยทั้งสองอาจมีความแตกต่างกัน โดยงานวิจัยของจิราภรณ์ (2556) พบว่าระยะความสุกที่เพิ่มขึ้นของกล้วยจะทำให้เปลือกกล้วยมีปริมาณเซลลูโลสลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี

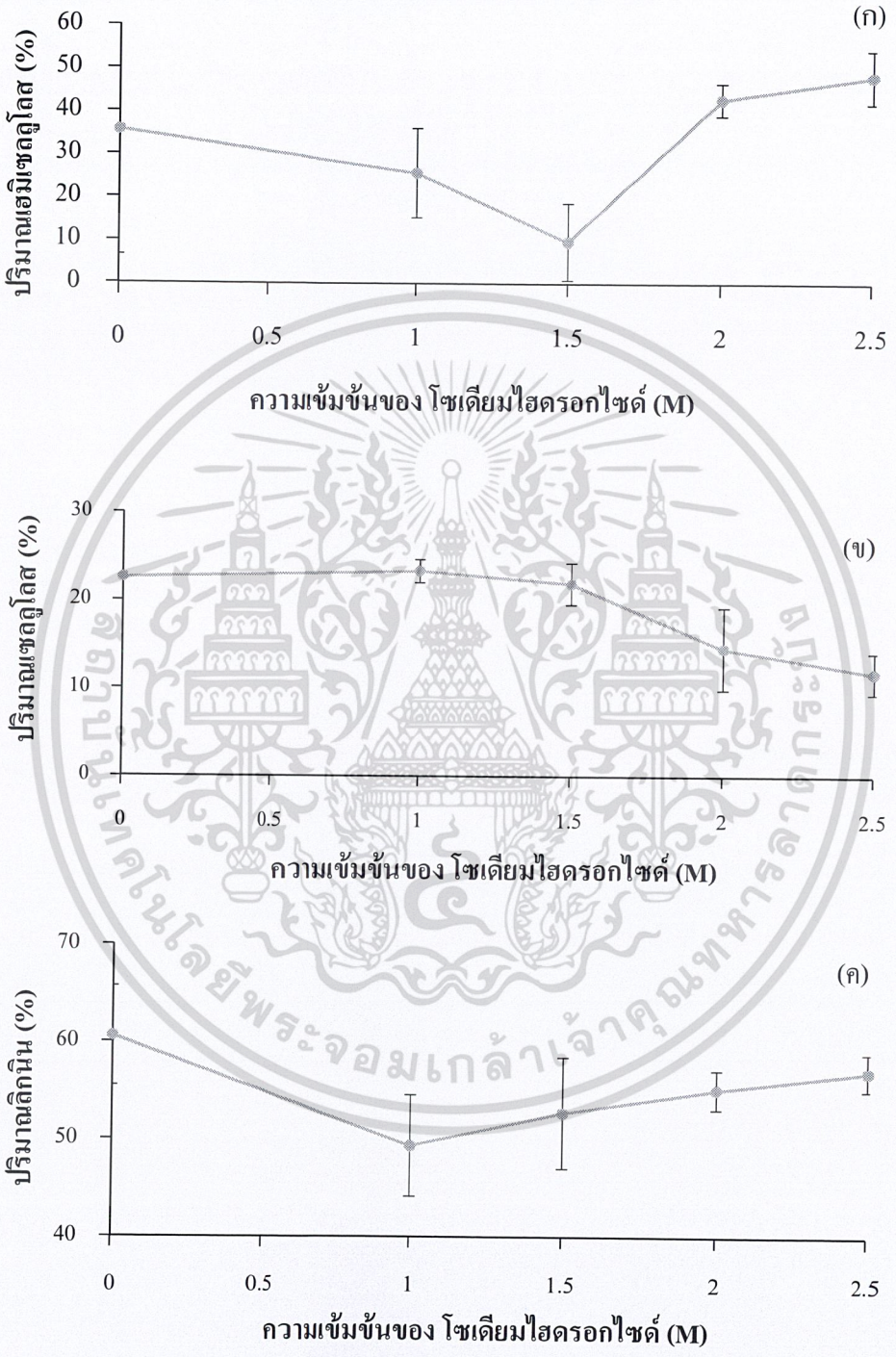
เมื่อนำเปลือกกล้วยหอมสุก มาทำการปรับสภาพด้วยการบดให้มีขนาดเล็ก และนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกกล้วยต่อปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:10 แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที พร้อมกับนำส่วนของแข็ง (Insoluble Solids, IS) ไปวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใย และนำส่วนที่เป็นของเหลว (Prehydrolysate) ไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.2.1 องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เทียบกับเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นและเปลือกกล้วยก่อนปรับสภาพ พบว่าการปรับสภาพเปลือกกล้วยทำให้องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยเปลี่ยนแปลงไป (รูปที่ 4.1) เมื่อพิจารณาปริมาณเฮมิเซลลูโลสของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน (รูปที่ 4.1 ก) เทียบกับเปลือกกล้วยก่อนปรับสภาพ (ตารางที่ 4.1) พบว่าการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้เปลือกกล้วยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่ม จะทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ความเข้มข้น 1.5 โมลาร์ มีเฮมิเซลลูโลสลดลงเท่ากับ 9.73±8.98 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น อาจเกิดขึ้นเนื่องจากสารละลายด่างทำให้เกิดปฏิกิริยาสบู่ (Saponification) ของพันธะเอสเตอร์ระหว่างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสกับสารอื่น เช่น ลิกนิน ทำให้ลิกนินซึ่งเป็นตัวขัดขวางหลุดออกจากโครงสร้าง ดังนั้นปริมาณเฮมิเซลลูโลสจึงเพิ่มขึ้น (ฐิติมา และคณะ, 2554) ในกรณีของเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น (NaOH = 0 M) พบว่าปริมาณเฮมิเซลลูโลสมีค่าเพิ่มขึ้น (35.69%) เมื่อเทียบกับเปลือกกล้วยก่อนปรับสภาพ (25.7%) แต่มีค่าต่ำกว่าปริมาณของเฮมิเซลลูโลสในเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0 โมลาร์ (42.8%) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 โมลาร์ (48.1%) เมื่อพิจารณาผลของการปรับสภาพต่อปริมาณเซลลูโลสในเปลือกกล้วยพบว่าการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยน้ำกลั่น หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (รูปที่ 4.1 ข) จะทำให้ปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเทียบกับเปลือกกล้วยก่อนปรับสภาพ (ตารางที่ 4.1) โดยปริมาณเซลลูโลสของเปลือกที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น (NaOH = 0 M) และเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โมลาร์ จะมีค่าเท่ากับ 22.6%, 23.4%, 21.9%, 14.6 และ 11.8% ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของนันทิกาและคณะ (2554) ซึ่งพบว่าการปรับสภาพซางข้าวฟ่างหวานด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับซางข้าวฟ่างหวานที่ไม่ได้ปรับสภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเซลลูโลสของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มลดลงตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอดไซด์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเพราะโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเบสแก่มีฤทธิ์กัดกร่อนซึ่งในบางครั้งอาจทำลายเซลลูโลสบางส่วนออกไปด้วย (ชัชนันท์ และคณะ, 2555)



รูปที่ 4.1 องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น (NaOH = 0 M) และปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โมลาร์ เมื่อ (ก) ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (ข) ปริมาณเซลลูโลสและ (ค) ปริมาณลิกนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาผลของการปรับสภาพต่อปริมาณลิกนินของเปลือกกล้วยพบว่า เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพทั้งน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (รูปที่ 4.1 ค) จะมีปริมาณลิกนินนั้นสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกล้วยก่อนปรับสภาพ (ตาราง 4.1) สอดคล้องกับงานวิจัยของจิราภรณ์และคณะ (2556) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ของคาร์โบไฮเดรทที่เป็นส่วนประกอบของพืช ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วย แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพเปลือกกล้วยช่วยทำให้เปลือกกล้วยมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยให้วัตถุดิบเหมาะต่อการนำไปให้ไฮโดรไลซิสต่อไป

4.2.2 ปริมาณเปลือกกล้วยที่เหลือหลังจากการปรับสภาพ

เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะมีปริมาณลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.2 สอดคล้องกับงานวิจัยของเกศมณีและคณะ (2545) ที่พบการลดลงของปริมาณตะกอนเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างถึงร้อยละ 53.7 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความสามารถในการกัดกร่อนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นเบสแก่ทำให้องค์ประกอบอื่นๆในเปลือกกล้วยโดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรทเกิดการสลายตัว

