

การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกเผือก

Production of Reducing Sugars from Taro Peels

จิราภา

อัครไชวงศ์

อัญชนก

คำจันทร์

อารีย์ญา

จันทาทูน

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกเผือก

Production of Reducing Sugars from Taro Peels

จิราภา	อ๊กโขวงค์
ธัญชนก	คำจันทร์
อารีย์ญา	จันทาพูน

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

PRODUCTION OF REDUCING SUGARS FROM TARO PEELS

JIRAPA
THUNCHANOK
AREEYA

AUKKHOWONG
KAMCHAN
JANTAPOON




A SPEACIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

หัวข้อโครงการพิเศษ การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกเผือก
 Production of Reducing Sugars from Taro Peels

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิราภา อักโขวงค์ 55050897
 นางสาวธัญชนก คำจันทร์ 55050928
 นางสาวอารีย์ญา จันทาพูน 55051048

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
 สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
 สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ปัทมา ลีฬหาวงศ์ ประธานกรรมการ	
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ กรรมการ	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิตน้ำตาลรีตีวซ์จากเปลือกเผือก	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิราภา อักโขวงค์	55050897
	นางสาวธัญชนก คำจันทร์	55050928
	นางสาวอารีย์ญา จันทาพูน	55051048
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลรีตีวซ์จากเปลือกเผือก พร้อมทั้งศึกษาผลของวิธีการบำบัดขั้นต้นต่อการผลิตน้ำตาลรีตีวซ์จากเปลือกเผือก โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ ชนิดของสารที่ใช้ในการบำบัดขั้นต้นที่เวลาต่างๆ จากผลการวิเคราะห์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการเตรียมไฮโดรไลสเพื่อผลิตเป็นน้ำตาลรีตีวซ์คือ การบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% เป็นเวลา 30 นาที ที่สภาวะดังกล่าวจะมีปริมาณเอมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเหลืออยู่ในเส้นใยสูง (56.47 และ 29.87%) รวมทั้งยังมีลิกนินอยู่น้อย (7.47%) เมื่อนำเปลือกเผือกที่ผ่านการปรับสภาพไปย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พบว่าเปลือกเผือกสามารถผลิตน้ำตาลรีตีวซ์ได้ถึง 2,022 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

คำสำคัญ : วัสดุลิกโนเซลลูโลส, ไฮโดรไลส, น้ำตาลรีตีวซ์, การปรับสภาพ

Title	Production of reducing sugars from taro peels		
Student	Ms. Jirapa	Aukkhawong	55050897
	Ms. Thunchanok	Kamchan	55050928
	Ms. Areeya	Jantapoon	55051048
Degree	Bachelor of Science		
Major Program	Environmental Chemistry		
Academic Year	2015		
Advisor	Asst.Prof. Dr. Usarat Thawornchaisit		

Abstract

In this special project, production of reducing sugars from taro peels along with the effect of pretreatment methods on the production of reducing sugar was studied. Factors being tested are types of chemicals for pretreatment and contact. The results showed that the optimum conditions to prepare hydrolysates to produce a reducing sugar is pretreatment with steam under pressure with sodium hydroxide concentration of 10% for 30 minutes. At this condition, a quantity of hemicellulose and cellulose were high (56.47 and 29.87%) and lignin is low (7.47%). Pretreated taro peels were then hydrolyzed with 0.1 M H₂SO₄ and it was found that reducing sugars of 2,020 mg/g were detained.

Keywords : Lignocellulosic material, Hydrolysate, Reducing sugars, Pretreatment.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตซึ่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทางคณะ
คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมดรวมถึงผู้ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์กับ
โครงการพิเศษซึ่งมีดังนี้ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้กรุณาสละ
เวลาอันมีค่าเพื่อมาให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และข้อชี้แนะต่างๆตลอดจนจบการทำโครงการพิเศษ และ
ขอขอบพระคุณอาจารย์จรรยา คงฤทธิ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรและจัดการ
ทรัพยากร หลักสูตรสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบังที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบต่างๆ ขอขอบคุณกรมการ 2 ท่าน
คือ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ และ อ.ปัทมา ลิฬหาวงศ์ ด้วยค่ะ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบังที่อำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการทำ
โครงการพิเศษครั้งนี้ ขอขอบพระคุณพี่นักวิทย์ประจำสาขาวิชาเคมีที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้
และข้อปฏิบัติที่ถูกต้องของอุปกรณ์และสารเคมีรวมถึงการให้การช่วยเหลือต่างๆอีกมากมายเพื่อ
อำนวยความสะดวกตลอดการทำวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆอีกหลายๆคนที่ให้การช่วยเหลือที่เป็น
ประโยชน์ต่อการทำโครงการพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณถึงคุณพ่อ คุณแม่และญาติพี่น้องทุกๆคนอันเป็นที่รักสำหรับโอกาสและ
กำลังใจที่ได้มอบให้แก่กันตลอดมาจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ทางคณะผู้จัดทำก็หวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการพิเศษของพวกเรานี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่
สนใจศึกษาเรื่องนี้บ้างไม่มากนักน้อย และหากมีข้อผิดพลาดประการใดหรือมีข้อเสนอแนะที่ควร
ปรับปรุงผลงานนี้ให้ดียิ่งขึ้นทางคณะผู้จัดทำก็ขอน้อมรับข้อเสนอแนะรวมถึงคำติชมต่างๆด้วยความ
ยินดีและขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

นางสาวจิราภา อักโขวงศ์

นางสาวธัญชนก คำจันทร์

นางสาวอารีย์ญา จันทาพูน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วัสดุลิกโนเซลลูโลส.....	4
2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุลิกโนเซลลูโลส	5
2.2 การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากวัสดุลิกโนเซลลูโลส.....	7
2.2.1 การปรับสภาพวัสดุลิกโนเซลลูโลส (Pretreatment).....	8
2.2.2 การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis).....	11
2.3 เฝือก	13
2.3.1 ชนิดของเฝือก	13
2.3.2 ลักษณะทั่วไปของเฝือก	13
2.3.3 แป้ง.....	14
2.3.4 ประโยชน์ของเฝือก	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	18
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	18
3.1.1 อุปกรณ์	18
3.1.2 สารเคมี	18
3.2 วัตถุประสงค์และการเตรียมตัวอย่าง.....	19
3.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกเฝือก.....	19
3.4 แผนงานวิจัย.....	19
3.5 ศึกษาผลของการบำบัดขั้นต้นด้วยการแช่น้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่างกัน	21
3.6 ศึกษาผลของการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่ระยะเวลาต่างกัน.....	21
3.7 ศึกษาผลของการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระยะเวลาต่างกัน	22
3.8 การเตรียมไฮโดรไลเสท (hydrolysate) จากเปลือกเฝือกที่ผ่านการปรับสภาพ.....	22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	23
4.1 องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกเผือก	23
4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกเผือก	24
4.3 ผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนของของเหลว	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการวิจัย	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	32
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก ก	36
ภาคผนวก ข	48
ภาคผนวก ค	58

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของเซลล์โอส เฮมิเซลล์โอส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	5
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกฝืนอกที่ใช้ในการศึกษาเทียบกับเปลือกฝืนอกจากงานวิจัยอื่น..	24
4.2 องค์ประกอบของเยื่อใยในเปลือกฝืนอกที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นที่ระยะเวลาต่างๆ	25

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในชีวมวล	4
2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส	6
2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	6
2.4 โครงสร้างของลิกนิน	7
2.5 การผลิตไบโอเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตรประเภทต่างๆ.....	8
2.6 การปรับสภาพเพื่อทำลายโครงสร้างที่แข็งแรงของลิกโนเซลลูโลส	9
2.7 ลักษณะของหัวเผือก	14
3.1 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย	20
4.1 ลักษณะเปลือกเผือกที่นำมาศึกษา	23
4.2 ลักษณะตัวอย่างเปลือกเผือกที่นำมาศึกษา	23
4.3 โครงสร้างของเปลือกเผือกที่แช่น้ำกลั่นที่เวลา (ก) 0 นาที (ข) 15 นาที (ค) 30 นาที (ง) 60 นาที จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง(SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	26
4.4 โครงสร้างของเปลือกเผือกที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่เวลา (ก) 15 นาที (ข) 30 นาที (ค) 60 นาที จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	27
4.5 โครงสร้างของเปลือกเผือกที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ที่เวลา (ก) 15 นาที (ข) 30 นาที (ค) 60 นาที จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	28
4.6 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่ส่องจากกล้องจุลทรรศน์ แบบส่องกราด (SEM) ที่มาจากงานของ Simi และ Abraham (2007)	29
4.7 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนของของเหลวที่ได้จากการบำบัดขั้นต้น (prehydrolysate) ด้วยการ (ก) แช่ด้วยน้ำกลั่น (ข) ใช้ไอน้ำภายใต้แรงดัน (ค) ใช้ไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% และที่ได้จากการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง เข้มข้น 0.1 โมลาร์ (hydrolysis) เวลา 60 นาที	30

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะที่ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลของโลกลดน้อยลงเป็นลำดับ อันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกรวมถึงการพัฒนาของภาคอุตสาหกรรม จึงทำให้มีการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกี่ยวกับแหล่งพลังงานทดแทนและเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยให้ความสนใจเกี่ยวกับ ‘เอทานอล’ ที่ถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนที่มีโอกาสเติบโตสูง และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่า ตลอดจนสร้างเสถียรภาพให้กับผลผลิตทางการเกษตร แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 (AEDP 2015) และแผนบริหารน้ำมันเชื้อเพลิง (oil Plan) จึงได้มีนโยบายส่งเสริมให้เกิดการผลิตและการใช้เอทานอลไม่น้อยกว่า 9 ล้านลิตรต่อวันภายในปี พ.ศ. 2565 โดยการวางเป้าหมายของการส่งเสริมในเรื่องการใช้ให้มีปริมาณรวมสูงถึง 24% คาดว่าในปี พ.ศ. 2579 จะมีการใช้เอทานอลเพื่อทดแทนปริมาณการใช้น้ำมันเบนซิน 11.3 ล้านลิตรต่อวัน และใช้ไบโอดีเซลทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล 14 ล้านลิตรต่อวัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

ในปัจจุบันการผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมของไทยที่เปิดดำเนินการแล้วถึง 21 แห่งโดนมีกำลังการผลิตรวม 4.2 ล้านลิตรต่อปีซึ่งวัตถุดิบที่ใช้จะเป็นจำพวกแป้งและน้ำตาลเป็นหลักได้แก่ กากน้ำตาล อ้อย และมันสำปะหลัง (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2556) เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้สามารถผลิตได้จากพืชไร่ที่เราเพาะปลูกเองได้นั้นยังสามารถทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่มีจำนวนจำกัดใช้แล้วหมดไปและมีราคาสูงขึ้นทุกวัน ถึงแม้ว่าอุตสาหกรรมเอทานอลไทยจะต้องเผชิญกับปัญหาและอุปสรรคมากมายแต่จากการให้ความสำคัญอย่างมากกับเอทานอลของแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15ปี ที่ถือว่าเอทานอลเป็นพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับประเทศไทยมากที่สุดทั้งในปัจจุบันและในอนาคต (สิริวฤทธิ์, 2554)

เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากชีวมวลซึ่งประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลสเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน ถือเป็นทรัพยากรที่ยั่งยืนเนื่องจากเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งมีอยู่ทั่วโลก พบมากในผนังเซลล์ของพืช ได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งทางทั้งไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน เศษวัสดุทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด ฟางข้าว ชานอ้อย แกลบ ขยะกระบวนการแปรรูปทางอาหารและจากบ้านเรือน รวมถึงมูลสัตว์ต่างๆ จำทำให้มีการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาพัฒนาใช้ผลิตเป็นพลังงานเอทานอล โดยการเปลี่ยนแป้งหรือเซลลูโลสที่เป็นส่วนประกอบหลักในเซลล์พืชมาผ่านกระบวนการปรับสภาพเพื่อกำจัดลิกนินและลดโครงสร้างที่เป็นผลึกของเซลลูโลสลงก่อนซึ่งจะได้เส้นใยของเซลลูโลสแล้วเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เพื่อเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหมักให้เป็นเอทานอลต่อไป

ฝือก ถึงแม้ว่าจะเป็นเพียงพืชเศรษฐกิจที่ถือว่ามีความสำคัญในการส่งออกอีกประเภทหนึ่งโดยส่งออกทั้งในรูปแบบฝือก ก้านใบฝือก และใบฝือก อย่างเช่นในปี พ.ศ.2543 ประเทศไทยมีการส่งออกหัวฝือกประมาณ 1,039 ตันคิดเป็นมูลค่า 14.8 ล้านบาท ตลาดต่างประเทศที่สำคัญได้แก่ ญี่ปุ่น ฮองกง ออสเตรเลีย มาเลเซีย สิงคโปร์ และเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น โดยประเทศไทยมีการปลูกฝือกอยู่ทั่วไปทุกภาคของประเทศ รวมพื้นที่ปลูกฝือกทั้งประเทศประมาณ 41,394 ไร่ และได้ผลผลิต