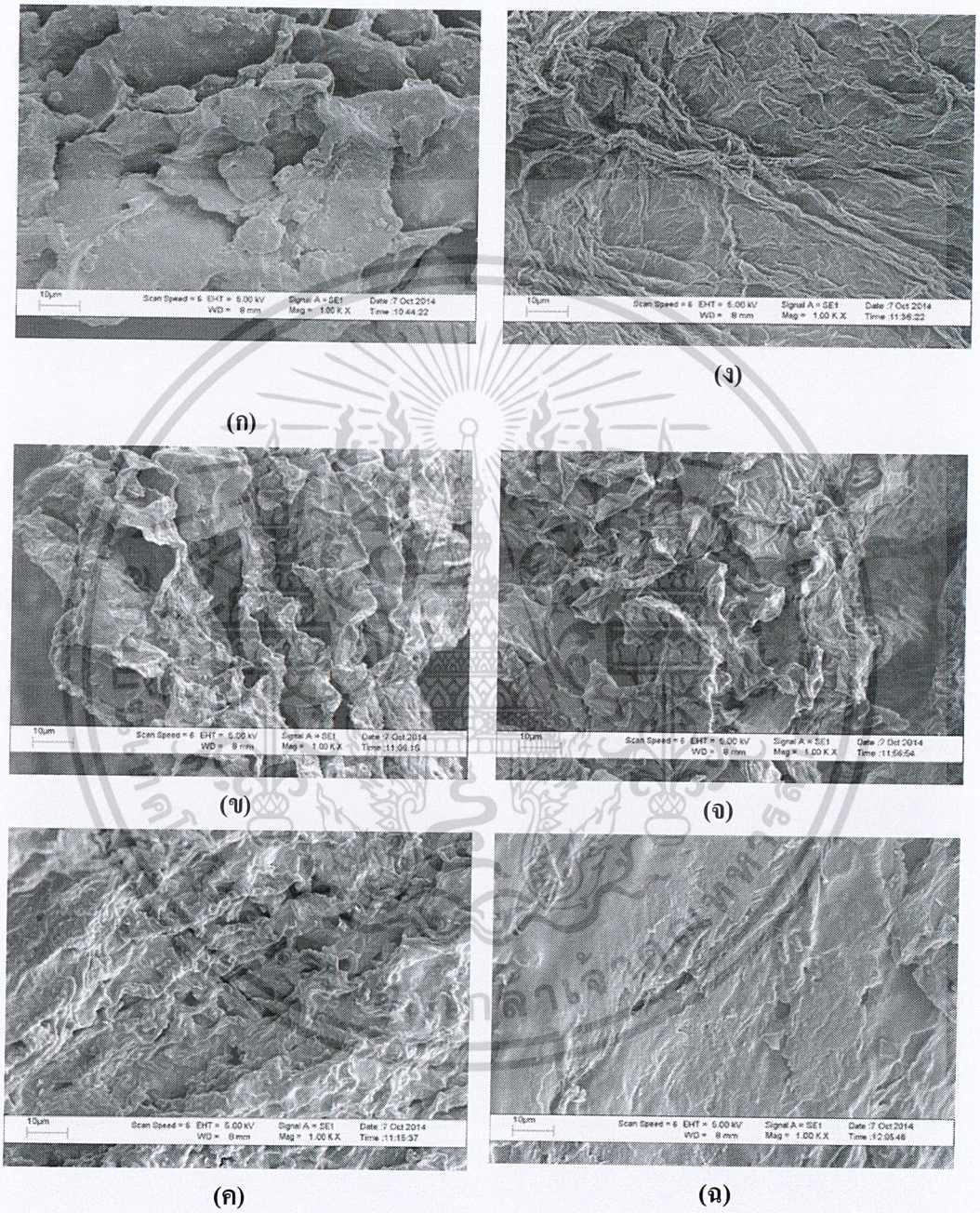
รูปที่ 4.2 ปริมาณเปลือกกล้วยที่เหลือหลังจากการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โมลาร์

4.2.3 โครงสร้างและพื้นผิวของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ

เมื่อพิจารณาผลของการปรับสภาพต่อลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเปลือกกล้วย พบว่าเปลือกกล้วยก่อนปรับสภาพจะมีผิวที่ค่อนข้างเรียบ (รูป 4.3 ก) เมื่อนำมาปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น จะมีพื้นผิวขรุขระขึ้น (รูป 4.3 ข) และเมื่อนำมาปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (รูปที่ 4.3 ค-ฉ) พบว่าลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้น โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 1.0, 1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 2.0 โมลาร์ (รูปที่ 4.3 ค-จ) เนื่องจากความสามารถในการกัดกร่อนของโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปทำให้พื้นผิวของวัสดุมีความขรุขระ (นันทิกา และคณะ, 2554)

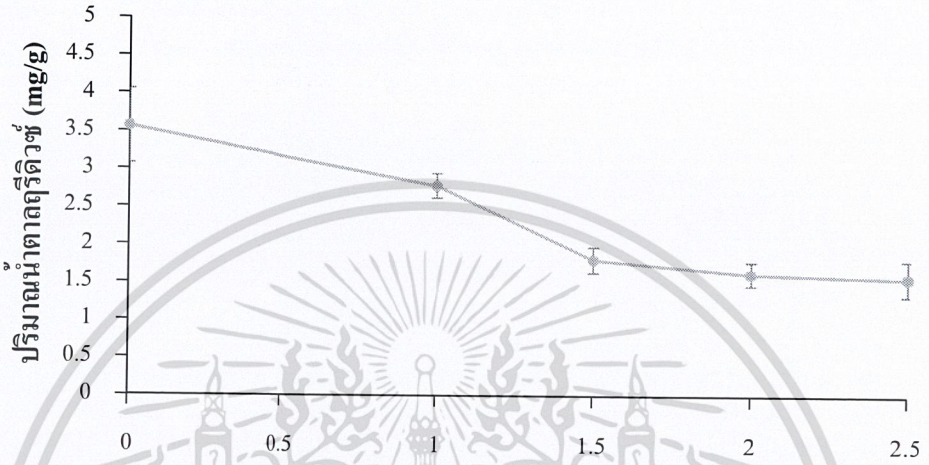


รูปที่ 4.3 โครงสร้างและพื้นผิวของเปลือกกล้วย ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) กำลังขยาย 1,000 เท่า คือ (ก) เปลือกกล้วยก่อนปรับสภาพ, (ข) เปลือกกล้วยแช่ด้วยน้ำกลั่น, (ค) เปลือกปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 M, (ง) เปลือกกล้วยปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 M, (จ) เปลือกกล้วยปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0 M, และ (ฉ) เปลือกกล้วยปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในของเหลวขั้นต้น (Prehydrolysate)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในของเหลวขั้นต้น (Prehydrolysate) ที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยน้ำกลั่น และเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยแช่น้ำและการปรับสภาพที่ความเข้มข้นต่างกัน