ประมาณ 102,126 ตันเฉลี่ยแล้วเท่ากับมีผลผลิตประมาณ 2.1 ตันต่อไร่ (กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร , 2554) จากกำลังการผลิตที่สูงของฝือกเพื่อการส่งออกสู่ตลาดโลก และการใช้ฝือกเป็นวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรมโดยการนำหัวฝือกที่มีส่วนประกอบจำพวกแป้งและธาตุต่างๆไปแปรรูปหรือบริโภค เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้วทำให้เกิดเปลือกฝือกเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตในปริมาณมาก เห็นได้จากปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (พ.ศ. 2553) ที่มีมากถึง 43 ล้านตันต่อปีคิดเป็นพลังงานเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 3 พันล้านตัน (พลังงานสะอาด พลังงานทดแทนในประเทศไทยที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, 2556) แสดงให้เห็นว่าประเทศมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในภูมิภาคเป็นจำนวนมาก แต่ยังไม่มีการนำไปใช้ โครงการพิเศษนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกฝือกซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นมากในกระบวนการผลิตและแปรรูปอาหาร รวมทั้งศึกษาผลของวิธีการบำบัดขั้นต้นก่อนการผลิตน้ำตาล เนื่องจากองค์ประกอบของเปลือกฝือกมีส่วนประกอบของแป้งอยู่มาก โดยมีคาร์โบไฮเดรตและมีเส้นใยสูง (87.92 และ 1.96%) (เกรียงศักดิ์ และจิตตารีย์, 2551) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวทำให้เปลือกฝือกเป็นวัสดุนำมาผลิตเป็นน้ำตาลเพื่อผลิตเป็นพลังงานเอทานอลต่อไปได้ แต่เนื่องจากในองค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสยังมีปริมาณลิกนินที่เป็นตัวขัดขวางการทำงานของเอนไซม์เพื่อเปลี่ยนกลูโคสและแป้งให้เป็นน้ำตาลได้ยาก ดังนั้นจึงควรมีการบำบัดขั้นต้นก่อนการย่อย(hydrolysis) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ให้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกฝือก
2. เพื่อศึกษาผลของวิธีการบำบัดขั้นต้นต่อการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกฝือก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาคือเปลือกฝือกที่เหลือจากกระบวนการผลิตขนมปังของบริษัท เพอร์ซิเดนท์ เบเกอร์ จำกัด (มหาชน) เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ
- 2) ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกฝือก ได้แก่ วิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกฝือกด้วยวิธี Proximate Analysis วิเคราะห์องค์ประกอบของเยื่อใยด้วยวิธี Detergent method และศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)
- 3) ศึกษาผลของวิธีการบำบัดขั้นต้นต่อการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกฝือก
วิธีการบำบัดขั้นต้นที่ศึกษาคือ 1) การบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดัน 2) การบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10%
ตัวแปรต้นที่ศึกษาในแต่ละวิธีการบำบัดคือ ระยะเวลา (15, 30, 60 นาที)
ตัวแปรควบคุม คืออุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ตัวแปรตาม คือส่วนของของเหลวขั้นต้น (prehydrolysate) ที่นำไปวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และส่วนของแข็งไปศึกษาองค์ประกอบของเยื่อใยและโครงสร้างทางกายภาพของวัตถุดิบที่ผ่านการปรับสภาพ

4) การเตรียมไฮโดรไลสของเปลือกเห็ด

เปลือกเห็ดที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ถูกนำไปไฮโดรไลซ์ขั้นต้นด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจางเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยสภาวะที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์คือ ให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายใต้แรงดัน (autoclave) 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วด้วยเป็นเวลา 60 นาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

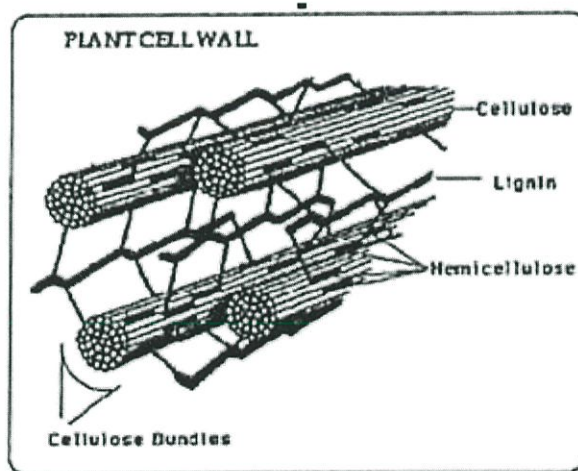
1. ได้วัตถุดิบทางเลือกในการผลิตน้ำตาลที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตเอทานอลต่อไปได้
2. ได้แนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุลิกโนเซลลูโลส

วัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติ จัดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบไปด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างของผนังเซลล์ อัตราส่วนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุลิกโนเซลลูโลส (ตารางที่ 2.1) โดยทั่วไปพบเซลลูโลสร้อยละ 40-60 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 20-30 และลิกนินร้อยละ 15-30 (Lee et al., 2008) นอกจากนี้เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ยังมีองค์ประกอบอื่นอยู่ในผนังเซลล์ของพืช มีทั้งส่วนที่ต้องทำการสกัดและที่ไม่ต้องสกัด โดยสารที่ต้องทำการสกัดประกอบไปด้วย ไขมัน แวกซ์ แทนนิน เรซิน เป็นต้น ส่วนสารที่ไม่ต้องสกัดองค์ประกอบส่วนใหญ่คือพวกสารอนินทรีย์ เช่น ซิลิกา คาร์บอนเนต ออกซาเลต เป็นต้น (Bharathi และ Ravindra, 2006) เศษวัสดุจากการเกษตรเช่น ชังข้าวโพด เส้นใยข้าวโพด ชานอ้อย และฟางข้าวสาลี พวกวัสดุเหลือทิ้งจากไม้เช่น ไม้เลื่อยจากทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง เศษแผ่นไม้ เศษกิ่งไม้ พวกขยะจากขบวนการแปรรูปอาหารและจากบ้านเรือนเช่น วัสดุก่อสร้าง และเศษกระดาษ พวกของเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรม การเกษตรเช่น ชานอ้อย และฟางข้าว ส่วนประกอบของวัสดุลิกโนเซลลูโลส ดังรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในชีวมวล
ที่มา: Sjostrom (1981)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

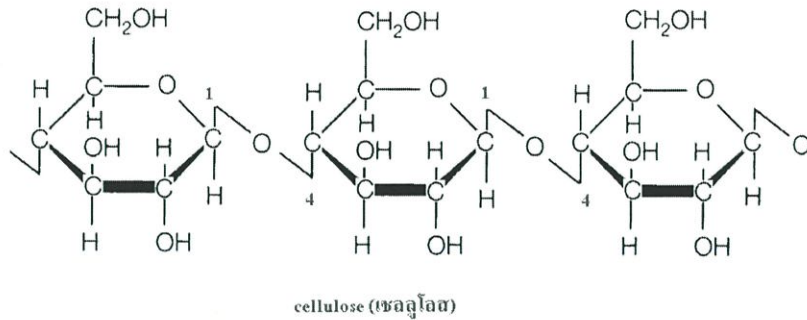
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	ร้อยละของเซลลูโลส	ร้อยละของเฮมิเซลลูโลส	ร้อยละของลิกนิน
ไม้เนื้อแข็ง	40-55	24-40	18-25
ไม้เนื้ออ่อน	45-50	25-35	25-35
เปลือกถั่ว	25-30	25-30	30-40
ซังข้าวโพด	45	35	15
หญ้า	25-40	35-50	10.-35
ฟางข้าว	30	50	15
ใบไม้	15-20	80-85	0
ใยเมล็ดฝ้าย	80-95	5.-20	0
หญ้าคอสทอล เบอมีวดา	25	35.7	6.4
หญ้าสวิทซ์	45	31.4	12

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Reshamwala et al.,1995; Cheung and Anderson, 1997; Boopathy, 1998;

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุลิกโนเซลลูโลส

1) เซลลูโลส

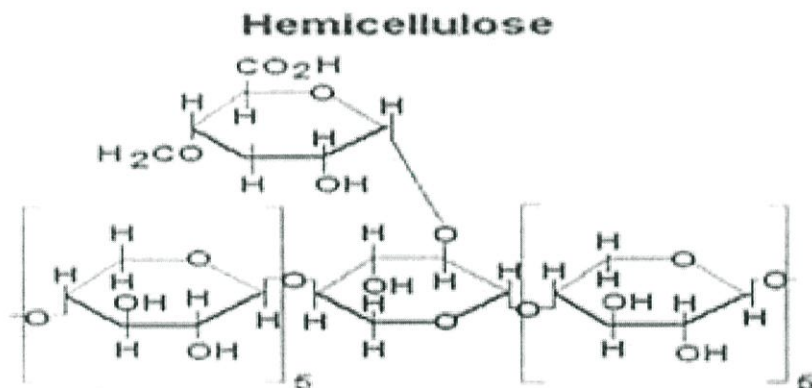
เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่มีมากในผนังเซลล์ของพืช โครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบไม่มีกิ่งก้านสาขาประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสหลายหน่วยมาต่อกันเป็นเส้นยาวด้วยพันธะแบบ $\beta(1-4)$ -glycosidic (ภาพที่ 2.2) เซลลูโลสจะไม่ละลายด้วยน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายต่างอ่อน แต่จะละลายในกรดและด่างแก่ เมื่อย่อยสลายโดยสมบูรณ์ด้วยกรดหรือเอนไซม์จะได้น้ำตาลกลูโคสอย่างเดียว แต่ถ้าย่อยสลายไม่สมบูรณ์จะได้เซลโลไบโอส (Cellobiose) ซึ่งเป็นน้ำตาลไดแซ็กคาไรด์ (Disaccharide) และได้โอลิโกแซ็กคาไรด์ (Oligosaccharide) (ณัตติยา, 2553) สายพอลิเมอร์แต่ละสายจะเรียงขนานกันและสร้างพันธะไฮโดรเจนเชื่อมต่อกัน ซึ่งอาจจะสูงถึง 3 พันธะต่อหน่วยกลูโคส แต่เมื่อรวมกันหลายสายจะเรียกว่าไมโครไฟบริล (microfibril) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบโครงผลึกสามมิติ ส่วนที่เป็นเซลลูโลสโครงสร้างแบบผลึก (crystalline) นั้นจะมีความคงทนต่อเอนไซม์และกรดมาก ส่วนที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนแต่มีการจัดเรียงตัวแบบสุ่มจะเรียกว่าเซลลูโลสแบบหลวม (amorphous)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส

2) เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยรวมอยู่กับลิกนิน และเซลลูโลส มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายต่าง เป็นเฮเทอโรโพลิเมอร์ของ น้ำตาลชนิดต่างๆ น้ำตาลที่ประกอบอยู่ภายในเฮมิเซลลูโลส ได้แก่ ไซโลส อะราบิโนส กลูโคส กาแลกโตส และแมนโนส เฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นพวกเฮเทโรไกลแคน (Heteroglycan) คือประกอบด้วย น้ำตาลชนิดต่างๆ กันตั้งแต่ 2-4 ชนิด ส่วนเฮมิเซลลูโลสชนิดที่ประกอบด้วยน้ำตาลชนิดเดียวเรียกว่า โฮโมไกลแคน (Homoglycan) โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสดังรูปที่ 2.3 เฮมิเซลลูโลสที่พบในธรรมชาติ จะแบ่งออกออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่พบในพืชม้วนเนื้อแข็ง จะประกอบไปด้วยเฮมิเซลลูโลสชนิดกลูคูโรโนไซแลน และกลูโคแมนแนน ในปริมาณร้อยละ 15-35 และ 2-5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ กลุ่มที่พบในไม้เนื้ออ่อนจะมีส่วนของเฮมิเซลลูโลสชนิดกาแลกโทกลูโคแมนแนน และอะราบิโนไซแลนใน ปริมาณร้อยละ 12-20 และ 5-14 โดยน้ำหนัก

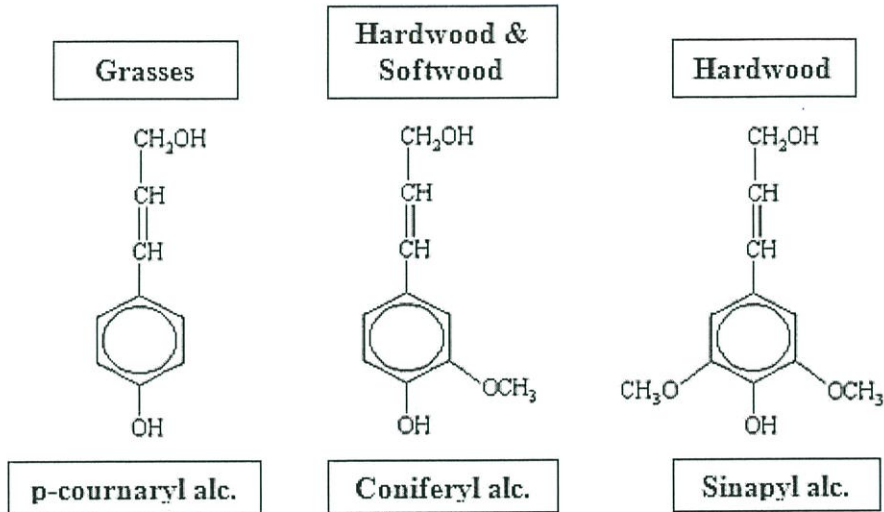


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

3) ลิกนิน

ลิกนิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอะโรมาติกลิกนิน ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิดเช่น ใน เอทานอลหรือเมทานอลที่ร้อนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่มีสมบัติทางการยึดหยุ่น

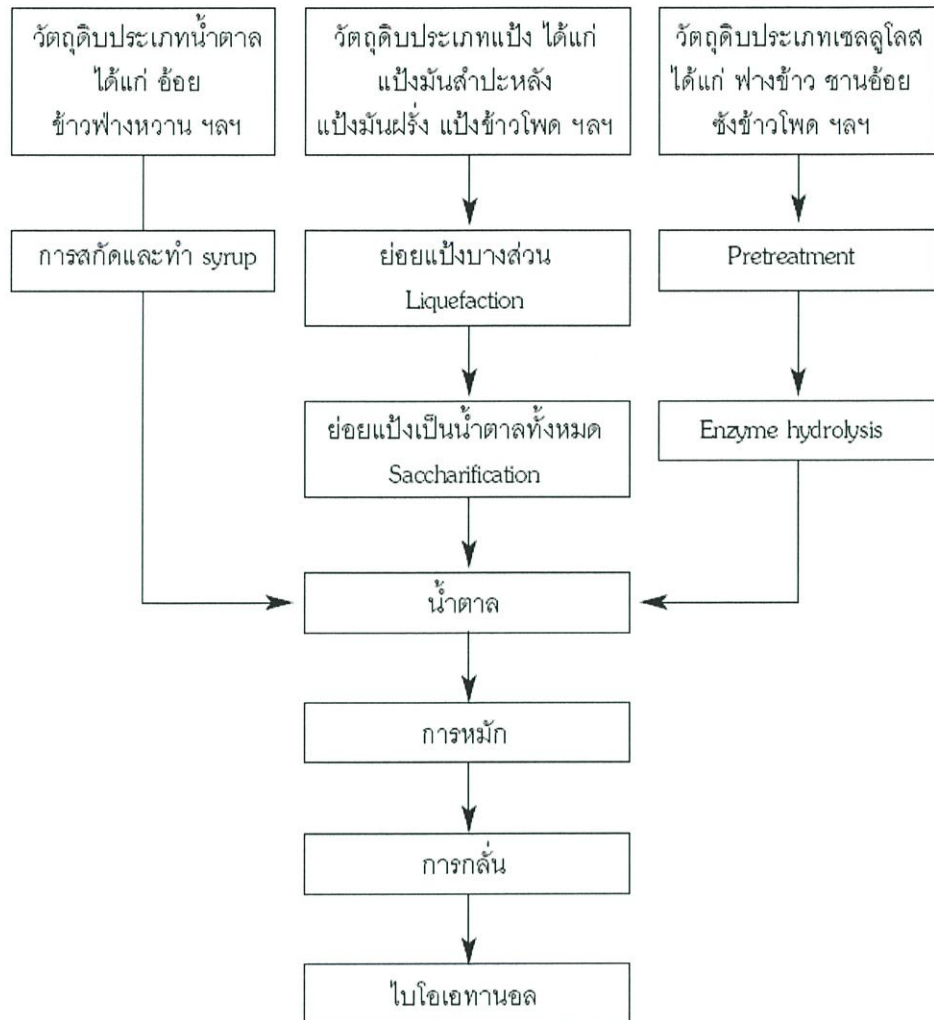
เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วย เอนไซม์ลิกเนส หรือลิกนินเนส ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ของสารประกอบอะโรมาติกหรือที่เรียกว่าเป็น พิโนลิกาโพลิเมอร์ โดยมีหน่วยเฟนิลโพรเพน (phenyl propane) ดังรูปที่ 2.4 เรียงต่อกันแบบสลับ ที่หน่วยฟีนอลอาจเป็นกัวอิลหรือไซรินกิล ที่ตำแหน่งแอลฟาและเบต้าของโมเลกุลลิกนินดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของลิกนิน

2.2 การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากวัสดุลิกโนเซลลูโลส

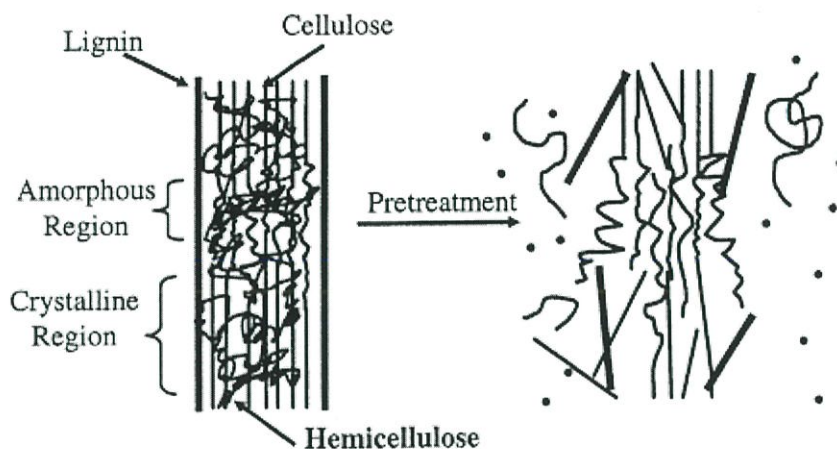
น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) คือ น้ำตาลที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde) หรือคีโตน (ketone) ที่เป็นอิสระอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลและถูกออกซิไดส์ได้ง่ายด้วยตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent) อย่างอ่อน ตัวอย่างของน้ำตาลกลุ่มนี้ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ทุกชนิด เช่น น้ำตาลกลูโคส (glucose) น้ำตาลกาแล็กโทส (galactose) น้ำตาลฟรุกโทส (fructose) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) บางชนิด เช่น น้ำตาลแล็กโทส (lactose) น้ำตาลมอลโทส (maltose) ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลสสามารถนำมาผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ ตัวอย่างของวัสดุลิกโนเซลลูโลสได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เศษไม้ พืชพลังงานต่างๆ ในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลสมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทานอลนั้นต้องนำมาผ่านกระบวนการปรับสภาพ และไฮโดรไลซิสด้วยกรด หรือ เอนไซม์เพื่อให้ได้น้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น น้ำตาลกลูโคส ไซโลส แมนโนส อะราบิโนส กาแล็กโตส ซึ่งน้ำตาลที่ได้จากวัสดุลิกโนเซลลูโลสสามารถนำเข้ากระบวนการหมักและกลั่นเพื่อให้ได้เอทานอลต่อไป ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การผลิตไบโอเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตรประเภทต่างๆ

2.2.1 การปรับสภาพวัสดุลิกโนเซลลูโลส (Pre-treatment)

กระบวนการปรับสภาพเบื้องต้น (pretreatment) เป็นกระบวนการกำจัดสารประกอบจำพวกลิกนินที่ห่อหุ้มเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสออกไป ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าไปย่อยเซลลูโลสได้มากขึ้น เพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลที่นำไปใช้ในการหมักต่อไป และมีจุดประสงค์เพื่อทำให้โครงสร้างที่เป็นผลึกหรือโครงสร้างระเบียบ (crystalline) ของเซลลูโลสและลิกนินที่ติดอยู่แตกออก ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การปรับสภาพเพื่อทำลายโครงสร้างที่แข็งแรงของลิกโนเซลลูโลส
ที่มา: Mosier และคณะ (2005)

โดยวิธีการปรับสภาพเบื้องต้นนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 วิธี (ประเวทย์ และคณะ, 2551) ดังนี้

1) การปรับสภาพทางกายภาพ (Physical pretreatment)

เป็นการลดขนาดของวัตถุดิบชีวมวล และทำให้เส้นใยเซลลูโลสแตกออก ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อให้เอนไซม์เซลลูเลสสามารถเข้าไปไฮโดรไลซ์ทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น และเพื่อลดโครงสร้างของเซลลูโลสที่เป็นโครงสร้างแบบผลึก โดยทำให้วัสดุมีขนาดเล็กลงด้วยการบด การตัด การสั่น เป็นต้น ซึ่งขนาดของวัสดุที่ได้จากการตัดจะมีขนาด 10-30 มิลลิเมตรและหลังจากการม่หรือบดจะมีขนาด 0.2-2 มิลลิเมตร นอกจากนี้การลดขนาดของวัตถุดิบทำให้เกิดการเพิ่มพื้นที่ผิวและลดจำนวนโมโนเมอร์ เฉลี่ยโมโนเลกุลของโพลีเมอร์ หรือองศาของการเกิดโพลีเมอร์โดยปัจจัยเหล่านี้จะทำให้การย่อยลิกโนเซลลูโลสเกิดได้ดีขึ้น 5-25% (วนิดา, 2553)

2) การปรับสภาพทางกายภาพร่วมกับเคมี (Physicochemical pretreatment)

การรวมกันระหว่างวิธี chemical และ physical treatment มีส่วนสำคัญในการละลายน้ำของเฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่ถูกแปลงโครงสร้างแล้วเป็นผลทำให้การแตกตัวของเซลลูโลสในขั้นตอน hydrolysis เพิ่มขึ้น

- การระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam explosion)

วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการปรับสภาพวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส (McMillan, 1994) การระเบิดด้วยไอน้ำโดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้อุณหภูมิช่วง 160-260 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 0.69-4.82 เมกะพาสคาล วัตถุดิบจะถูกผสมกับไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันสูง แล้วทำการลดความดันอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดการแยกเอาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินออกจากกันที่อุณหภูมิสูง ปัจจัยที่มีผลในกระบวนการปรับสภาพด้วยวิธีนี้คือเวลาที่ใช้อุณหภูมิ ขนาดของวัสดุตั้งต้นที่ใช้และปริมาณความชื้นที่อยู่ในวัตถุดิบ ข้อดีของวิธีการปรับสภาพด้วยวิธีนี้คือมีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ด้วยวิธีทางกล

- การใช้น้ำร้อน (Liquid hot water)
เป็นการใช้น้ำร้อนแทนไอน้ำ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อสลายเอมิเซลลูโลส ทำให้เข้าถึงเซลลูโลสได้ดีขึ้นและทำให้การย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้น 2-5 เท่า (Hendriks and Zeeman, 2009)

- การระเบิดด้วยสารละลายเบสเจือจาง ได้แก่

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้มากที่สุด สามารถกำจัดลิกนินได้ดี เนื่องจาก NaOH เป็นเบสแก่ ซึ่งในบางครั้ง NaOH ไม่ได้กำจัดลิกนินออกไปเพียงอย่างเดียว แต่อาจทำลายเอมิเซลลูโลสและเซลลูโลสบางส่วนออกไปด้วย ดังนั้นการใช้ NaOH จึงจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมกับพืชชนิดนั้น ๆ ผลผลิตที่ได้จึงจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด

- แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH₄OH) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ไม่น้อยไปกว่า NaOH แต่เนื่องจาก NH₄OH เป็นเบสอ่อนจึงต้องใช้เวลาในการกำจัดลิกนินนานกว่าเล็กน้อย แต่ปัญหาที่พบจากการใช้ NH₄OH คือการกำจัดลิกนินออกไม่หมดและอาจมีกลิ่นของแก๊สแอมโมเนียที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายลิกนิน (Gupta and Lee, 2010)

- โซเดียมซัลไฟด์ (Na₂S) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้น้อยที่สุด แต่เป็นสารที่กำจัดลิกนินได้ดีที่สุด โดยที่ Na₂S จะมีความจำเพาะเจาะจงกับลิกนินเท่านั้น โดยจะไม่มีผลต่อเอมิเซลลูโลสและเซลลูโลส เหตุผลที่นิยมใช้ Na₂S ก่อนข้างน้อยก็อาจเนื่องมาจากกลิ่นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายลิกนิน แต่อย่างไรก็ตาม Na₂S ยังคงใช้ในระดับอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องกำจัดลิกนินออกเท่านั้น

3) การปรับสภาพทางเคมี (Chemical pretreatment)

- การทำปฏิกิริยากับโอโซน (Ozonolysis) โอโซนเป็นตัวออกซิแดนต์ที่มีประสิทธิภาพและสามารถทำให้เกิดการแตกตัวของลิกนินและเอมิเซลลูโลสได้ วิธีนี้มีจุดเด่นคือ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเอาลิกนินออกได้ดี ไม่มีสารพิษที่จะไปยับยั้งการทำปฏิกิริยาในส่วนต่างๆ กระบวนการนี้สามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ผลเสียของวิธีนี้คือค่าใช้จ่ายที่สูงมาก (Sun and Cheng, 2002)

- การปรับสภาพด้วยกรด (acid hydrolysis) กระบวนการปรับสภาพโดยการใช้กรดนั้นมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้น้ำตาลในปริมาณที่สูงจากวัสดุลิกโนเซลลูโลส ชนิดของกรดที่นำมาปรับสภาพมีมากมายหลายประเภทได้แก่ กรดซัลฟิวริกไฮโดรคลอริก ไนตริก หรือ ฟอสฟอริก ในกระบวนการแปลงสภาพสามารถใช้ได้ทั้งกรดเข้มข้น และเจือจางเพื่อเพิ่มการทำงานของกระบวนการไฮโดรไลซิส การใช้กรดเจือจางเพื่อปรับสภาพวัสดุที่อุณหภูมิที่เหมาะสมโดยใช้กรดซัลฟิวริกหรือกรดฟอสฟอริกมักจะถูกใช้สำหรับการเปลี่ยนวัสดุลิกโนเซลลูโลส ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเอมิเซลลูโลส ไปเป็นน้ำตาลที่ละลายได้ตามด้วยการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อให้เกิดเป็นกลูโคส ในการปรับสภาพจากการใช้วัสดุลิกโนเซลลูโลสเป็นสารตั้งต้น นอกจากนั้นความเข้มข้นของกรดและอุณหภูมิที่ใช้เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิดสารที่เป็นพิษ อุณหภูมิที่เหมาะสม (<160 °C) ได้มีการพิสูจน์ว่าเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอมิเซลลูโลส ในอีกด้านหนึ่งเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 160 °C จะมีผลต่อเซลลูโลสมากกว่าซึ่งพบว่าจะมีการเกิดปริมาณน้ำตาลที่สูงและมีการสลายส่วนประกอบของลิกนิน (McMillan และคณะ) หลังจากทำการปรับสภาพจำเป็นต้องปรับ pH ให้เป็นกลางเพื่อไม่ให้ขัดขวางการทำงานในขั้นตอนต่อไป การใช้ต่างเจือจางในวัสดุลิกโนเซลลูโลสเป็นการเพิ่มรูพรุนของวัตถุดิบและเป็นการทำลายโครงสร้างของลิกนินอีกด้วย

- การปรับสภาพด้วยด่าง (alkaline hydrolysis) กลไกการทำงานของด่างนั้น เชื่อว่าจะไปเพิ่มการพองตัวของใยในโมเลกุลใยในต่อสายพันธะภายในของไซแลนในเฮมิเซลลูโลส ความพรุนของวัสดุจะเพิ่มขึ้นได้เมื่อทำการกำจัดสายโซ่ที่เชื่อมต่อกันภายใน การใช้ด่างเจือจางในวัสดุลิกโนเซลลูโลสมีผลทำให้เกิดการบวมภายใน เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยา ทำให้วัสดุมีความพรุนเพิ่มขึ้นได้ ลดความเป็นโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส ลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ และสามารถแยกสายโครงสร้างระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรต และเป็นการแยกองค์ประกอบหรือทำลายโครงสร้างของลิกนิน อย่างไรก็ตามการใช้ด่างเพื่อปรับสภาพมักจะไม่ค่อยมีผลต่อวัสดุพวกไม้เนื้ออ่อนเท่าไม้เนื้อแข็ง สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับสภาพด้วยด่างคือโซเดียมไฮดรอกไซด์และปูนขาว

4) การปรับสภาพทางชีวภาพ (Biological pretreatment)

จุลินทรีย์สามารถใช้ในการปรับสภาพวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสและยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์ ในการใช้จุลินทรีย์ในการปรับสภาพสามารถย่อยลิกนินรวมทั้งย่อยเฮมิเซลลูโลสด้วย ส่วนเซลลูโลสถูกย่อยน้อยมากซึ่งเซลลูโลสมีความต้านทานในการถูกจุลินทรีย์ย่อยได้มากกว่าส่วนอื่นๆ ของลิกโนเซลลูโลส มีการใช้จุลินทรีย์ Brown-, White-, และ soft-rot fungi ในการปรับสภาพวัตถุดิบ White-rot fungi อาทิเช่น *Phanerochaete chrysosporium*, *Ceriporia lacerata*, *Cyathus stercoleris*, *Ceriporiopsis subvermispora*, *Pycnoporus cinnabarinus* และ *Pleurotus ostreus* เป็นจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