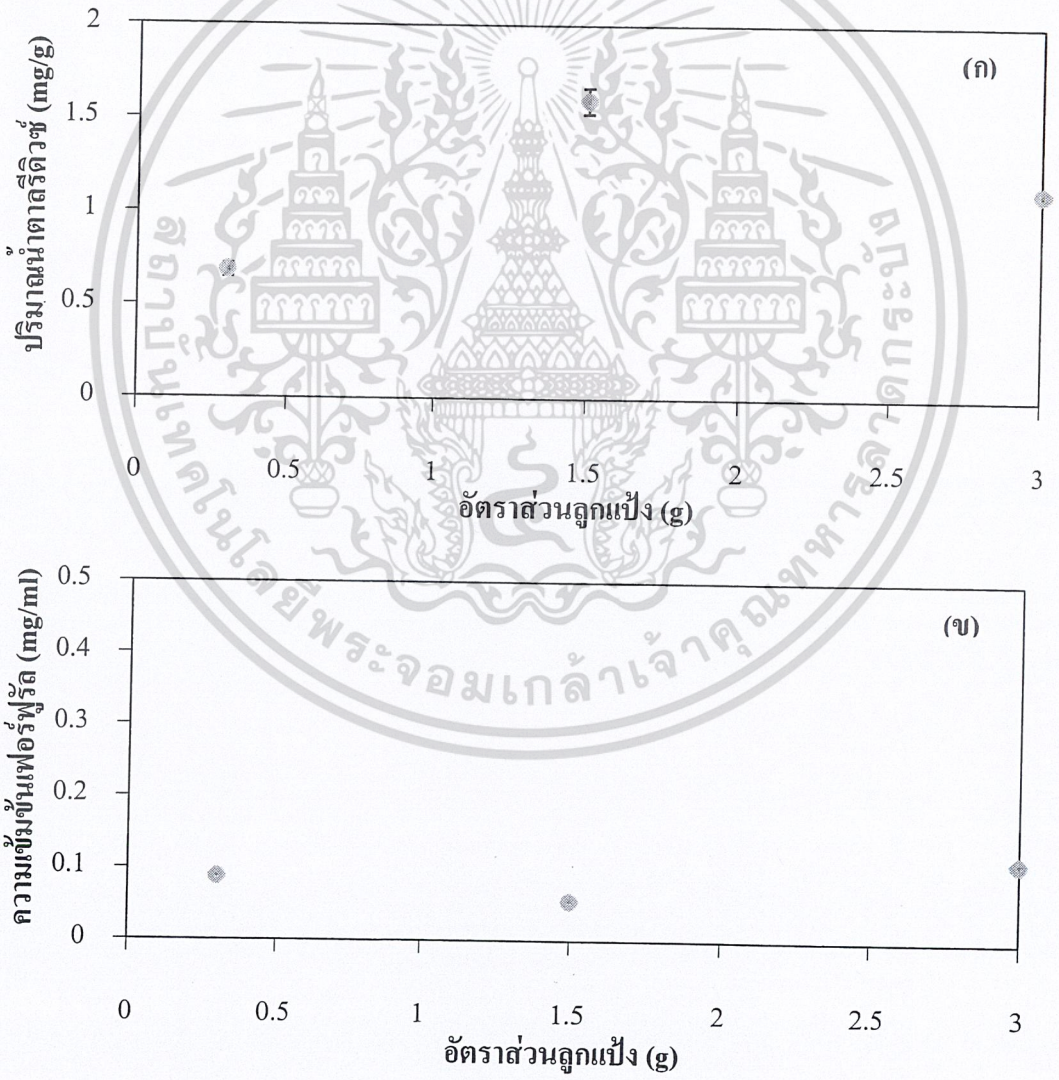
จากรูปที่ 4.4 พบว่า น้ำตาลรีดิวซ์ในของเหลวขั้นต้นที่ได้จากการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในของเหลวขั้นต้นมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้เป็นเพราะความเข้มข้นของสารละลายเบสที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลทำให้น้ำตาลที่เกิดขึ้นเปลี่ยนเป็นสารประเภทเฟอร์ฟูรัล ซึ่งเป็นตัวขัดขวางขั้นตอนการย่อยสลาย (ชัชนันท์และเฉลิม, 2555)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใย (หัวข้อที่ 4.2.1) ปริมาณเปลือกกล้วยที่เหลือหลังการปรับสภาพ (หัวข้อที่ 4.2.2) โครงสร้างและพื้นผิวของเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ (หัวข้อที่ 4.2.3) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในของเหลวขั้นต้น (หัวข้อที่ 4.2.4) แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยน้ำกลั่น จะทำให้วัตถุดิบมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้นมากที่สุด มีตะกอนวัตถุดิบที่เหลือจากการปรับสภาพมากที่สุด โดยโครงสร้างและพื้นที่ผิวของเปลือกกล้วยอยู่ในสภาพที่ง่ายต่อการย่อย อีกทั้งยังได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สามารถนำไปหมักได้มากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกเปลือกกล้วยที่ถูกปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นไปใช้ในกระบวนการไฮโดรไลซิสเพื่อผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีดิวซ์จะลดลงอาจเป็นเพราะน้ำตาลรีดิวซ์บางส่วนจะเริ่มเปลี่ยนเป็นเอทานอลเพราะในลูกแป้งมีเชื้อยีสต์บางส่วนที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้ (เกศมณี และคณะ, 2546)

เมื่อของเหลวที่ได้จากการย่อยเปลือกกล้วยภายหลังจากการย่อยด้วยลูกแป้งจนครบ 7 วัน มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS (รูปที่ 4.7 ก) พบว่า ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยเครื่องวัดน้ำตาลชนิดมือถือ กล่าวคือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0 มิลลิกรัม เมื่อใช้ลูกแป้ง 0.3 กรัม เป็น 1.06 มิลลิกรัม เมื่อใช้ลูกแป้ง 1.5 กรัม และเมื่อเพิ่มเป็นลูกแป้งเป็น 3 กรัม พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาปริมาณเฟอร์ฟูรัลในการไฮโดรไลเสทที่ได้จากเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ (รูปที่ 4.7 ข) พบว่าปริมาณเฟอร์ฟูรัลในการไฮโดรไลเสทของเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.103, 0.071, 0.095 มิลลิกรัมต่อกรัม



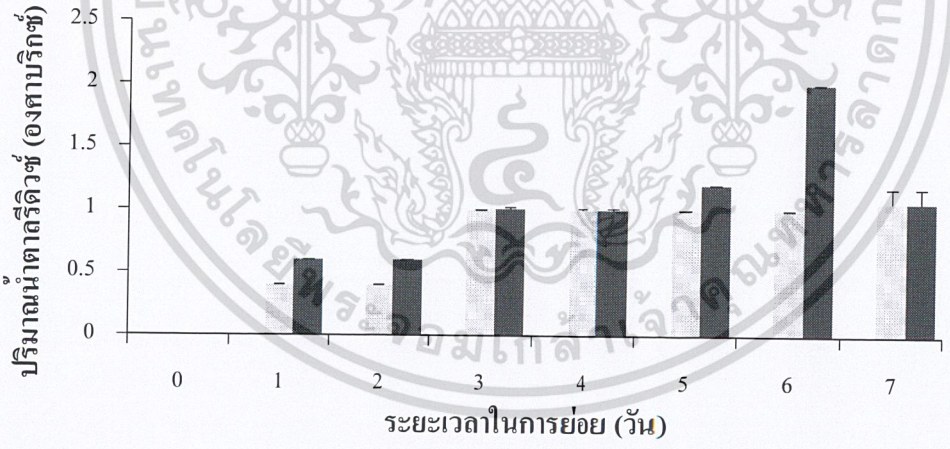
รูปที่ 4.7 (ก) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ข) ปริมาณเฟอร์ฟูรัลจากการไฮโดรเสทเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยลูกแป้งปริมาณต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 (ก) พบว่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้ว่ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นจาก 4.11 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 0 % เป็น 6.25 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 0.5 % เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมากขึ้นเป็น 1% และ 2% พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณความเข้มข้นของกรดที่มากเกินไปจะไปทำลายโครงสร้างของน้ำตาลรีดิวซ์บางส่วนเกิดเป็นสารประกอบที่เป็นพิษ เช่น อนุพันธุ์เฟอร์ฟูแรน เฟอร์ฟิวรอล 5-ไฮดรอกซีเมทธิลเฟอร์ฟิวรอล และสารประกอบฟีโนลิก (Palmqvist and Hahn-Hagerdal, 1999) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณเฟอร์ฟูรัลที่พบว่ามีปริมาณสารประกอบดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของกรด (รูปที่ 4.5 ข) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดเป็น 2 % จะพบการลดลงของทั้งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณเฟอร์ฟูรัลในของเหลวที่ได้จากการย่อย

4.3.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และเฟอร์ฟูรัลจากการไฮโดรไลซ์ด้วยลูกแป้ง

เมื่อนำเปลือกกล้วยสุกที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น นำมาย่อยด้วยลูกแป้งปริมาณต่างกัน คือ 0.3, 1.5 และ 3 กรัม เป็นระยะเวลา 7 วัน และนำส่วนของเหลวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยเครื่องวัดน้ำตาลชนิดมือถือ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6