2.2.2 การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

การย่อยสลาย คือการย่อยสลายเซลลูโลสเฮมิเซลลูโลส และลิกนินดั่งนั้นเมื่อทำการย่อยเซลลูโลสจะได้น้ำตาลออกมา โดยถ้าการย่อยเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จะได้น้ำตาลกลูโคสอย่างเดียว แต่ถ้าการย่อยเกิดไม่สมบูรณ์จะเกิดทั้งกลูโคส เซลโลไบโอส และโอลิโกแซคคาไรด์ ส่วนเฮมิเซลลูโลสนั้นจะได้น้ำตาลหลายชนิดปะปนกัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของน้ำตาลในเฮมิเซลลูโลส รวมทั้งสารอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากการย่อย สำหรับการย่อยมี 2 วิธีได้แก่ วิธีการย่อยด้วยกรด และวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์

1) การไฮโดรไลซิสด้วยกรด (acid hydrolysis)

การย่อยสลายด้วยกรดเป็นการใช้กรดเจือจางภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง หรืออาจจะเพิ่มความเข้มข้นของกรดขึ้นเพื่อลดอุณหภูมิและความดันให้ต่ำลง โดยจะทำลายพันธะไกลโคซิดิกระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 กับออกซิเจนอะตอม ส่วนใหญ่การย่อยสลายแบบนี้ต้องการสภาวะที่รุนแรง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยกรดเจือจางจะต้องนำไปทำปฏิกิริยาสะเทินก่อนกระบวนการหมัก แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงหลายชนิดเช่น เฟอร์ฟูรัล ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล ที่เกิดจากการกำจัดน้ำของน้ำตาลโดยเฉพาะน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลคาร์บอน 5 อะตอม ซึ่งในระยะยาวสารเหล่านี้จะมีความเป็นพิษสูง จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าภายใต้สภาวะที่ถูกควบคุม การไฮโดรไลซิสด้วยกรดของวัสดุลิกโนเซลลูโลสจะสามารถผลิตไซโลสจากไซแลน โดยที่จะไม่เปลี่ยนเซลลูโลส และบางส่วนของลิกนิน (ยังเหมือนเดิม) ไซแลนจะเป็นส่วนที่ไวต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแม้มีปริมาณกรดน้อยเนื่องจากมันมีโครงสร้างเป็นแบบอะมอฟัส เมื่อเปรียบเทียบกับเซลลูโลสที่ต้องใช้สภาวะที่รุนแรงกว่าเนื่องจากมันเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก

2) การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ (enzyme hydrolysis)

ลิกโนเซลลูโลสมีองค์ประกอบสำคัญคือ เซลลูโลสซึ่งเซลลูโลสมีโครงสร้างที่เป็นกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-Glucosidic linkage ดังนั้นจึงใช้เอนไซม์กลุ่มเซลลูเลสในการย่อยสลายเซลลูโลส ปกติแล้วปฏิกริยานี้จะเกิดภายในอุณหภูมिर่างกาย ในการย่อยสลายจึงต้องใช้เอนไซม์หลายชนิด เนื่องจากเอนไซม์นั้นมีความจำเพาะเจาะจงในการทำปฏิกริยาสูง เช่น เอนไซม์ endocellulase จะย่อยเซลลูโลสโครงสร้างผลึกให้เป็นเซลลูโลสสายโซ่ ส่วนเอนไซม์ exocellulase จะย่อยเซลลูโลสสายโซ่ให้เป็นเซลลูบิโอส และ β -glucosidase จะย่อยเซลลูบิโอสให้เป็นกลูโคส

3) ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกริยาไฮโดรไลซิส

- อุณหภูมิ

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกริยาไฮโดรไลซิสที่สำคัญคืออุณหภูมิ เนื่องจากปฏิกริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดได้ต้องอาศัยความร้อนเพื่อทำให้น้ำเข้าทำลายพันธะของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซิสเฮมิเซลลูโลสคือ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสคือ 250 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลทำให้น้ำตาลที่ไฮโดรไลซิส ออกมาได้ถูกทำลายไป แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิสมีปริมาณน้อยมาก (นันทิชา และคณะ, 2554)

- ความดัน

ในปฏิกริยาไฮโดรไลซิสความดันที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามอุณหภูมิที่ให้กับเครื่องปฏิกรณ์ความดันมีผลคือถ้าความดันมีค่าสูงขึ้น จะมีผลทำให้ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสเกิดได้ดีขึ้น แต่สามารถเพิ่มความดันได้ถึงช่วง 35-40 บาร์ เท่านั้น ซึ่งความดันนี้เกิดขณะที่อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าอยู่ในช่วง 242 ถึง 250 องศาเซลเซียส เพราะถ้าเพิ่มความดันมากกว่านี้จะมีผลทำให้น้ำตาลที่ได้จากปฏิกริยาไฮโดรไลซิสถูกทำลาย

- ความเข้มข้นของสารละลายกรด

ในปฏิกริยาไฮโดรไลซิสต้องอาศัยสารละลายกรดเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกริยา เพื่อให้ปฏิกริยาเกิดได้ง่ายและมากขึ้น เนื่องจากถ้าไม่มีตัวเร่งปฏิกริยามีผลทำให้ปฏิกริยาเกิดได้น้อย และช้ากว่าการมีตัวเร่งปฏิกริยา การใช้สารละลายกรดเจือจางที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะมีผลทำให้เกิดปฏิกริยาได้ดีขึ้น แต่ความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ควรใช้คือ 0.5 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเท่านั้น ถ้าใช้มากกว่านี้อาจจะกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์ได้ และมีผลทำลายน้ำตาลที่ได้อีกด้วยกรดที่นิยมใช้ เช่น กรดอะซิติก กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น

- เวลา

ถ้าเพิ่มเวลาในปฏิกริยาไฮโดรไลซิสให้มากขึ้น ปริมาณน้ำตาลที่ได้ออกมาจากปฏิกริยาไฮโดรไลซิสก็จะมากตามไปด้วย เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสถูกทำลายพันธะมากขึ้น

- พื้นที่ผิว

ขนาดของวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ใช้ในปฏิกริยาไฮโดรไลซิสมีผลต่อปริมาณน้ำตาลที่ได้เนื่องจากขนาดของวัสดุยิ่งเล็กก็ยิ่งมีผลทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกริยาไฮโดรไลซิสมากขึ้นและปริมาณน้ำตาลที่ได้จากปฏิกริยาไฮโดรไลซิสก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

2.3 เผือก

ชื่อสามัญ	เผือก (Taro)
ชื่อวงศ์	Aracea
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Colocacia esculenta</i> (L) Schott
ชื่ออื่น	เผือกหอม เผือกเหลือง เผือกไม้หรือเผือกไหหลำ เผือกตาแดง

เผือกเป็นพืชหัวที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิดทั้งคาวและหวาน การอุตสาหกรรมแปรรูปในประเทศไทย คนไทยส่วนใหญ่จะนิยมบริโภคเผือกในรูปขนมหวานชนิดต่างๆ เช่น เผือกเชื่อม เผือกกวน เผือกทอด เผือกฉาบ บัวลอยเผือก ข้าวเหนียวเผือก ขนมปังไส้เผือก ไอศกรีมเผือก และอาหารประเภทขบเคี้ยว ซึ่งเป็นอาหารว่างเป็นต้น (มาลินี และคณะ, 2545)

ปัจจุบันเผือกเป็นพืชหัวเศรษฐกิจที่มีศักยภาพในการส่งออก โดยส่งออกทั้งในรูปหัวเผือก ก้านใบเผือกและใบเผือก ในปี 2543 ประเทศไทยมีการส่งออกหัวเผือกประมาณ 1,039 ตัน คิดเป็นมูลค่า 14.8 ล้านบาท ตลาดต่างประเทศที่สำคัญของเผือกมีประเทศญี่ปุ่น ฮองกง ออสเตรเลีย มาเลเซีย สิงคโปร์ และเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น จังหวัดที่เป็นแหล่งปลูกเผือกได้แก่ เชียงใหม่ นครสวรรค์ พิษณุโลก สุโขทัย เพชรบูรณ์ นครราชสีมา สระบุรี สิงห์บุรี นครปฐม ราชบุรี สุพรรณบุรี เพชรบุรี กาญจนบุรี นครนายก ปราจีนบุรี และชุมพร

2.3.1 ชนิดของเผือก

นักพฤกษศาสตร์ได้แบ่งเผือกออกเป็น 2 ชนิด คือ ซี แอนทิควอรัม (*C.antiquorum*) กับ ซี เอสคูเลินตา (*C.esculenta*) เมื่อตรวจสอบลักษณะอย่างละเอียดแล้วจึงจัดเผือกสองชนิดเข้าไว้ด้วยกัน เรียกว่า ซี เอสคูเลินตา แตกต่างกันที่พันธุ์เท่านั้น ปัจจุบันแบ่งเผือกออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

1.เอ็ดโด (eddoe) ประเภทนี้ได้แก่ *C.esculenta* var. *antiquorum* หรือ *C.esculenta* var. *glubulifera* คือ เผือกที่มีหัวไม้ใหญ่และมีหัวเล็กกว่าล้อมรอบหลายหัว ทุกหัวรับประทานได้และใช้ทำพันธุ์ได้

2.แดชีน (dasheen) ประเภทนี้ได้แก่ *C.esculenta* var. *esculenta* คือ เผือกที่มีหัวขนาดใหญ่และมีหัวเล็กๆ ล้อมรอบ หัวใหญ่ใช้รับประทาน ส่วนหัวเล็กมักใช้ทำพันธุ์สำหรับเพาะปลูก เช่น เผือกหอมซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันโดยทั่วไป

เผือกในเมืองไทยมีผู้จำแนกไว้ 4 ชนิด

1. เผือกหอม เป็นชนิดหัวใหญ่ หนักหัวละประมาณ 2-3 กิโลกรัม มีหัวเล็กติดอยู่กับหัวใหญ่เล็กน้อย ต้มรับประทานมีกลิ่นหอม กาบใบใหญ่สีเขียว

2. เผือกเหลือง หัวขนาดย่อม หัวสีเหลือง

3. เผือกไม้หรือเผือกไหหลำ หัวมีขนาดเล็ก

4. เผือกตาแดง ที่ตาของหัวมีสีแดงเข้ม มีหัวเล็กๆ ติดอยู่รอบหัวใหญ่เป็น

กลุ่มจำนวนมาก กาบใบและเส้นใบสีแดง

2.3.2 ลักษณะทั่วไปของเผือก

เผือกเป็นพืชมีอายุอยู่ได้หลายฤดู ลำต้นใต้ดินเจริญเติบโตกลายเป็นหัวและจะมีหัวเล็กๆ ล้อมรอบ หัวเผือกจะมีขนาดและรูปร่างต่างกันออกไป แต่โดยทั่วไปจะมีรูปร่างตามรูปที่ 2.7

ปกติต้นสูง 0.4-2 เมตร ใบใหญ่เป็นรูปหัวใจ มีขนาด และสีที่แตกต่างกันไป ใบเกิดจากใต้ดิน ดอกปกติประกอบด้วย 2-5 ช่อดอกอยู่ในก้านใบ ช่อดอกมีก้านยาว 15-30 เซนติเมตร ดอกบานทยอยกันเรื่อยๆ ดอกตัวเมียมักจะไม่มีดอก ตัวผู้หนึ่งดอกมีก้านเกสรตัวผู้ 2-3 อัน ผลมีสีเขียว เปลือกบาง ไม่ค่อยมีเมล็ด (ดารารวรรณ, 2549) ต้นเผือกมีลักษณะโดยทั่วไปดังนี้

- ลำต้น เผือกเป็นพืชหัวที่มีลำต้นใต้ดินสะสมอาหารเรียกว่าหัว ซึ่งเกิดจากการขยายของลำต้นใต้ดินพร้อมกับความยาวของปล้องลดลง เมื่อหัวมีขนาดใหญ่จะมีรากช่วยดึงหัวให้ลึกลงในดิน ที่ปลายรากเหล่านี้จะพองโตขึ้นเป็นหัวย่อยที่มีขนาดเล็กหรือเรียกว่าลูกเผือก ซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยยึดลำต้นช่วยดูดน้ำและแร่ธาตุ และสามารถใช้เป็นส่วนที่ขยายพันธุ์ได้

- ใบ มีรูปร่างคล้ายหูช้างหรือคล้ายหัวใจ ขนาดใบกว้างประมาณ 25-30 เซนติเมตร ยาว 35-45 เซนติเมตร ก้านใบยาว 45-150 เซนติเมตร เผือกต้นหนึ่งจึงก้านใบประมาณ 12-18 ก้าน สีของใบ ลักษณะใบและขอบใบจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์

- ดอก มีลักษณะเป็นดอกช่อ มีตอนย่อยเกาะติดกับก้านดอกเดียวกัน ดอกย่อยจะเริ่มบายจากดอกที่อยู่ล่างสุดขึ้นไปทางปลายช่อ ไม่มีก้านดอกย่อย ดอกจะเกาะติดกับก้านดอกเดี่ยวซึ่งลักษณะยาวและมีจานหุ้มช่อดอกไว้ ช่อดอกมีขนาดยาว 15-30 เซนติเมตร ดอกเผือกมีสีขาวยุติและสีเหลืองอ่อน แตกต่างกันไปตามพันธุ์ บางพันธุ์ออกดอกง่ายแต่บางพันธุ์ออกดอกยาก เผือกที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่จะไม่ออกดอก

- ผล ผลมีขนาดเป็นผลเล็กๆ เกาะกลุ่มกันอยู่ในก้านดอกเดียวกัน ผลมีสีเขียวเปลือกบาง เนื้อผลอวบน้ำ เมื่อแก่มีสีน้ำตาลดำภายในผลจะมีเมล็ดเล็กๆ อยู่เป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2.7 ลักษณะของหัวเผือก

2.3.3 แป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 แป้งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่เกิดจากกลูโคส มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางปลายของสายพอลิเมอร์ มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่าปลายรีดิวซิง (reducing end group) แป้งประกอบไปด้วยพอลิเมอร์

ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกทิน) แป้งมีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$