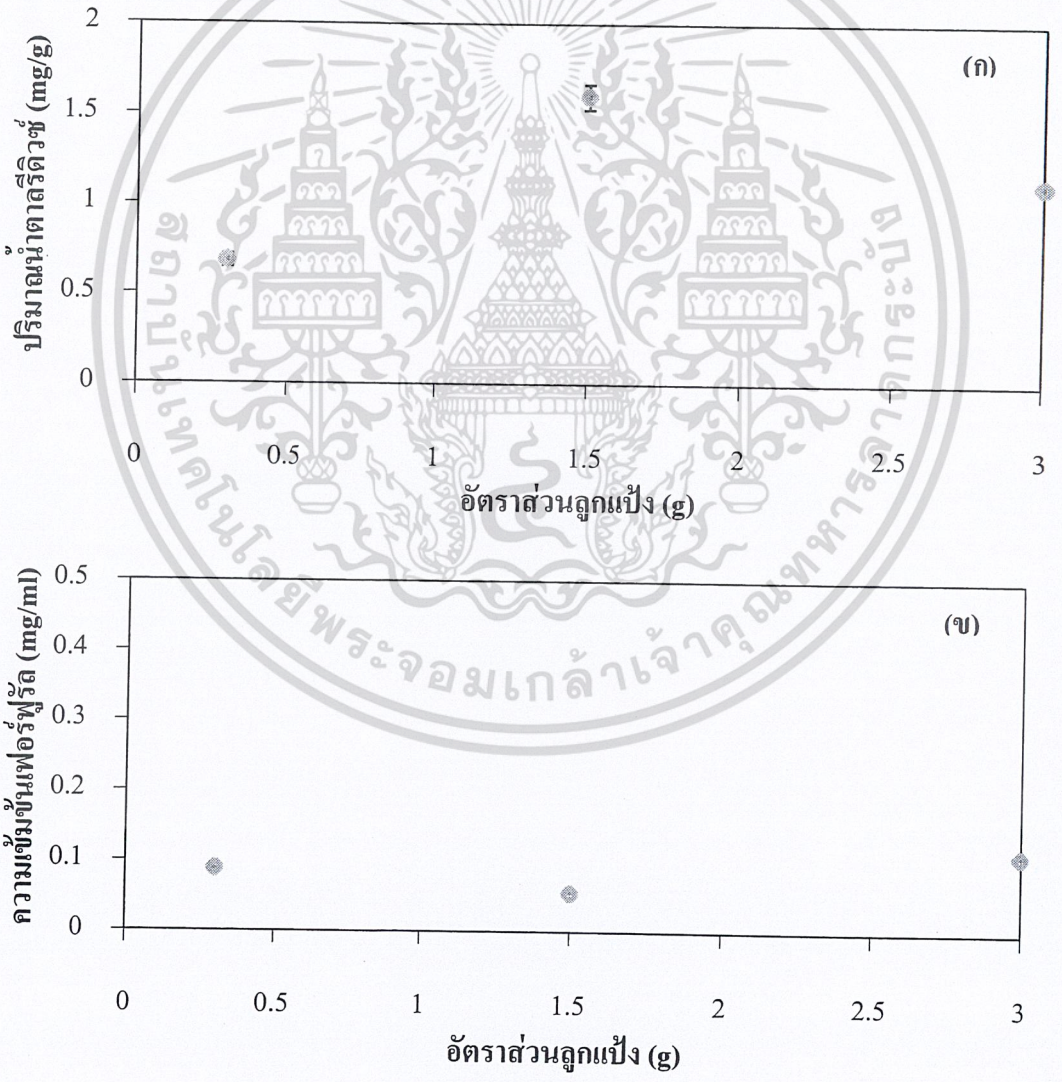
รูปที่ 4.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการไฮโดรไลเสทด้วยลูกแป้งที่ปริมาณต่างกัน เมื่อ □ 0.3 g ▨ 1.5 g ■ 3 g

จากรูปที่ 4.6 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยเปลือกกล้วยด้วยลูกแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณลูกแป้งและระยะเวลาในการหมัก โดยลูกแป้งที่ 0.3 กรัม จะมีค่าต่ำสุด ในขณะที่การย่อยเปลือกกล้วยด้วยลูกแป้งในปริมาณ 1.5 กรัม และ 3 กรัม จะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้พบว่าเมื่อระยะเวลาของการหมักมากขึ้นยังส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยในวันที่ 6 ของการย่อยจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุดและหลังจากนั้นปริมาณน้ำตาล

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีดิวซ์จะลดลงอาจเป็นเพราะน้ำตาลรีดิวซ์บางส่วนจะเริ่มเปลี่ยนเป็นเอทานอลเพราะในลูกแป้งมีเชื้อยีสต์บางส่วนที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้ (เกศมณี และคณะ, 2546)

เมื่อของเหลวที่ได้จากการย่อยเปลือกกล้วยภายหลังจากการย่อยด้วยลูกแป้งจนครบ 7 วันมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS (รูปที่ 4.7 ก) พบว่า ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยเครื่องวัดน้ำตาลชนิดมือถือ กล่าวคือ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0 มิลลิกรัม เมื่อใช้ลูกแป้ง 0.3 กรัม เป็น 1.06 มิลลิกรัม เมื่อใช้ลูกแป้ง 1.5 กรัม และเมื่อเพิ่มเป็นลูกแป้งเป็น 3 กรัม พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาปริมาณเฟอร์ฟูรัลในการไฮโดรไลเสทที่ได้จากเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ (รูปที่ 4.7 ข) พบว่าปริมาณเฟอร์ฟูรัลในการไฮโดรไลเสทของเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.103, 0.071, 0.095 มิลลิกรัมต่อกรัม

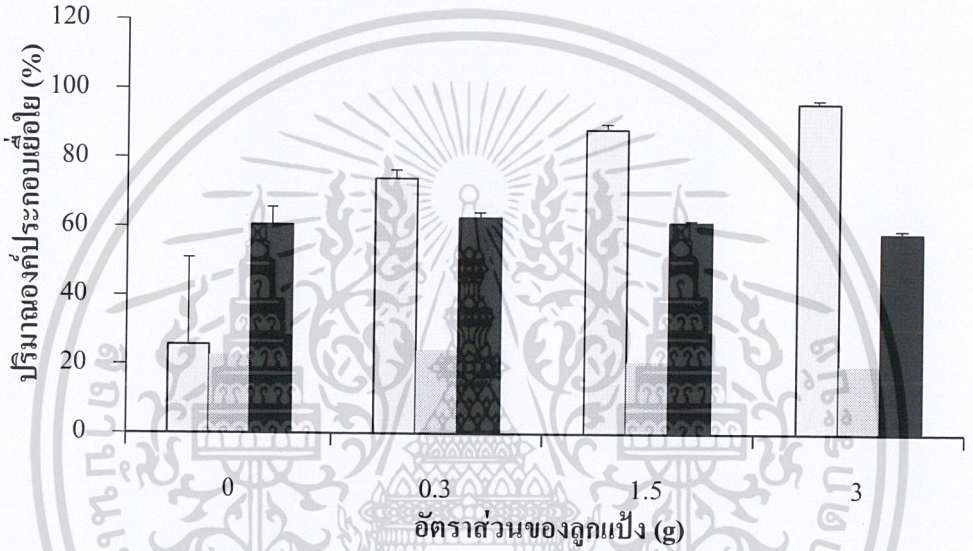


รูปที่ 4.7 (ก) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ข) ปริมาณเฟอร์ฟูรัลจากการไฮโดรเสทเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยลูกแป้งปริมาณต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใยที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเยื่อใยของเปลือกกล้วยที่การย่อยด้วยลูกแป้ง (รูปที่ 4.8) พบว่าเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นเมื่อนำมาย่อยด้วยลูกแป้ง จะมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้นตามปริมาณลูกแป้งโดยที่ปริมาณลูกแป้ง 3 กรัม จะมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสมากสุด ส่วนปริมาณเซลลูโลสและลิกนินมีแนวโน้มลดลงเมื่อให้ปริมาณลูกแป้งมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าลูกแป้งอาจไม่ได้ทำการย่อยให้ได้น้ำตาลเพียงอย่างเดียวแต่ยังคงช่วยปรับสภาพโครงสร้างของเปลือกกล้วยให้อยู่ในสภาพที่ง่ายต่อการย่อยสลายอีกด้วย



รูปที่ 4.8 ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใยที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง เมื่อ ☐ เฮมิเซลลูโลส ☐ เซลลูโลส ■ ลิกนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานพิเศษเป็นการศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยหอมสุกด้วยกระบวนการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกและการย่อยด้วยลูกแป้ง รวมทั้งศึกษาผลของการปรับสภาพเปลือกกล้วยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนการย่อย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นและการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลทำให้เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพมีผิวขรุขระมากขึ้นเทียบกับเปลือกกล้วยก่อนปรับสภาพ

2. การปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นจะช่วยทำให้เปลือกกล้วยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเพิ่มขึ้น อีกทั้งปริมาณของแข็งลดลงน้อยสุด ทำให้มีความเป็นไปได้ในการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์

3. จากการนำเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นมาทำการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ในกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 0.5% จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 6.04 มิลลิกรัมต่อกรัม ณ ความเข้มข้นดังกล่าวจะเกิดสารประกอบเฟอร์ฟูรัลเท่ากับ 0.23 ไมโครกรัมต่อลิตร

4. จากการนำเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นมาย่อยด้วยลูกแป้ง พบว่าที่ปริมาณลูกแป้ง 1.5 กรัม จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 1.06 มิลลิกรัมต่อกรัม เกิดสารประกอบเฟอร์ฟูรัลเท่ากับ 0.06 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยเปลือกกล้วยด้วยกรดไฮโดรคลอริก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์

2. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการหมักน้ำตาลรีดิวซ์ที่เตรียมได้เป็นเอทานอล พร้อมทั้งเปรียบเทียบวิธีการ ปัจจัยที่เหมาะสมในการหมัก และวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมัก

3. ควรศึกษาคุณสมบัติของสารเคมีกรด-ด่างที่สามารถกำจัดลิกนินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กุมุทกานต์ หวัดสนิท. 2553. **การไฮโดรไลซิสกากมะพร้าวด้วยน้ำกึ่งวิกฤต.** วิทยานิพนธ์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2553.

กุลยา จันทร์อรุณ. 2540. **รายงานการวิจัยเรื่องกรรมวิธีการผลิตแป้งกล้วยผลและอาหารผงสำหรับสัตว์จากส่วนต่างๆของกล้วยผง.** พิษณุโลก: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก. 176.

เกศมณี ตาดทอง, ขนิษฐา สกุลวา, นฤมล แป้นอินทร์ และวีรยา คำภา.2546. **การผลิตเอทานอลจากเปลือกสับปะรด.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ พ.ศ. 2546.

จิราภรณ์ คงขวัญเมือง, สุธิดา สุดดี, สุภารัตน์ คงกล่ำ และโสภิดา สารคุณ. 2556. **การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก.** โครงงานพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2556.

เจริญ เจริญชัย. 2548. **บทบาทของยีสต์และราจากลูกแป้งในการหมักข้าว.** รายงานวิจัย คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2548.

ชัชนันท์ นิวาสวงษ์ และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2555. **การผลิตเซลลูโลซิกเอทานอลในประเทศไทย.** วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 40(4): 1073-1088.

ณิฐิมา เฉลิมแสน, ทินกร ทาตระกูล, วุธวรพงษ์ ศรีเมือง และบุญชู นาวานุเคราะห์. 2539. **การศึกษาคุณค่าทางโภชนะของเปลือกกล้วยน้ำว้าในสุกรรุ่น.** พิษณุโลก: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก.

ธนาคารแห่งประเทศไทย.2556.รายงานสถานการณ์เอทานอล(ออนไลน์).เข้าถึงได้จาก http://www.bot.or.th/Thai/EconomicConditions/Thai/Northeast/commodities/Doclib_CommodityYearly/Ethanal%20Yearly%2/202556.pdf สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557

นภา โล่ห์ทอง. 2535. **กล้าเชื้ออาหารหมักและเทคโนโลยีการผลิต.** พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : ฟันนี่พับบลิชชิ่ง.

นันทิชา สิงห์ชนะ, ยศวดี ว่องธนาการ และยุวลี อินทร์วิลัย. 2554**. การผลิตเอทานอลจากแกลบด้วยกระบวนการแซคคาริฟิเคชันพร้อมกับกระบวนการหมัก.** โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นันทิกา คล้ายชม, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และอนุสิษฐ์ ธนะพิมพ์เมธา. 2554. การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด. วิศวกรรมสาร มก. 24(75): 91-102.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2551. **เคมีอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพ: โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. **กล้วย.** พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิยวัฒน์ ราษฎร์เจริญดี และมนัสวี ชมเพ็ญ. 2553. **การผลิตเอทานอลจากมันเทศโดยใช้เชื้อที่แยกได้จากลูกแป้งเหล้า.** โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2553.

พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ. 2544. **ทรัพยากรพืชในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 2 : ไม้ผลและ ไม้ผลเคี้ยวมัน.** กรุงเทพฯ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.หน้า 319.

พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์. 2545. การผลิตเอทานอลจากเหง้ามันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2545.

มนตรี เชาวน์สังเกต. 2521. **การคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์และราเพื่อใช้ผลิตไวน์ข้าว.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัตติยาพร รอดเจริญ และศิตาภา พรหมศิริ. 2553. **การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด.** งานวิจัยคณะวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ.

วนิดา ปานอุทัย. 2553. **การผลิตเอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสโดยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ**

วัชรา หงษ์เวียง และสุภัตรา สิงห์ชนะ. 2546. **การผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและผักตบชวา.** งานวิจัยวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี สถาบันราชภัฏมหาสารคาม พ.ศ. 2546.

ศิริโชค ตรีตรง. 2535. **คุณค่าทางอาหารของกล้วยป่น และเปลือกกล้วยป่น ในอาหารนกกระทาและไก่กระทง.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2535.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. 2548. เล่มที่ 30 เรื่องที่ 6 **กล้วย**.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร: ไม้ผล ไม้ยืนต้น (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=30&chap=6&page=t30-6-infodetail10.html สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557.

สิรินทรเทพ ภักดีศุภผล. 2523. **การหมักข้าวหมากด้วยเชื้อบริสุทธิ์.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธีรภัทร ศรีนรคุตร. 2543. เชื้อเพลิงเอทานอลจากวัสดุทางการเกษตร: แหล่งเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ของคนไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 15(3): 5-8

เทพปัญญา เจริญรัตน์. 2545. **การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังแบบครั้งคราวโดยการเติมสับสเทรตขึ้นกับพีเอช.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2545.

เสรี มหาวิชัด และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2555. การผลิตลิกโนเซลลูโลสิกเอทานอลจากสารละลายที่ได้จากการย่อยลำต้นมันสำปะหลังด้วยวิธีการหมักแบบกะด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5048. **Veridian E-Journal SU**. 5(3):429-445.

อำนวย ขวัญเมือง. 2548. **การหมักแอลกอฮอล์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้เซลลูเลสและ *Saccharomyces cerevisiae.*** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2548.

Ballesteros M., Oliva J.M., Negro M.J., Manzanares, P. 2004. Ethanol from lignocellulosic materials by a simultaneous saccharification and fermentation process (SFS) with *Kluveromyces marxianus* CECT 10875. **Process Biochemistry**. 39: 1843-1848.

Dudsadee U. 2550. **Carbohydrate Technology.** Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology, KingMongkut's University of Technology

Bosch P., Wallberg O., Joelsson E., Galbe M. and Zacchi, G. 2010. Impact of Dual Temperature Profilein Dilute Acid Hydrolysis of Spruce for Ethanol Production. **Biotechnology for Biofuels**. 3: 15.

Dwivedi G.K., Kumar D. and Tomer, P.S. 1999. Effect of cutting management and nitrogen levels on growth, seed yield attributes and seed production of *Setaria sphacelata cv*.Nandi. **Tropical Grasslands** (1999). 33,146-149.

Harun M. Y., Dayang Radiah A.B., Zainal Abidin Z., Yunus R., (2 0 1 1). Effect of physical pretreatment on dilute acid hydrolysis of water hyacinth *(Eichhornia crassipes)*. **Bioresource Technoloyy**. 102(8): 5193-5199.

Mosier N., Wyman C., Dale B.,Elander, R. Lee, Y. Y. Holtzapple M., andLadisch M., 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**. 96(6), 673-686.

Murphy J.D. and Mccarty K. 2005. Ethanol production from energy crops and wastes for use as a transport fuel in ireland. **Applied Energy.** 82: 148-166.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Prosky L. and DeVries J.W. 1992. **Controlling dietary fiber in food products**. New York : Van Nostrand Reinhold.

Sathitsuksanoh N., Gorge A., Zhang Y., and Percival H., 2013. New lignocelluloses pretreatments using cellulose solvents : a Review. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology.** 88(2): 169-180.

Southgate D., Trowell H., Wolever T., Leeds AR., Gassull M., Jenkins D. 1976. **Dietary fibre redefined.** 1(1):967.

Wang Z., Keshwani D.R. Redding A.P. and Cheng J.J., 2011. Sodium hydroxide pretreatment and enzymatic hydrolysis of coastal bermuda rass. **Bioresource Technology**. 101: 3583-3585.

Zhu G., Qifan X.Z., Wan X., 2011. Production of reducing sugars from bean dregs waste by hydrolysis in subcritical water. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 90: 182-186.

Van Soest, P.J. 1967. Symposium on factor influencing the voluntary injake of herbage by rumininant : Voluntary intake retention time to chemical composition and digestibility. Joumal of Animal. Science. 23 : 834-843

Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry.** 31: 426-428.