2.3.4 ประโยชน์ของเผือก

ใบ ก้านใบ และยอดของต้นเผือกสามารถนำมารับประทานเป็นผักได้ โดยก้านใบสามารถนำมาใช้ประกอบอาหารได้หลายอย่าง เช่น ทำแกง หรือนำไปทำเป็นผักดอง โดยคุณค่าทางโภชนาการของใบต่อ 100 กรัม ประกอบไปด้วยวิตามินเอ 20,885 หน่วยสากล, วิตามินซี 142 มิลลิกรัม และคุณค่าทางโภชนาการของยอด ต่อ 100 กรัม ประกอบไปด้วยวิตามินเอ 335 หน่วยสากล, วิตามินซี 8 มิลลิกรัม หัวเผือกสามารถนำมาใช้ทำเป็นอาหารคาว หวาน ได้หลายอย่าง เช่น เผือกเชื่อม เผือกทอด เผือกทรงนก เผือกเส้นกรอบเค็ม เผือกกวน เผือกบวดซี เผือกฉาบ เผือกอบเนย เผือกหิมะ แกงบวดเผือก ขนมบัวลอยเผือกมะพร้าวอ่อน สังขยาเผือก ข้าวอบเผือก ข้าวเหนียวปิ้งใส่เผือก เค้กเผือก หม้อแกงเผือก เม็ดขนุนเผือก ขนมเผือก ขนมกุยช่ายใส่เผือกหรือนำไปใช้กวนเป็นไส้ขนมต่าง ๆ หรือใช้ทำเป็นซูปเผือกปลาเกะพง หัวปลาเผือกหม้อไฟ ข้าวต้มเผือก เผือกทรงเครื่อง ฯลฯ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ทำเป็นแป้งเผือกเพื่อใช้ทำขนมต่าง ๆ เช่น ขนมปัง หรือทำอาหารทารก ทำเครื่องดื่ม ฯลฯ หรือใช้เป็นอาหารเพื่อป้องกันโรคแพ้อาหารของเด็กทารก และใช้แทนธัญพืชในการรักษาโรคเกี่ยวกับกระเพาะลำไส้ ในทางการเกษตรได้นำโยมาต้มให้หมูกิน หัวเผือกเป็นอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง มีโปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม วิตามินบี1 วิตามินซี และสารอาหารอื่น ๆ เกือบครบทุกชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (แม้ว่าจะมีปริมาณไม่สูงมากนัก) เผือกจึงเป็นอาหารที่ให้พลังงานและบำรุงสุขภาพไปพร้อมกัน มีรสหวานจัดอมมันนิคหนอย ย่อยได้ง่าย เหมาะทั้งเด็ก ผู้ใหญ่ และผู้สูงอายุ (แต่ไม่เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก เพราะเผือกมีแคลอรีสูง) แต่ก็ควรรับประทานในปริมาณที่เหมาะสมจึงจะเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ในสมัยก่อนเวลาเดินป่า มักจะขุดหัวเผือก มารับประทานเป็นอาหารเพราะช่วยให้อิ่มได้เหมือนกับรับประทานข้าว โดยคุณค่าทางโภชนาการของหัวเผือกเฉพาะส่วนที่กินได้ต่อ 100 กรัม ทางกรมส่งเสริมการเกษตรได้ระบุไว้ว่า ให้พลังงาน 117 กิโลแคลอรี, คาร์โบไฮเดรต 26.8 กรัม, โปรตีน 2.1 กรัม, ไขมัน 0.1 กรัม, วิตามินบี1 0.15 มิลลิกรัม, วิตามินบี2 0.04 มิลลิกรัม, วิตามินบี3 1 มิลลิกรัม, วิตามินซี 2 มิลลิกรัม, แคลเซียม 84 มิลลิกรัม และฟอสฟอรัส 54 มิลลิกรัม

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จักรพงษ์ และคณะ (2555) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยลำต้นธูปฤๅษีด้วยกรดเพื่อการผลิตเอทานอลโดยปรับสภาพลำต้นธูปฤๅษีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที เพื่อกำจัดลิกนิน พบว่า Kappa number มีค่าเท่ากับ 3.55 ปริมาณลิกนินลดลงเหลือ 0.67 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง จากนั้นนำมาย่อยด้วยกรด ปัจจัยที่ศึกษาคือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก 1-10 เปอร์เซ็นต์ ใช้อัตราส่วนลำต้นธูปฤๅษีต่อกรด 1 : 20 น้ำหนักต่อ ปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 0-10 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยลำต้นธูปฤๅษีที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดคือ การย่อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 10 ชั่วโมงได้น้ำตาลรีดิวซ์ 3.62 กรัมต่อลิตร

นันทิกา และคณะ (2556) ศึกษาการผลิตน้ำตาลรีตีวซ์จากซางข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด โดยทำการปรับสภาพซางข้าวฟ่างหวานด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเพื่อกำจัดลิกนิน พบว่ามีปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็น 90.37 และมีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลงเป็น 5.97 และ 3.56 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากนั้นนำซางข้าวฟ่างหวานที่ผ่านการปรับสภาพแล้วมาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลรีตีวซ์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลรีตีวซ์คือการใช้ไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 21.44 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโดยปริมาตร เวลาที่ใช้ 72.34 นาทีและสัดส่วนของซางข้าวฟ่างหวานต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 1:19.3 กรัมต่อมิลลิลิตรจะได้ปริมาณน้ำตาลรีตีวซ์เท่ากับ 34.97 เปอร์เซ็นต์กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

นุจริย และอนงนาฏ (2555) ศึกษาการสกัดน้ำตาลกลูโคสจาก ใบอ้อยด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส โดยใช้สารเคมีในการศึกษา 2 ชนิดคือกรดซัลฟิวริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการใช้กรดไฮโดรไลซิสจะทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมากกว่าการใช้ต่างในการไฮโดรไลซิส ซึ่งปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุดที่ได้จากการไฮโดรไลซิสด้วยกรดมีมากถึง 109.6 กรัมต่อลิตร

รัชพล (2554) ศึกษาการเตรียมไฮโดรไลสจากผักตบชวาโดยการใช้หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงร่วมกับการปรับสภาพทางเคมี ในการปรับสภาพเพื่อแยกลิกนินออกจากผักตบชวาใช้ 3 วิธีที่แตกต่างกัน คือแช่ด้วยน้ำเปล่า แช่สารละลายต่าง และแช่สารละลายกรด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถกำจัดลิกนินและไม่ทำให้ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเสียไปคือสภาวะที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเป็นวิธีปรับสภาพที่ดีที่สุด โดยพบว่าเซลลูโลสร้อยละ 47.38 โดยน้ำหนัก และเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 23.16 โดยน้ำหนักและปริมาณลิกนินเหลืออยู่เพียงร้อยละ 3.17 โดยน้ำหนัก

Lloyd and Wyman (2005) ได้ศึกษาการปรับสภาพของเปลือกข้าวโพดด้วยการใช้ความร้อนร่วมกับกรดเจือจาง ใช้กรดซัลฟิวริกกรดในช่วงความเข้มข้น 0.22%, 0.49%, และ 0.98% w/w ที่อุณหภูมิ 140, 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าน้ำตาลกลูโคสเพิ่มสูงสุด 56% ของปริมาณน้ำตาลรวม ปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสม คือ 60% เมื่อกลูโคสถูกปล่อยออกมาระหว่างการปรับสภาพพร้อมกับปริมาณ ไซโลส จะได้น้ำตาลสูงสุด 34% ของปริมาณน้ำตาลรวม

Sun and Cheng (2005) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเอทานอล จากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส พวกหญ้าแห้ง และ Bermuda grass เนื่องจากพืชเหล่านี้ประกอบด้วยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในปริมาณที่สูง นำไปผลิตเอทานอลได้ โดยปรับสภาพวัตถุดิบก่อนเข้ากระบวนการโดยใช้กรดเจือจาง หาค่าสภาวะที่เหมาะสมตั้งแต่ 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5% ของซัลฟิวริกเข้มข้น ที่เวลา 30, 60 และ 90 นาที โดยอัตราของแข็งที่ได้มีค่า 10% และถูกปรับสภาพที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของกรด และเวลาที่ทำปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของน้ำตาลกลูโคส

Zhang et al. (2011) ได้ศึกษาถึงการลดต้นทุนในการผลิตน้ำตาลรีตีวซ์ พบว่าต้องเข้าใจกระบวนการคือ การปรับสภาพซางและการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ในการปรับสภาพซางข้าวได้มีการใช้สารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณเซลลูโลสได้ร้อยละ 54.83 และลดปริมาณเฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้ร้อยละ 61.07 และ 36.24 ตามลำดับ จากนั้นนำซางข้าวไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron

Microscopy) โดยจะสังเกตจากส่วนของเนื้อเยื่อ ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของฟางข้าวหลังจากการปรับสภาพ พบว่าพื้นที่ผิวภายนอกและรูพรุนของฟางข้าวเพิ่มมากขึ้น จากนั้นนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว เข้าสู่กระบวนการ Saccharification โดยใช้ *Trichoderma reesei* ZM4-F3 ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายฟางข้าวคือ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.5 และรอบในการเขย่า 180 รอบต่อนาที หลังจากทำการย่อยสลายเป็นเวลา 96 ชั่วโมง สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 2.231 กรัมต่อลิตร

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace) รุ่น Centroller P320 บริษัท Nabertherm
2. ตู้อบ (Oven) รุ่น UN55 บริษัท Memmert
3. เครื่องยววิ-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Gencsys105uv-vis

บริษัท Thermo Scientific

4. เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น ML204/01 บริษัท Mettler Toledo
5. เครื่องย่อย (Reflux) รุ่น BE6 250ml บริษัท FALC instrument
6. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)
7. โถดูดความชื้น (Desiccator)
8. เตาให้ความร้อน (Hotplate)
9. ตู้ดูดควัน (Hood)
10. ตะแกรงร้อน
11. เทอร์โมมิเตอร์
12. ปริภัณฑ์เครื่องแก้วและพลาสติก

3.1.2 สารเคมี

1. คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) , AR grade, Carlo Erba
2. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) , AR grade, Carlo Erba
3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40%
4. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 N
5. โพแทสเซียมไฮโดรเจนทราเทรต ($\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$), AR grade)
6. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์
7. สกรีนเมทิลเรดอินดิเคเตอร์
8. กรดบอริกเข้มข้น 4% (w/v)
9. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% (w/v)
10. ปีโตรเลียมอีเทอร์ จุดเดือด 35-60°C
11. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 1.25%
12. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1.25%
13. กลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), AR grade, Carlo Erba
14. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), AR grade, Carlo Erba
15. โพแทสเซียมโซเดียมทราเทรต ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$), AR grade, Carlo Erba
16. กรดไดไนโตรซาลิซิลิก (3,5-dinitrosalicylic), AR grade, Carlo Erba
17. โซเดียมลอริลซัลเฟต, ($\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$), AR grade, Carlo Erba
18. ไดโซเดียมเอทิลีนไดอามีนเตตระอะซิเตต (EDTA), AR grade, Carlo Erba

19. โซเดียมบอเรตเดคาไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), AR grade, Carlo Erba
20. แอนไฮดรัสไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4 anhydrous), AR grade
21. ไตรเอทิลีนไกลคอล ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_4$), AR grade, Acros
22. แอนไฮดรัสโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3 anhydrous), AR grade
23. อะซีโตน ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), AR grade, Carlo Erba
24. กรดซัลฟิวริก 96% (H_2SO_4), AR grade, Carlo Erba
25. เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB), AR grade, Acros
26. กรดซัลฟิวริก 96% (H_2SO_4), AR grade, Carlo Erba

3.2 วัตถุประสงค์และการเตรียมตัวอย่าง

เปลือกเผือกที่ใช้ในการศึกษาได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทเพรซิเดนท์ เบเกอร์ จำกัด (มหาชน) เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ การเตรียมตัวอย่างด้วยการนำเปลือกเผือกมาล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด ตากแดดให้แห้ง และนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช เก็บตัวอย่างในถุงพลาสติกที่ปิดมิดชิด และใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

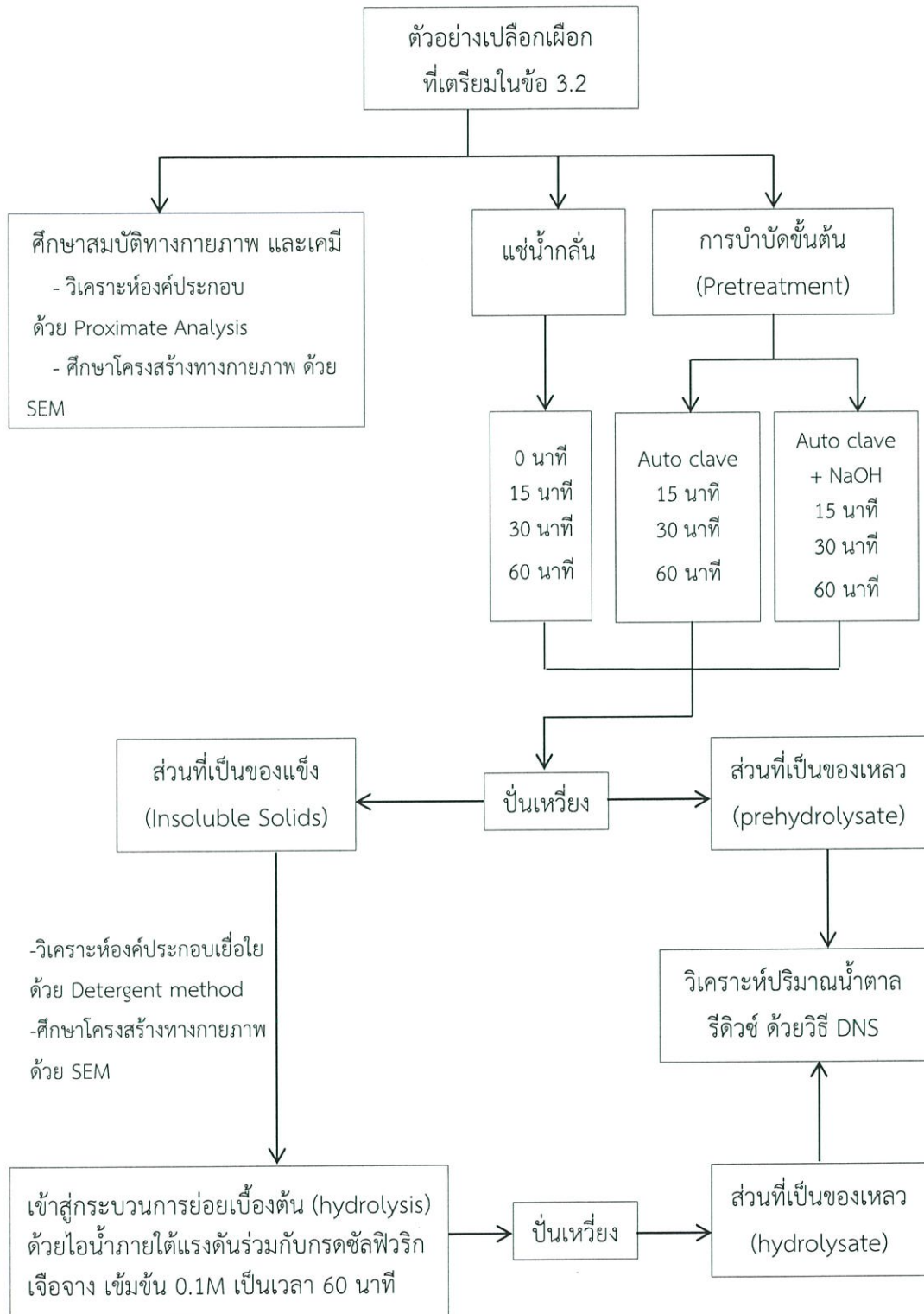
3.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกเผือก

ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกเผือกในหัวข้อ 3.2 ดังต่อไปนี้

1. องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกเผือก ได้แก่
 - วิธี Proximate Analysis ตาม กรมปศุสัตว์ (2009) รายละเอียดวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก
 - วิธี Detergent (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน) ตาม Van Soest (1959) รายละเอียดวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก
 - น้ำตาลรีดิวิซ์ ด้วยวิธี 3,5-Dinitrosalicylic acid Method (DNS) ตาม Miller (1959) รายละเอียดวิธีการดังแสดงในภาคผนวก ก
2. ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพด้วยวิธี Scanning electron microscope (SEM)

3.4 แผนการดำเนินงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาผลของการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ (1) วิธีบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่ระยะเวลาต่างกัน (2) วิธีบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ที่ระยะเวลาต่างกัน โดยแผนการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย

3.5 ศึกษาผลของการบำบัดขั้นต้นด้วยการแช่ในน้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่างกัน

1. ชั่งเปลือกเผือกที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างในข้อ 3.2 ใส่ลงขวดดูแรน
2. เติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกเผือก 1 กรัมต่อปริมาตรสารปรับสภาพ

30 มิลลิลิตร

3. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที
4. เมื่อครบกำหนดเวลา นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนของของแข็ง กับของเหลวขั้นต้น (prehydrolysate) ออกจากกัน
5. นำส่วนที่เป็นของเหลว (prehydrolysate) ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS
6. นำส่วนที่เป็นของแข็ง (insoluble solids, IS) ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำเปลือกเผือกที่ปรับสภาพไปวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใย (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน) ด้วย Detergent method ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (SEM) และนำไปย่อยเพื่อผลิตไฮโดรไลสด้วยกรดซัลฟิวริก 0.1 M รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 3.7
7. ทำซ้ำ แต่เปลี่ยนเวลาในการตั้งทิ้งไว้ในข้อ 3. จาก 15 เป็น 30 และ 60 นาที ตามลำดับ

3.6 ศึกษาผลของการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่ระยะเวลาต่างกัน

1. ชั่งเปลือกเผือกที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างในข้อ 3.2 ใส่ลงขวดดูแรน
2. เติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกเผือก 1 กรัมต่อปริมาตรสารปรับสภาพ

30 มิลลิลิตร

3. นำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายใต้แรงดัน (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที
4. เมื่อครบกำหนดเวลา นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนของของแข็ง กับของเหลวขั้นต้น (prehydrolysate) ออกจากกัน
5. นำส่วนที่เป็นของเหลว (prehydrolysate) ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS
6. นำส่วนที่เป็นของแข็ง (insoluble solids, IS) ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำเปลือกเผือกที่ปรับสภาพไปวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใย (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน) ด้วย Detergent method ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (SEM) และนำไปย่อยเพื่อผลิตไฮโดรไลสด้วยกรดซัลฟิวริก 0.1 M รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 3.7
7. ทำซ้ำ แต่เปลี่ยนเวลาในการให้ความร้อนในข้อ 3. จาก 15 เป็น 30 และ 60 นาที ตามลำดับ

3.7 ศึกษาผลของบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลาย

โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระยะเวลาต่างกัน

1. ชั่งเปลือกเหือกที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างในข้อ 3.2 ใส่ลงขวดดูแรน
2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกเหือก 1 กรัมต่อปริมาตรสารปรับสภาพ 30 มิลลิลิตร
3. นำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายใต้แรงดัน (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที
4. เมื่อครบกำหนดเวลา นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนของของแข็ง กับของเหลวขั้นต้น (prehydrolysate) ออกจากกัน
5. นำส่วนที่เป็นของเหลว (prehydrolysate) ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ด้วยวิธี DNS
6. นำส่วนที่เป็นของแข็ง (insoluble solids, IS) ไปล้างด้วยน้ำกลั่นให้ได้ค่า pH เท่ากับ 7 และนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำเปลือกเหือกที่ปรับสภาพไปวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใย (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ด้วย Detergent method ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (SEM) และนำไปย่อยเพื่อผลิตไฮโดรไลเสทด้วยกรดซัลฟิวริก 0.1 M รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 3.7
7. ทำซ้ำ แต่เปลี่ยนเวลาในการให้ความร้อนในข้อ 3. จาก 15 เป็น 30 และ 60 นาที ตามลำดับ

3.8 การเตรียมไฮโดรไลเสท (hydrolysate) จากเปลือกเหือกที่ผ่านการปรับสภาพ

1. ชั่งเปลือกเหือกที่ผ่านการอบแห้งในขั้นตอนที่ 3.5-3.7 มา 1 กรัม
2. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.1 M ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกเหือก 1 กรัมต่อปริมาตรสารละลายกรดซัลฟิวริก 30 มิลลิลิตร
3. นำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายใต้แรงดัน (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที
4. เมื่อครบกำหนดเวลา นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนของของแข็ง กับของเหลวขั้นต้น (prehydrolysate) ออกจากกัน
5. นำส่วนที่เป็นของเหลว (prehydrolysate) ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ด้วยวิธี DNS

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกเผือก และศึกษาผลของการบำบัดขั้นต้น 2 วิธี ได้แก่ 1) วิธีบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่ระยะเวลาต่างกัน และ 2) วิธีบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ที่ระยะเวลาต่างกัน ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1 องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกเผือก

เปลือกเผือกที่ใช้ในการศึกษาได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทเพอร์ซิเดนท์ เบเกอร์ จำกัด (มหาชน) เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ลักษณะของเปลือกเผือกจะมีส่วนของเนื้อเผือกติดมาด้วย ดังรูป 4.1 เมื่อนำมาเตรียมตัวอย่างด้วยการอบแห้ง บด และร่อน จะได้ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ลักษณะเปลือกเผือกที่นำมาศึกษา



รูปที่ 4.2 ลักษณะตัวอย่างเปลือกเผือกที่นำมาศึกษา

เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกเผือกที่ใช้ในการศึกษาเทียบกับเปลือกเผือกจากงานวิจัยอื่น

สมบัติ	ค่าที่วัดได้ (%)		
	ตัวอย่างที่ใช้ศึกษา		Tattiyakul และคณะ (2006)
	1*	2*	
ความชื้น	9.22±0.10	12.22	ND
คาร์โบไฮเดรต	71.93±2.40	69.50	75.5 – 82.4
โปรตีน	4.86±1.30	5.44	4.4 – 6.7
ไขมัน	0.30±0.04	0.12	0.5 – 0.8
เยื่อใย	7.29±1.32	6.82	1.3 – 3.4
เถ้า	6.41±0.19	5.90	3.0 – 5.0

หมายเหตุ

1* วิเคราะห์โดยผู้ทำการทดลอง

2* ผลการวิเคราะห์โดยภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตรและการจัดการทรัพยากร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ND : Not determined

จากตารางที่ 4.1 พบว่าองค์ประกอบของเปลือกเผือกที่นำมาศึกษามีสัดส่วนร้อยละของความชื้น 9.22±0.10 คาร์โบไฮเดรต 71.93±2.40 โปรตีน 4.86±1.30 ไขมัน 0.30±0.04 เยื่อใย 7.29±1.32 และเถ้า 6.41±0.19 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตรและการจัดการทรัพยากร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จะเห็นว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน อีกทั้งค่าที่ได้ยังมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณองค์ประกอบทางเคมีจากงานวิจัยของ Tattiyakul และคณะ (2006) แสดงให้เห็นว่าเปลือกเผือกที่ใช้ในการศึกษาจัดเป็นวัตถุดิบที่มีคาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูงโดยมีค่าสูงถึง 71.93±2.40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบเยื่อใยเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนร้อยละ 7.29±1.32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเปลือกเผือกไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นเอทานอลต่อไปได้

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกเผือก

เมื่อนำเปลือกเผือกที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นหรือ IS ที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ การนำไปแช่น้ำกลั่นที่เวลาต่างกัน (0, 15, 30 และ 60 นาที) การใช้ไอน้ำภายใต้แรงดันที่เวลาต่างกัน (15, 30 และ 60 นาที) และการใช้ไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ที่เวลาต่างกัน (15, 30 และ 60 นาที) จากนั้นนำวิเคราะห์องค์ประกอบของเยื่อใย (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ได้ผลดังตาราง 4.2

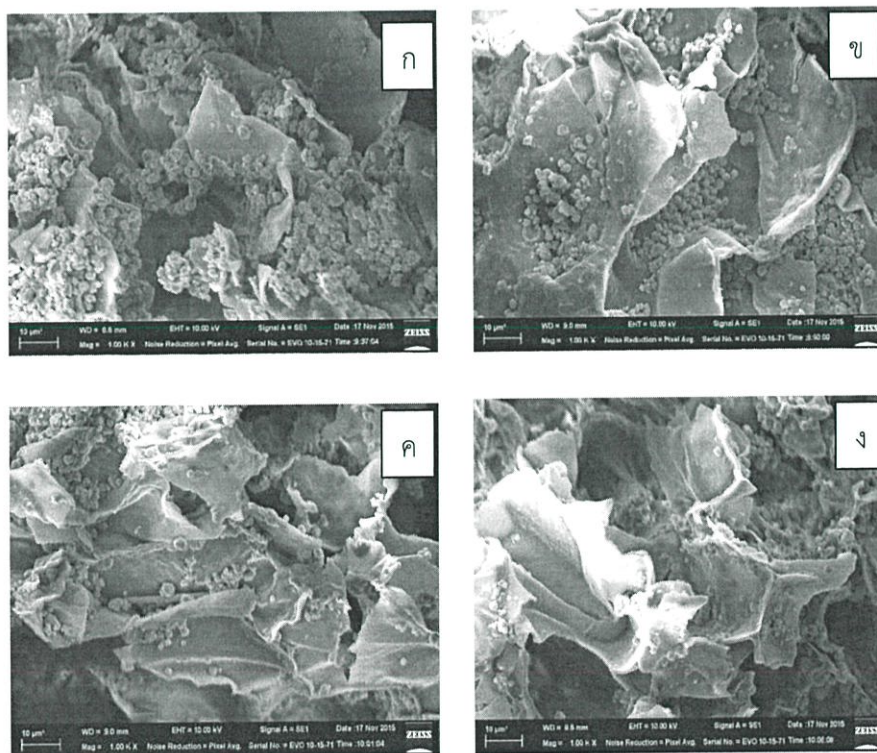
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของเยื่อใยในเปลือกเผือกที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นที่ระยะเวลาต่างๆ

วิธีการ	เวลา (นาทิจ)	ปริมาณองค์ประกอบของเยื่อใย (%)		
		เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
แช่น้ำกลั่น	0	8.29±0.76	40.93±3.71	7.23±0.10
	15	8.34±0.74	40.92±1.39	6.77±0.10
	30	8.39±0.38	41.19±0.71	6.95±0.05
	60	7.75±0.32	41.84±3.57	7.22±0.18
ไอน้ำภายใต้แรงดัน	15	14.08±0.85	55.79±6.45	10.95±0.29
	30	12.08±0.11	70.02±1.81	11.01±0.15
	60	12.24±0.30	71.24±3.98	10.30±0.35
ไอน้ำภายใต้แรงดัน ร่วมกับ NaOH 10%	15	27.04±0.49	49.84±2.07	6.80±0.07
	30	29.87±0.95	56.47±5.66	7.59±0.05
	60	32.25±0.43	42.04±1.28	7.18±0.73

จากตาราง 4.2 เมื่อพิจารณาปริมาณเซลลูโลสในเปลือกที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยสภาวะและระยะเวลาต่างๆแล้วพบว่ามีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกเผือกที่ไม่ผ่านการบำบัด (0 นาทิจ) จะมีปริมาณเซลลูโลสน้อยสุดคือ 8.29±0.76% จากเปลือกเผือกที่แช่น้ำกลั่นซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยสูงสุดที่เวลา 30 นาทิจ (8.39±0.38%) (ทุกระยะเวลาของการแช่น้ำกลั่นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติรายละเอียดของการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค5) เปลือกเผือกที่บำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดที่เวลา 15 นาทิจ (14.08±0.85%) (ทุกระยะเวลามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติรายละเอียดของการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค6) และสูงสุดคือเปลือกเผือกที่บำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ที่เวลา 60 นาทิจ (32.25±0.43%) เพราะสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำลายโครงสร้างแบบผลึกของเซลลูโลสในเปลือกเผือกให้แตกออกได้ (ดังรูป 4.5) ทั้งนี้การบำบัดด้วยสภาวะดังกล่าวที่ระยะเวลาต่างๆให้ปริมาณเซลลูโลสที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดของการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค7) เมื่อพิจารณาปริมาณเฮมิเซลลูโลสในเปลือกเผือกที่ผ่านการบำบัดเปรียบเทียบกับที่เปลือกเผือกไม่ผ่านการบำบัด (0 นาทิจ) ที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสเท่ากับ 40.93±3.71% พบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเมื่อแช่น้ำกลั่นที่เวลา 60 นาทิจ (41.84±3.57%) (ทุกระยะเวลาของการแช่น้ำกลั่นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติรายละเอียดของการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค9) โดยเพิ่มขึ้นเมื่อบำบัดเปลือกเผือกด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่เวลา 60 นาทิจ (71.24±3.98%) (ทุกระยะเวลามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติรายละเอียดของการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค10) เป็นผลมาจากไอน้ำและความร้อนสามารถทำให้โครงสร้างของเปลือกเผือกเปลี่ยนแปลงไป (ดังรูปที่ 4.4) และรองลงมาคือเปลือกเผือกที่บำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ที่เวลา 30 นาทิจ (56.47±5.66%) (ทุกระยะเวลาของการบำบัดด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติรายละเอียดของการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค11)