[Online].Available:http://coursewares.mju.ac.th:81/elearning47/section2/an431/content/lesson02.htm

[Online].Available: http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap1/chapter1_3.html

[Online].Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulase

[Online].Available: http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/lignin.htm

[Online].Available: http://thebiochemsynapse.wordpress.com/tag/cellulose/Chap1/chapter1_3.html

[Online].Available: http://science.srru.ac.th/org/sci-elearning/courseonline/4022503/chapter3-disac.htm

[Online].Available: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1056/reducing-sugar-น้ำตาลรีดิวซ์

[Online].Available: http://science.srru.ac.th/org/sci-elearning/courseonline/4022503/chapter3-disac.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[Online].Available: http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap1/chapter 1_3.html

[Online].Available: http://www.oknation.net/blog/print.php?id=40320

[Online].Available: http://thebiochemsynapse.wordpress.com/tag/cellulose/

[Online].Available: http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/musa.html

[Online].Available: http://www.dld.go.th/nutrition/Nutrition_Knowlage/ARTICLE/ArtileF.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารและวิธีวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมสารในการปรับสภาพ

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS (Miller, 1959)

สารเคมี

1. น้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) AR grade Carlo Erba
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR grade Carlo Erba
3. โพแทสเซียม โซเดียม ทราเทรต ($KNaC_4H_4O_6$) AR grade Carlo Erba
4. กรดไดไนโตรซาลิซิลิก (3,5-dinitrosalicylic) AR grade Carlo Erba

การเตรียมสาร

1. การเตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

- ชั่งกลูโคส 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

2. การเตรียมสาร 3,5 dinitrosalicylic acid 1%

- ชั่ง DNS 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 M ปริมาตร 200 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน นำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อนจนได้สารละลายใส จากนั้นเติม โซเดียมโพแทสเซียมทราเทรตลงไปทีละน้อยจนครบ 300 กรัม ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร เก็บรักษาไว้ในขวดสีชา

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. นำสารละลายกลูโคสมาตรฐานความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 0, 0.2 ,0.4 ,0.6 ,0.8 ,1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในหลอดทดลอง
2. เติม 3,5 dinitrosalicylic acid 1% ลงไป 1 มิลลิลิตร
3. นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที
4. แช่หลอดทดลองในน้ำเย็นเป็นเวลา 5 นาที
5. เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวส์

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง
2. เติม 3,5 dinitrosalicylic acid 1% ลงไป 1 มิลลิลิตร
3. นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที
4. แช่หลอดทดลองในน้ำเย็นเป็นเวลา 5 นาที
5. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเ... ...ท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด... ...องเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใย (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ด้วยวิธี Detergent method

วิธีวิเคราะห์หา Neutral Detergent Fiber (NDF)

สารเคมี

1. โซเดียมลอริลซัลเฟต, AR grade, Carlo Erba
2. ไดโซเดียมเอทิลีนไดอามีนเตตระอาซิเทต (EDTA), ARgrade, Carlo Erba
3. โซเดียม บอเรต เดคาไฮเดรต ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), AR grade, Carlo Erba
4. ไดโซเดียม ไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Na_2HPO_4 anhydrous), AR grade, Rankem
5. โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3 anhydrous), AR grade, Rankem
6. ไตรเอทิลีนไกลคอล ($C_6H_{14}O_4$), AR grade, Acros
7. อะซิโตน (C_3H_6O), AR grade, Carlo Erba
8. น้ำกลั่น

การเตรียมสาร NDF

1. ชั่ง Sodium lauryl sulphate 60 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 400 มิลลิลิตร แล้วนำมาใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 2 ลิตร โดยใช้กรวยกรองและแท่งคนสารละลายช่วย เสร็จแล้วล้าง Sodium lauryl sulphate ที่ติดค้างอยู่ในบีกเกอร์ด้วยน้ำร้อน แล้วเทรวมใส่ในขวดปรับปริมาตรเดิม เขย่าเบาๆ

2. เติม Triethylene glycol 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรในข้อ 1 เขย่าให้เข้ากัน

3. ละลาย Disodium hydrogen phosphate anhydrous (Na_2HPO_4) 9.12 กรัม, Sodium borate decahydrate ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) 13.62 กรัม และ Disodium ethylenediaminetetraacetate (EDTA) dehydrate 37.22 กรัม ด้วยน้ำกลั่นที่ร้อนแล้วนำมาผสมกับสารละลาย ในข้อ 2 โดยเทใส่ขวดปรับปริมาตรขวดเดิม เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรพอดีขีดด้วยน้ำกลั่น และปรับ pH ให้ได้ 6.9 – 7.1

การวิเคราะห์

1. อบ Sinter glass ขนาด 30 มิลลิลิตร(por.1) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ครบเวลานำ Sinter glass ไปใส่โถดูดความชื้น รอให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งหนัก Sinter glass

2. ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งและบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร (20-30 mesh) 0.5 กรัม เติมสาร NDF 50 มิลลิลิตร และ sodium sulfite 0.5 กรัม ลงในขวดก้นกลมนำไปต่อเข้ากับอุปกรณ์รีฟลักซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ต้มให้เดือด 5-10 นาที แล้วจึงทำการ Reflux 1 hr.

4. กรองสารละลายผ่าน sinter glass ที่แห้งและทราบน้ำหนักแน่นอน ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศแล้วล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน โดยใช้น้ำให้น้อยที่สุดเท่าที่จะใช้ได้

5. หยุดเครื่องกรองสุญญากาศชั่วคราว ล้างกากใน sinter glass ด้วย acetone 2 ครั้ง ครั้งละ 15 มิลลิลิตร แล้วจึงเปิดเครื่องกรองสุญญากาศอีกครั้ง ดูดจนหมดกลิ่น acetone

6. นำ sinter glass ที่มีกากไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ตลอดคืน ออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่ง หาน้ำหนักที่คงที่

7. คำนวณหา % NDF ตามสูตรต่อไปนี้

$$\% NDF = [(W_t - W_0) / W] \times 100$$

W_0 = น้ำหนัก Sinter glass ก่อนอบ

W_t = น้ำหนัก Sinter glass หลังอบ

W = น้ำหนักตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์ Acid Detergent Fiber (ADF)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก 96 % (H_2SO_4), AR grade, Carlo Erba
2. เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB), reagent grade, Acros
3. อะซิโตน (C_3H_6O), AR grade, Carlo Erba
4. น้ำกลั่น

การเตรียมสาร ADF

1. ปิเปต conc.H_2SO_4 มา 27.8 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ที่ได้เติมน้ำกลั่นไว้แล้วบางส่วน

2. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้ H_2SO_4 1 N

3. ผสม H_2SO_4 1 N ปริมาตร 1 ลิตรกับ CTAB 20 กรัม ให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นกวน

การวิเคราะห์

1. นำ Sinter glass ขนาด 30 มิลลิลิตร(por.1) ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ครบเวลานำ Sinter glass ไปใส่โถดูดความชื้นรอให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งน้ำหนัก Sinter glass

2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดและอบแห้ง มา 0.5 g เติมสาร ADF 50 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลม

3. ต้มให้เดือด 5-10 นาที และทำการ Reflux 1 hr.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กรองสารละลายผ่าน sinter glass ที่แห้งและทราบน้ำหนักแน่นอน ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศแล้วล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน โดยใช้น้ำให้น้อยที่สุดเท่าที่จะใช้ได้

5. ล้างกากด้วย acetone จนสารละลายที่ล้างออกมาไม่มีสี

6. นำ sinter glass ที่มีกากไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ตลอดคืน ออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งหาน้ำหนักคงที่ (ตัวอย่างนี้เก็บไว้วิเคราะห์ Lignin ต่อไป)

7. คำนวณหา % ADF ตามสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ ADF} = [(W_t - W_0) / W] \times 100$$

W_0 = น้ำหนัก Sinter glass ก่อนอบ

W_t = น้ำหนัก Sinter glass หลังอบ

W = น้ำหนักตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์หา Acid Detergent Lignin (ADL)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก 96 % (H_2SO_4), AR grade, Carlo Erba
2. น้ำกลั่น

การเตรียมสาร ADL

- เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ตวง conc H_2SO_4 มา 666.30 มิลลิลิตร ใส่ลงไป และเติมน้ำกลั่น ให้ครบ 1000 มิลลิลิตร แล้วรอให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1000 มิลลิลิตร อีกครั้งแล้วผสมให้เข้ากัน