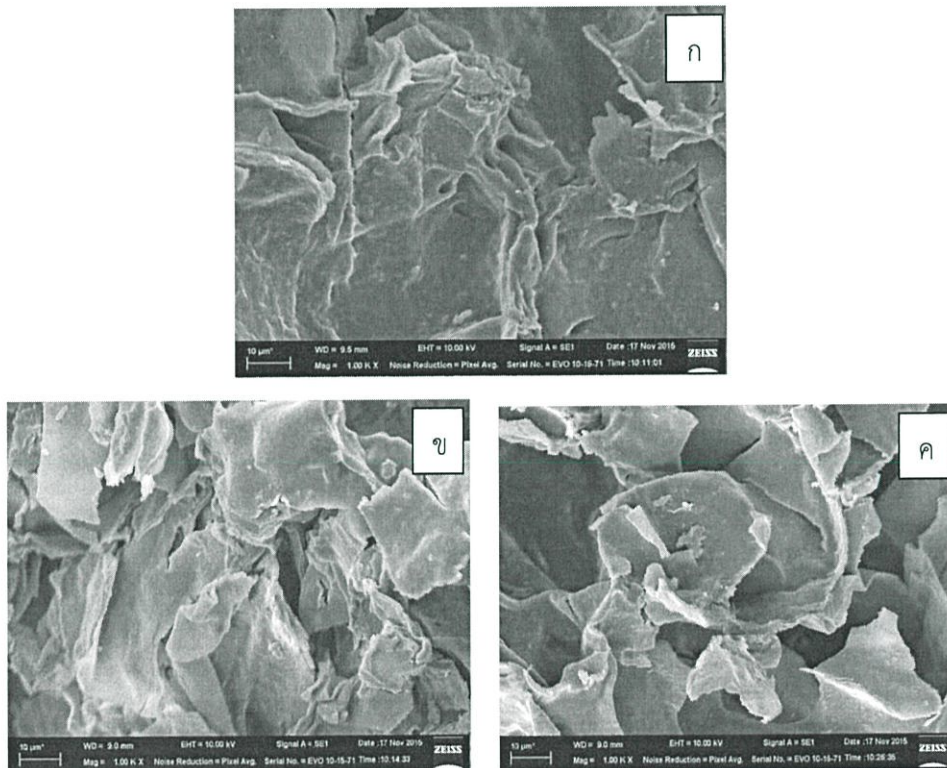
เมื่อพิจารณาปริมาณลิกนินในเปลือกเผือกภายหลังการบำบัดด้วยสภาวะและเวลาต่างๆแล้วพบว่า เปลือกเผือกที่แช่น้ำกลั่นที่เวลาสูงสุด (60 นาที) มีปริมาณลิกนินใกล้เคียงกับที่พบในเปลือกเผือกที่ไม่ผ่านการบำบัดใดๆ ($7.22 \pm 0.18\%$ และ $7.23 \pm 0.10\%$) ในทางกลับกันการปรับสภาพเปลือกเผือกด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันและใช้ไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ทำให้ปริมาณลิกนินในเปลือกเผือกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น $11.01 \pm 0.15\%$ และ $7.59 \pm 0.05\%$ (ที่เวลา 30 นาที ทั้งสองสภาวะ) แต่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับปริมาณลิกนินที่ระยะเวลาต่างๆของการบำบัดด้วยสภาวะนั้นๆ (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในภาคผนวก ค.14-15) ทั้งนี้การลดลงของปริมาณลิกนินหลังผ่านการบำบัดได้มีการรายงานไว้ในงานวิจัยของ นันทิกา และคณะ (2554) ซึ่งทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของขางข้างฟางหวานพบว่า มี เซลลูโลส 25.42 เฮมิเซลลูโลส 58.23 และลิกนิน 14.95 จากนั้นก็ทำการปรับสภาพขางข้างฟางหวานด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยใช้น้ำหนักเพื่อกำจัดลิกนิน พบว่ามีปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็น 90.37 และมีปริมาณของเฮมิเซลลูโลส และลิกนินลดลงเป็น 5.97 และ 3.56 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส ทำให้มีปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นในปริมาณสูง (Xiao et al., 2011)

เมื่อศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเปลือกเผือกที่แช่น้ำกลั่น บำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดัน และบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ที่ระยะเวลาต่างกันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3-4.5



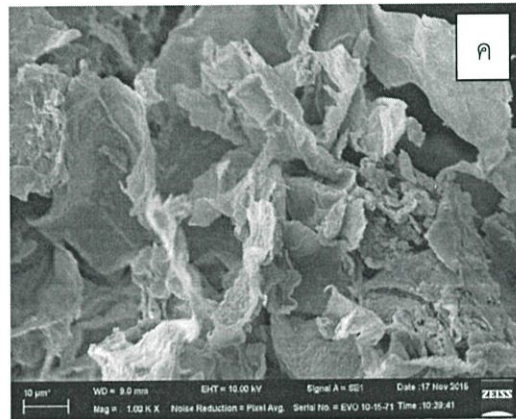
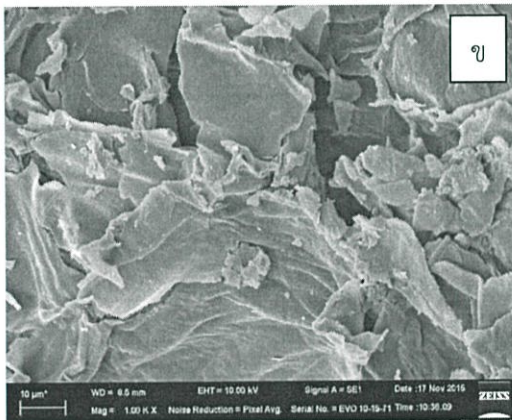
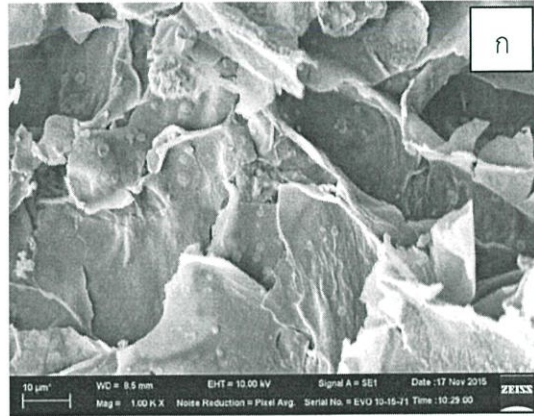
รูปที่ 4.3 โครงสร้างของเปลือกเผือกที่แช่น้ำกลั่นที่เวลา(ก) 0 นาที (ข) 15 นาที (ค) 30 นาที (ง) 60 นาที จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าโครงสร้างของเปลือกเหือกที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการแช่น้ำกลั่นที่เวลา 0 นาที (ก) มีลักษณะเป็นผลึกแน่นที่มีการจับตัวและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเม็ดกลมจำนวนมากโดยเรียงตัวซ้อนกันหลายชั้นซึ่งสันนิษฐานว่าอาจจะเป็นกลุ่มก้อนของเม็ดแป้งที่จับตัวกันแล้วกระจายอยู่ภายในเปลือกเหือก ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบของเปลือกเหือกในตารางที่ 4.1 พบว่าในเปลือกเหือกที่นำมาศึกษามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ค่อนข้างสูง (71.93 ± 2.04 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ดังนั้นเม็ดดังกล่าวน่าจะเป็นกลุ่มของเม็ดแป้งลักษณะเป็นเม็ดกลมและส่วนปลายจะหยักไม่กลมเนียน ซึ่งสอดคล้องกับงานของ กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2546) ที่ทำการศึกษาลักษณะของแป้งที่มาจากแหล่งต่างๆ และได้รายงานว่ามีแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นพืชหัวนั้นมีลักษณะรูปร่างกลม คล้ายไข่ อาจมีรอยบุ๋มคล้ายรอยตัดที่ปลายด้านหนึ่งของเม็ดแป้ง และขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งดังกล่าวยังสอดคล้องกับงานของ simi และ Abraham (2007) ที่ได้ถูกกล่าวไว้ในงานของวิลาสินี (2553) โดยศึกษาขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) (ดังรูปที่ 4.6) เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่เปลือกเหือกด้วยน้ำกลั่นเป็น 15, 30 และ 60 นาทีตามลำดับพบว่าโครงสร้างของเปลือกเหือกแทบจะไม่มีมีการเปลี่ยนแปลง แต่มีจำนวนเม็ดแป้งลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าน้ำไม่สามารถเข้าไปทำลายโครงสร้างหรือเพิ่มความเป็นรูพรุนให้กับเปลือกเหือกได้ดังรูป 4.3



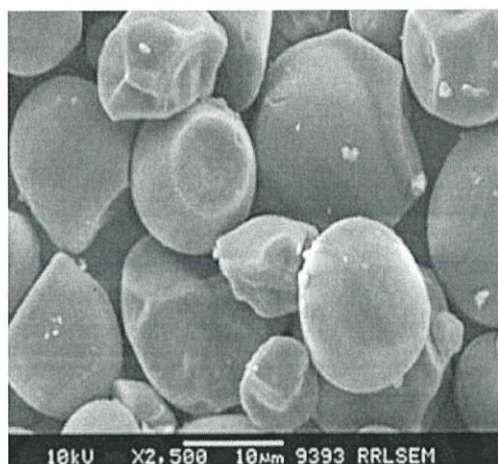
รูปที่ 4.4 โครงสร้างของเปลือกเหือกที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่เวลา (ก) 15 นาที (ข) 30 นาที (ค) 60 นาที จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

เมื่อทำการเพิ่มการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันพบว่าจำนวนเม็ดแป้งที่เกาะตัวกันอยู่มากในตอนแรกนั้นหายไปจากเดิมดังรูปที่ 4.4 แสดงว่าการให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันสามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเปลือกเผือกให้มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปและยังทำให้มีจำนวนเม็ดแป้งลดลงได้อีกด้วย



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของเปลือกเผือกที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ที่เวลา (ก) 15 นาที (ข) 30 นาที (ค) 60 นาที จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

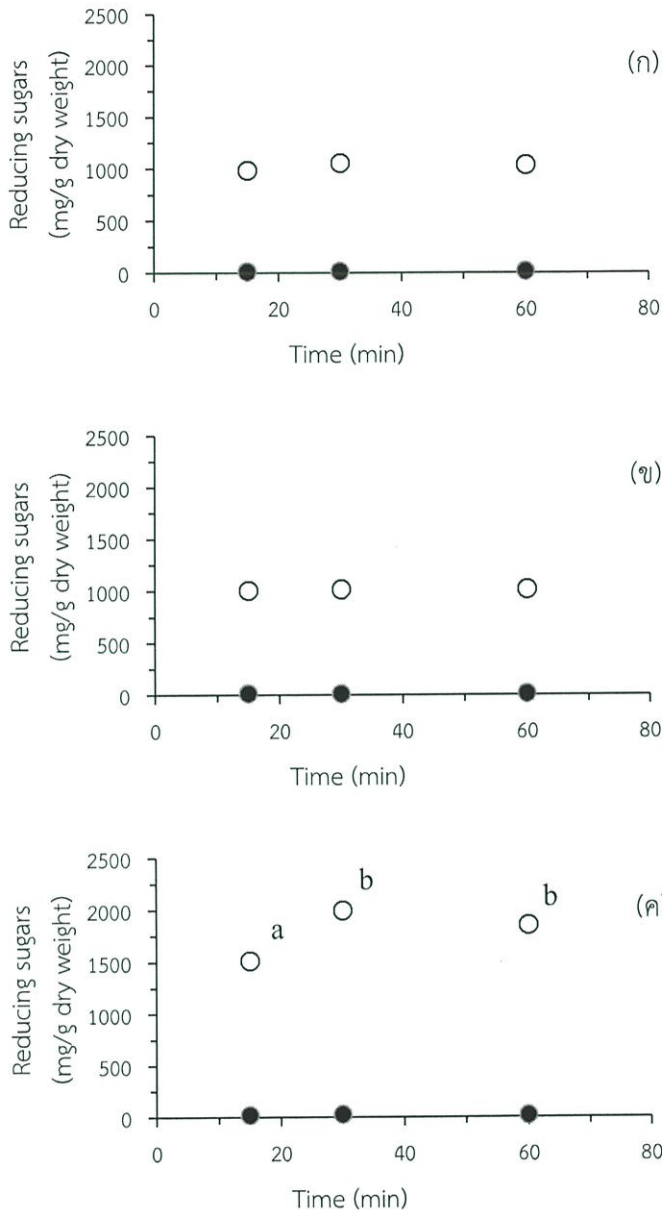
เมื่อทำการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ยิ่งทำให้โครงสร้างของเปลือกเผือกมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัดโดยพบว่าเม็ดแป้งที่มีในตอนแรกนั้นหายไปจากเดิมมาก และโครงสร้างของเปลือกเผือกก็เปลี่ยนไปซึ่งจะมีลักษณะที่แตกตัวและฉีกออกจากกันมากขึ้น ไม่มีเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นผลมาจากการที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% นั้นสามารถเข้าไปทำลายโครงสร้างของเยื่อใยในเปลือกเผือก จนทำให้จากโครงสร้างที่เกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนรวมถึงโครงสร้างแบบผลึกของเซลลูโลสนั้นถูกทำลายลงซึ่งสอดคล้องกับ Hendriks and Zeeman (2009) ที่รายงานว่าต่างสามารถปรับสภาพโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสได้



รูปที่ 4.6 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่ส่องจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ที่มา Simi และ Abraham (2007) ที่กล่าวในงานของ วิลาลินี (2553)

4.3 ผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนของของเหลว

เปลือกเผือกตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยสภาวะและระยะเวลาต่างๆ จะถูกนำมาทำการย่อย (hydrolysis) ด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง เข้มข้น 0.1 โมลาร์ แล้วนำของเหลวขั้นต้นที่ได้จากการย่อย (prehydrolysate) มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า