การวิเคราะห์หาปริมาณ acid detergent fiber

1. นำ sinter glass ที่มีกากตัวอย่างที่วิเคราะห์หา ADF แล้วมาทำการวิเคราะห์
2. เติมH_2SO_4 72%ที่แช่เย็นลงไปครึ่ง sinter glass โดย sinter glass วางอยู่บนถาด คนด้วยแท่งแก้วเป็นครั้งคราว (แท่งแก้วจะต้องแช่ค้างอยู่ใน sinter glass ห้ามนำออก)
3. เติมH_2SO_4 72% ลงไปครึ่งหนึ่งของการเติมครั้งแรก คนเป็นครั้งคราว 1 ชั่วโมง
4. จากนั้นทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
5. นำไปกรองโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด (ทดสอบโดยใช้กระดาษลิตมัสสีน้ำเงิน)
6. นำ sinter glass ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ตลอดคืน จากนั้นนำไปใส่ในโถดูดความชื้น เมื่อเย็นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
7. นำ sinter glass ไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำใส่โถดูดความชื้น เมื่อเย็นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
8. คำนวณหา %ADL ตามสูตรต่อไปนี้

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ ADL} = [(W_t - W_a) / W] \times 100$$

W_t = น้ำหนัก Sinter glass ก่อนเผา

W_a = น้ำหนัก Sinter glass หลังเผา

W = น้ำหนักตัวอย่าง (จากขั้นตอน ADF)

ผลการคำนวณ %NDF, %ADF และ%ADL จะถูกนำมาคำนวณหาปริมารเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

% Hemicellulose = %NDF - %ADF

% Cellulose = %ADF - %ADL

% Lignin = %ADL

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณเฟอร์ฟูรัล

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเฟอร์ฟูรัลด้วยสารละลายรีเอเจนต์สแตนนัสคลอไรด์-แอนิลีน-กรดแอซิติกตามวิธีของวิรังรอง (2547) โดยมีวิธีการดังนี้

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 แอนิลิน-กลั่น 1 ครั้งหรือ 2 ครั้ง แล้วเก็บไว้ในตู้เย็นได้เป็นเวลา 2-3 เดือน

1.2 สารละลายสแตนนัสคลอไรด์ความเข้มข้น 20 % ละลายสแตนนัสคลอไรด์ 2 กรัม ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (12 N) 10 มิลลิลิตรทำให้ละลายโดยอุ่นให้ร้อนประมาณ 5 นาที

1.3 รีเอเจนต์สแตนนัสคลอไรด์-แอนิสิน-กรดแอซีติก ทำการเจือจางแอนิสิน 2 มิลลิลิตร ด้วยกรดแอซีติกเข้มข้น จากนั้นเติมสารละลายสแตนนัสคลอไรด์ความเข้มข้น 20 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 20 มิลลิลิตรด้วยกรดแอซีติกเข้มข้น

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอร์ฟูรัล

2.1 ชั่งเฟอร์ฟูรัลที่กลั่นแล้ว 20 มิลลิกรัม แล้วเติมน้ำจนมีปริมาตร 20 มิลลิลิตร จะได้ สารละลายเฟอร์ฟูรัลความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2.2 เจือจางสารละลายเฟอร์ฟูรัลความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 100 เท่า จะได้ สารละลายเฟอร์ฟูรัลความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2.3 เจือจางสารละลายเฟอร์ฟูรัลความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร 5, 10 และ 20 เท่า จะได้สารละลายเฟอร์ฟูรัลความเข้มข้น 2, 1 และ 0.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

2.4 นำสารละลายเฟอร์ฟูรัลความเข้มข้นต่างๆไปทำปฏิกิริยากับเอทานอล 95 % ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และรีเอเจนต์สแตนนัสคลอไรด์-แอนิสิน-กรดแอซีติก 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

2.6 สร้างกราฟระหว่างปริมาณเฟอร์ฟูรัลกับค่าการดูดกลืนแสง

3. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเฟอร์ฟูรัล

3.1 เจือจางเฟอร์ฟูรัลที่สกัดได้ด้วยน้ำให้มีปริมาณเฟอร์ฟูรัลน้อยกว่า 4 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.2 จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับเอทานอล 95 % ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และรีเอเจนต์เจนต์สแตนนัสคลอไรด์–แอนิลิน-กรดแอซีติก 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที

3.3 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

3.4 นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละผลได้เฟอร์ฟูรัล

ก.4 วิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Soluble Solid: TSS) โดยใช้อุปกรณ์วัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Refractometer)

1. ทำความสะอาดรีแฟรคโตมิเตอร์ก่อนอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยน้ำกลั่น ตั้งค่าเพื่อเทียบมาตรฐานของรีแฟรคโตมิเตอร์ให้เท่ากับศูนย์โดยใช้น้ำกลั่น

2. นำตัวอย่างมาหยดบนด้านที่มีปริซึมประมาณ 1 หยด ปิดฝาครอบรีแฟรคโตมิเตอร์ แล้วอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในหน่วยของสาบริกซ์ (°Brix) โดยเร็วที่สุด ถ้าตัวเลขที่ใช้วัดค่าความหวานเห็นไม่ชัด ก็สามารถปรับได้ด้วยเลนส์ใกล้ตา

3. เมื่ออ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้แล้วใช้น้ำกลั่นหยดบริเวณฝาครอบและด้านที่มีฝาครอบ ทำความสะอาดเช็ดฝาครอบและด้านปริซึมให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลองและวิธีคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนหน่วยปริมาณน้ำตาลรีดิวส์จาก mg/ml เป็น mg/g น้ำหนักแห้ง

จากการทดลองทำการการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ได้โดยนำสารละลายที่ต้องการวัดมา 1 มิลลิลิตร เติม DNS 1 มิลลิลิตร นำไปวัดด้วยเครื่อง UV ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลาย 600 มิลลิลิตร คิดปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ได้ดังนี้

สารละลายน้ำตาล 1 มิลลิลิตร มีปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
ถ้าสารละลายน้ำตาล 600 มิลลิลิตร จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ 2.00 x 600/1 มิลลิกรัม
=1200 มิลลิกรัม

เปลือกกล้วย 20 กรัม มีปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ 1200 มิลลิกรัม
ถ้าเปลือกกล้วย 1 กรัม จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ 1200 x 1 /20 มิลลิกรัม
=60 มิลลิกรัม
ดังนั้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ที่ผลิตได้จากเปลือกกล้วย 1 กรัม มีค่า 60 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยหอมสุก

ตัวอย่าง	ครั้งที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL		
		น้ำหนัก (g)			%NDF	น้ำหนัก (g)			%ADF	น้ำหนัก (g)		%ADL
		ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		Sinter glass ก่อนเผา	Sinter glass หลังเผา	
เปลือกกล้วยหอมสุก (ไม่ปรับสภาพ)	1	0.5105	30.1274	30.4252	58.3349	0.5137	31.1408	31.2832	27.7205	31.2403	31.1404	19.4471
	2	0.5030	30.0861	30.3547	53.3996	0.5052	29.959	30.1153	30.9382	30.057	29.9604	19.1211
	3	0.5010	29.7396	30.0028	52.5349	0.5094	30.0598	30.2047	28.4452	30.1601	30.0605	19.5524
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น)	1	0.2061	30.1281	30.3671	115.9631	0.2015	30.142	30.2858	71.3648	30.2599	30.1276	65.65757
	2	0.2010	30.0859	30.3184	115.6716	0.2015	29.7557	29.9822	112.4069	29.8621	29.7399	60.64516
	3	0.2008	29.7395	29.9911	125.2988	0.2012	31.1578	31.2902	65.8052	31.2556	31.1440	55.4672
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 1.0 M)	1	29.827	30.1459	0.3062	104.1476	0.2043	29.8269	29.9627	66.4709	29.9147	29.8256	43.6123
	2	31.3812	31.6466	0.2809	94.4820	0.2069	30.0877	30.2440	75.5437	30.1929	30.088	50.7008
	3	30.0638	30.3356	0.2811	96.6916	0.2045	30.1454	30.3011	76.1369	30.2549	30.145	53.7408

ตารางที่ ข. 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยหอมสุก (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL		
		น้ำหนัก (g)			%NDF	น้ำหนัก (g)			%ADF	น้ำหนัก (g)		%ADL
		ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		Sinter glass ก่อนเผา	Sinter glass หลังเผา	
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 1.5 M)	1	29.7405	29.9931	0.2822	89.5110	0.2056	30.1273	30.2205	69.7605	30.1885	30.1268	46.1826
	2	31.1634	31.3682	0.2611	78.4374	0.2056	29.739	29.8297	76.0268	29.807	29.7392	56.8315
	3	29.9219	30.1699	0.2909	85.2527	0.2055	30.0631	30.1608	78.2225	30.1314	30.0625	55.1641
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 2.0 M)	1	0.2008	29.8257	30.0402	106.8227	0.2056	29.8259	29.9625	66.4397	29.9361	29.8275	52.8210
	2	0.2003	29.7392	29.9727	116.5751	0.2056	30.0672	30.2227	75.6323	30.2021	30.087	55.9825
	3	0.2047	30.0628	30.2964	114.1182	0.2055	30.1449	30.2825	66.9586	30.2626	30.1464	56.5450
เปลือกกล้วยหอมระยะที่ 1 (ปรับสภาพด้วย NaOH 2.5 M)	1	0.2016	29.9602	30.1843	111.1607	0.2042	30.1269	30.2699	70.0294	30.2415	30.1278	55.6807
	2	0.2008	31.1579	31.399	120.0697	0.2035	30.0628	30.1996	67.2236	30.1781	30.0641	56.0197
	3	0.2017	29.9232	30.1637	119.2365	0.2055	29.7391	29.8807	68.9051	29.8619	29.7404	59.1241

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนของเปลือกกล้วยหอมสุก

ตัวอย่าง	ครั้งที่	วิเคราะห์ปริมาณตะกอน		
		น้ำหนัก (g)		%ตะกอนที่เหลือ
		ก่อนปรับ	หลังปรับ	
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วยน้ำ)	1	2.0012	0.9848	49.2105
	2	2.0017	0.8972	44.8219
	3	2.0021	0.9157	45.7370
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 1 M)	1	0.6124	0.6124	30.5971
	2	0.5619	0.5619	27.9316
	3	0.5622	0.5622	27.9022
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 1.5 M)	1	0.5645	0.5645	28.1364
	2	0.5223	0.5223	26.0668
	3	0.5818	0.5818	29.0276
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 2.0 M)	1	2.0083	0.3813	18.9862
	2	2.0018	0.3448	17.2245
	3	2.0079	0.5316	26.4754
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 2.5 M)	1	2.0005	0.4946	24.7239
	2	2.0012	0.4749	23.7308
	3	2.0035	0.4857	24.2426

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข. 3 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยแช่ 24 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A_{520})	df
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย H2O)	1	20.5200	139	1.288	50
	2	20.5550	132	1.262	50
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 1.0 M)	1	20.4534	156	0.933	50
	2	20.4842	154	0.912	50
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 1.5 M)	1	20.7106	152	0.565	50
	2	20.7300	152	0.548	50
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 2.0 M)	1	20.6974	153	0.498	50
	2	20.6211	149	0.442	50
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 2.5 M)	1	20.8880	151	0.398	50
	2	20.4860	156	0.395	50

ตารางที่ ข. 4 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเปลือกกล้วยต้ม 90 นาที

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ค่าการดูดกลืนแสง (A_{520})	df
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย H2O)	1	20.5200	178	0.553	10
	2	20.5550	165	0.518	10
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 1.0 M)	1	20.4534	198	0.326	10
	2	20.4842	195	0.315	10
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 1.5 M)	1	20.7106	219	0.237	10
	2	20.7300	255	0.222	10
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 2.0 M)	1	20.6974	223	0.221	10
	2	20.6211	243	0.210	10
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วย NaOH 2.5 M)	1	20.8880	232	0.224	10
	2	20.4860	256	0.205	10

ตารางที่ ข.5 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นโดยไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ความเข้มข้นของ HCl	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)
0 %	1	4.5021	132	0.14
	2	4.5120	130	0.14
	3	4.5048	132	0.12
0.5 %	1	4.5080	134	0.21
	2	4.5129	130	0.20
	3	4.5152	132	0.21
1.0 %	1	4.5089	128	0.12
	2	4.5192	130	0.11
	3	4.5089	130	0.11
2.0 %	1	4.5114	132	0.05
	2	4.5213	130	0.08
	3	4.5106	128	0.04

ตารางที่ ข.6 แสดงปริมาณความเข้มข้นเฟอร์ฟูรัลที่ผ่านการปรับสภาพ ด้วยน้ำกลั่นโดยไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ความเข้มข้นของ HCl	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A_{520})
0 %	4.5021	0.064
0.5 %	4.5080	0.229
1.0 %	4.5089	0.402
2.0 %	4.5114	0.029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผ่านการปรับสภาพโดยน้ำกลั่นย่อยด้วยลูกแป้ง (องศาบริกซ์)

วันที่/อัตราส่วนลูกแป้ง	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากลูกแป้งปริมาณต่าง ๆ								
	0.3 g			1.5g			3 g		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6
2	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6
3	0	0	0	1	1	1.02	1.02	1.02	1
4	0	0	0	1	1	1	1	1	1.02
5	0	0	0	1	1	1	1.2	1.2	1.2
6	0	0	0	1	1	1	2	2	2
7	0.2	0.2	0.2	1	1.2	1	1	1.2	1

ตารางที่ ข.7 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผ่านการปรับสภาพโดยน้ำกลั่นย่อยด้วยลูกแป้ง (องศาบริกซ์)

วันที่/อัตราส่วนลูกแป้ง	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากลูกแป้งปริมาณต่าง ๆ								
	0.3 g			1.5g			3 g		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6
2	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6
3	0	0	0	1	1	1.02	1.02	1.02	1
4	0	0	0	1	1	1	1	1	1.02
5	0	0	0	1	1	1	1.2	1.2	1.2
6	0	0	0	1	1	1	2	2	2
7	0.2	0.2	0.2	1	1.2	1	1	1.2	1

ตารางที่ ข.8 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผ่านการปรับสภาพโดยน้ำกลั่นทำการย่อยด้วยลูกแป้ง

ปริมาณลูกแป้ง (g)	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเหลว (ml)	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)	df
0 %	1	4.5080	18.5	0.16	20
	2	4.5101	19	0.16	20
	3	4.5095	18	0.18	20
0.5 %	1	4.5016	16	0.43	20
	2	4.5034	16	0.45	20
	3	4.5120	17.5	0.43	20
1.0 %	1	4.5075	12.5	0.40	20
	2	4.5081	12.5	0.41	20
	3	4.5133	12	0.41	20

ตารางที่ ข.9 แสดงปริมาณความเข้มข้นเฟอร์ฟูรัลที่ผ่านการปรับสภาพโดยน้ำกลั่นทำการย่อยด้วยลูกแป้ง

ตัวอย่าง	อัตราส่วนลูกแป้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง (A_{515})	df
เปลือกกล้วยหอมสุก (ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น) วันที่ 7	0.3	0.088	10
	1.5	0.055	10
	3	0.111	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใยของเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพโดยน้ำกลั่นย่อยด้วยลูกแป้ง

ปริมาณลูกแป้ง (g)	ครั้งที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL		
		น้ำหนัก (g)			% NDF	น้ำหนัก (g)			% ADF	น้ำหนัก (g)		% ADL
		ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		Sinter glass ก่อนเผา	Sinter glass หลังเผา	
0.3	1	0.0274	31.3640	31.4080	160.5840	0.0279	29.9624	29.9871	88.5305	29.9790	29.9611	64.1577
	2	0.0271	30.0865	30.1307	163.0997	0.0278	29.8721	29.8961	86.3309	30.4667	30.4497	61.1510
	3	0.0276	29.7313	29.7356	159.4202	0.0278	30.4528	30.4767	85.9712	30.1568	30.1393	62.9496
1.5	1	0.0273	30.1466	30.1936	172.1612	0.0277	30.1053	30.1281	82.3105	30.1210	30.1039	61.7329
	2	0.0276	30.2348	30.2818	170.2898	0.0275	30.1568	30.1793	81.8181	30.1426	30.1257	61.4545
	3	0.0241	29.5612	29.6021	169.7095	0.0272	29.6812	29.7038	83.0882	29.8156	29.7991	60.6618
3.0	1	0.0270	31.1395	31.1864	173.7037	0.0275	31.1379	31.1592	77.4545	31.1527	31.1368	57.8182
	2	0.0270	31.2109	31.2589	177.7778	0.0270	31.4086	31.4296	77.7778	31.5614	31.5459	57.4074
	3	0.0272	30.0156	30.0610	169.8530	0.0273	30.1684	30.1899	78.7546	30.1653	30.1495	59.3406