รูปที่ 4.7 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนของของเหลวที่ได้จากการบำบัดขั้นต้น (prehydrolysate) (●) ด้วยการ (ก) แซ่น้ำกลั่น (ข) ใช้ไอน้ำภายใต้แรงดัน (ค) ใช้ไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% และที่ได้จากการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง เข้มข้น 0.1 โมลาร์ (hydrolysis) (○) เวลา 60 นาที

ผลการศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนของของเหลวขั้นต้น (prehydrolysate) (●) ที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยการแซ่น้ำกลั่น (รูป 4.7 ก) ใช้ไอน้ำภายใต้แรงดัน (รูป 4.7 ข) และใช้ไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% (รูป 4.7 ค) พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดจากการบำบัดขั้นต้นด้วยสภาวะต่างๆมีค่าที่ใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 8.69-24.14 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และในขั้นตอนของการย่อย (hydrolysis) (○) เปลือกเผือกที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้วมาย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง 0.1 โมลาร์ พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มีค่า

เพิ่มขึ้นจากเดิมมากโดยอยู่ในช่วง 985.91-1997.56 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งดังรูป 4.7 (ค) (รายละเอียดของการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ดังแสดงในตารางที่ภาคผนวก ข6-8)

ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดเปลือกฝักขึ้นต้นได้แก่ 15, 30 และ 60 นาที ที่สภาวะต่างๆ แล้วนำส่วนของของแข็งที่ผ่านการบำบัด (insoluble, IS) มาย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจางเข้มข้น 0.1 โมลาร์ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสแรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 60 นาที พบว่าที่เวลา 30 นาทีของการบำบัดขึ้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลในส่วน ของของเหลวที่ได้จากการย่อย (hydrolysis) สูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 1997.56 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ 60 นาที และ 15 นาที (เฉลี่ย 1856.05 และ 1514.91 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ดังรูป 4.7 (ค) (รายละเอียดของการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ดังแสดงในตารางที่ภาคผนวก ข8) เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เวลา 30 นาทีของการบำบัดขึ้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% มีค่าไม่แตกต่างกับเวลา 60 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (รายละเอียดของการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังแสดงในภาคผนวก ค4) กล่าวคือการบำบัดเปลือกฝักขึ้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ที่เวลา 30 นาทีสามารถกำจัดตัวขัดขวางอย่างลิกนิน และลดโครงสร้างแบบผลึกของเซลลูโลสรวมถึงสามารถเพิ่มความชื้นเป็นรูปฟรอนและพื้นที่ผิวของวัตถุดิบคือเปลือกฝักได้จึงทำให้การย่อย (hydrolysis) นั้นได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากขึ้นรวมทั้งหมดเฉลี่ยสูงถึง 2021.70 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ เสาวนาภรณ์ (2557) ที่รายงานไว้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากอ้อยเลาคือ การปรับสภาพขึ้นต้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 20 นาที และย่อยเซลลูโลสด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 27.57 ± 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักพืชแห้ง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาผลของวิธีการบำบัดขั้นต้นทางเคมีที่มีผลต่อการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากเปลือกเฟือก ที่ระยะเวลาต่างๆ โดยสรุปได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกเฟือกที่นำมาศึกษามีปริมาณความชื้น 9.22 ± 0.10 โปรตีน 4.86 ± 1.30 ไขมัน 0.30 ± 0.04 เยื่อใย 7.29 ± 1.32 เถ้า 6.41 ± 0.19 และปริมาณคาร์โบไฮเดรต 71.93 ± 2.40 เปอร์เซ็นต์

2. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเยื่อใยและโครงสร้างทางกายภาพของวัตถุดิบ พบว่าเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตอยู่มากจึงทำให้โครงสร้างประกอบไปด้วยเม็ดแป้งที่จับตัวเป็นกลุ่มก้อนซ้อนทับกันอยู่จำนวนมากแต่เมื่อทำการบำบัดด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันจะทำให้เม็ดแป้งค่อยๆหายไปตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่จะพบว่าโครงสร้างของเปลือกเฟือกมีการแตกออกไม่จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนรวมทั้งเม็ดแป้งที่มีอยู่ก็เหลือน้อยลงมากเป็นผลมาจากการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ซึ่งต่างสามารถทำลายโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสได้ และการบำบัดด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% เป็นเวลา 30 นาทีถือเป็นการบำบัดขั้นต้นก่อนการเตรียมไฮโดรไลเสทมากที่สุดโดยมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเหลืออยู่มากในเส้นใย (29.87 ± 0.95 และ 56.47 ± 5.66 เปอร์เซ็นต์) และยังมีลิกนินอยู่น้อย (7.59 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์)

3. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้จากเปลือกเฟือก จะขึ้นกับชนิดของสารปรับสภาพที่ใช้ในการบำบัดขั้นต้น โดยพบว่าการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ที่เวลา 30 นาทีจะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยสูงสุดคือ 2021.70 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มหรือศึกษาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำตาลจากเปลือกเฟือก
2. ควรศึกษาหาหาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนของการไฮโดรไลซิสให้มากขึ้นหรือศึกษาวิธีการเตรียมไฮโดรไลเสทอื่นๆ เช่น การใช้เอนไซม์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015). กระทรวงพลังงาน. [Online]. เข้าถึงได้จาก www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2558
- กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร. 2554. อาหารจากเหือก. กรมส่งเสริมการเกษตร. สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี. [Online]. เข้าถึงได้จาก <http://agrimedia.agritech.doae.go.th/book/book-praeroob/FD%20053.pdf> สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2558
- กัลยา อยู่นาน. 2546. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลจากเปลือกและกากมันสำปะหลัง. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2558. เหือก. พระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. [Online]. เข้าถึงได้จาก <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=5&chap=5&page=t5-5-infodetail04.html> สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 12 กันยายน 2558
- จักรพงษ์ ไชยบุรี และวิสกฤษ สิงห์อินทร์. (2555). การผลิตน้ำมัน ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา SrO และ KF/SrO. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ประจำปี 2555. (หน้า 30). สงขลา : บริษัท มาสเตอร์พีช แอนด์ โครเซท จำกัด.
- ซันนันท นิวาสวงษ์ และเฉลิม เรื่องวิริยะชัย. 2555. การผลิตเซลลูโลสในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2555.
- ณัตติยา จันทวรษา. 2553. การพัฒนาการแปรรูปเปลือกทุเรียนและเปลือกกล้วยน้ำว้าเป็นน้ำตาลสำหรับการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2553.
- นันทิกา คล้ายชม, จริญญาตรี มานพ และเพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. 2554. การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากขางข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจาง. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2554.
- นันทิชา สิงห์ชนะ, ยศวดี ว่องธนาการ และยุวลี อินทร์วิลัย. 2554. การผลิตเอทานอลจากแกลบด้วยกระบวนการแซคคาริฟิเคชันพร้อมทั้งกระบวนการหมัก: การปรับสภาพแกลบด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับการใช้เชื้อ *Trichoderma harzianum*. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2554.
- ประเวศ ตัญเต็มวงศ์, จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร, ปิยรัตน์ บุญแสวง และ ธีรภัทร ศรีนครุต. (2552). การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

- ผาณิต รุจิริพิสิฐ. 2549. องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งฟลาวัวร์ และสตาร์ชจากแห้วจีน (*Eleocharis dulcis Trin.*). มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- พลังงานสะอาด พลังงานทดแทนในประเทศไทยที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. 2556. พลังงานในมือคุณ. สมาคมโรงไฟฟ้าชีวมวล. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://bppathailand.wordpress.com/page/3/>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2558
- รัชพล พวงศรีรัตน์. 2554. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลสเสทผักตบชวาโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพื่อผลิตเอทานอล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- วนิดา ปานอุทัย. 2553. การผลิตเอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสโดยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วิลาสินี เกิดเกลื่อน. 2553. การเตรียมและการนำแป้งคอรอสลิงค์ไปใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศาสตรป.ศ.2553
- สารานุกรมผลิตผลและผลิตภัณฑ์จากพืชในซูปเปอร์มาร์เก็ต กรีนไฮเปอร์มาร์ท ฉบบ์คอมพิวเตอร์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. เผือก. [Online]. เข้าถึงได้จาก www.sc.mahidol.ac.th. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2558
- สิริวุทธิ์ เสียมภักดี. 2554. อุตสาหกรรมเอทานอล ตลาดที่เปิดกว้างสำหรับเกษตรกร. สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. [online]. เข้าถึงได้จาก http://www.thaitapiocastarch.org/article24_th.asp สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2558
- เสาวนาภรณ์ โชคสกุลพร. 2557. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำตาลรีดิวิซ์จากอ้อยเลา โดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด. สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2556. รายงานสถานการณ์เอทานอลในปี 2556 และแนวโน้มปี 2557 สำนักงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/Doelib_CommodityYearly/Ethanal%20Yearly%202556.pdf สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2558
- Ballesteros, M., J.M. Oliva, M.J. Negro, P. Manzanares and I. Ballesteros. 2004. Ethanol from lignocellulosic materials by a simultaneous saccharification and fermentation process (SFS) with *Kluyveromyces marxianus*. CECT 10875. *Process Biochem.* 39: 1843-1848
- Duff, S. J. B. & Murray, W. D. 1996. Bioconversion of forest products industry waste cellulose to fuel ethanol: a review. *Bioresource Technology*, 55, 1-33.

- Gupta, R. and Lee, Y.Y. (2010). Investigation of biomass degradation mechanism in pretreatment of switchgrass by aqueous ammonia and sodium hydroxide. **Bioresource Technology**. 101: 8185–8191.
- Hendriks, A.T.W.M., Zeeman, G. 2009. Pretreatments to Enhance the Digestibility of Lignocellulosic Biomass. **Bioresource Technology**. 100: 10-18.
- Lee, J.S., B. Parameswaran., J.P. Lee and S.C. Park. (2008). Recent Developments of Key Technologies on Cellulosic Ethanol Production. **Journal of Scientific & Industrial Research**. 67:865-873.
- Lloyd, T.A., and Wyman, C.E., 2005. Combined Sugar Yield for Dilute Sulfuric Acid Pretreatment of Corn Stover Followed by Enzymatic Hydrolysis of the Remaining Solids. **Bioresource Technology**. 96(18): 1967-1977
- McMillan, J.D., 1994, "Pretreatment of lignocellulosic biomass", In Tomlinson, M.H., Halter, J.O., Overend, T.P. (Eds), *Enzymatic conversion of biomass for ethanol production*. American Chemical Society. Washington, DC, pp. 292-324.
- Miller G.L. 1959. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**. 31(3): 426.
- Sun, Y. and Cheng, J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for bioethanol production: review. **Bioresour Technol**. 83, 1-11.
- Van Soest P.J. 1959. Development of a Comprehensive system of Feed Analysis and its Application of Forages. **Journal of Analytical science**. 26:119-128.
- Xiao, L.-P., Sun, Z.-J., Shi, Z.-J., Xu, F., and Sun, Run-Cang. 2011. Hot Water Pretreated Woody Biomass. **Bioresources Technology**. 6(2): 1576-1598.
- Zhang, B., Wang, L., Shahbazi, A., Diallo, O., and Whitmore, A., 2011. Dilute Sulfuric Acid Pretreatment of Cattails for Cellulose Conversion. **Bioresource Technology**. 102: 308- 9312

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์และการคำนวณ

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ง่าย (Nitrogen Free Extract)

ด้วยวิธี Proximate Analysis

วิธี Proximate Analysis อ้างอิงวิธีการวิเคราะห์ตามกรมปศุสัตว์ (2009) โดยมีรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจำเป็นต่อการคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตดังนี้

การวิเคราะห์ความชื้น

วิธีการ

1. นำปีกเกอร์อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 135°C นาน 2 ชั่วโมง นำออกไปใส่ในโถดูดความชื้นและทิ้งให้เย็น ไม่เกิน 2 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่ง บันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในปีกเกอร์ บันทึกน้ำหนัก นำไปอบที่อุณหภูมิ 135°C นาน 2 ชั่วโมง
3. เมื่อครบกำหนดเวลานำปีกเกอร์ออกใส่ในโถดูดความชื้น แล้วปล่อยให้เย็นไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำมาชั่ง บันทึกน้ำหนัก
4. คำนวณ % ความชื้นตามสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ ความชื้น} = [(W_1 - W_2) / W_3] \times 100$$

$$W_1 = \text{น้ำหนักปีกเกอร์} + \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}$$

$$W_2 = \text{น้ำหนักปีกเกอร์} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}$$

$$W_3 = \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

วิธีการ

1. นำ sinter glass อบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 1 ชั่วโมง นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างใส่ sinter glass ที่ทราบน้ำหนักแล้วประมาณ 1 กรัม นำไปเผาบน hot plate จนหมดควัน
3. นำตัวอย่างที่เผาไล่ควันแล้ว ไปเผาต่อในเตาเผา อุณหภูมิ 600°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วปิดสวิทช์เตาเผา เปิดฝาเตาออกรอจนอุณหภูมิภายในเตาลดเหลือประมาณ 100°C เพื่อป้องกันมิให้ถ้วยสัมผัสอากาศเย็นกะทันหัน ซึ่งอาจทำให้ sinter glass แตกได้
4. นำ sinter glass ออกมาใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณ % เถ้าตามสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ เถ้า} = [(W_1 - W_2) / W_3] \times 100$$

$$W_1 = \text{น้ำหนัก sinter glass}$$

$$W_2 = \text{น้ำหนัก sinter glass} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา}$$

$$W_3 = \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

การวิเคราะห์หาโปรตีน (Crude protein, CP)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก 96% (H_2SO_4), AR grade, Carlo Erba
2. คอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), AR grade, Carlo Erba
3. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4), AR grade, Carlo Erba
4. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40%
5. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 N
6. โพแทสเซียมไฮโดรเจนทราเทรต ($\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$), AR grade)
7. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์
8. สกรีนเมทิลเรดอินดิเคเตอร์
9. กรดบอริกเข้มข้น 4% (w/v)
10. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% (w/v)

การเตรียมสารละลาย

1. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ (Phenolphthalein indicator)
 - สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (AR grade) 5 กรัม ใน 96% ethyl alcohol 400 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร
2. สกรีนเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ (Screened methylred indicator, MR)
 - โดยซิงเมทิลเรด (AR grade) 0.2 กรัม และโบรโมครีซอลกรีน (BCG) (AR grade) 0.1 กรัม ละลายใน 96% ethyl alcohol 100 มิลลิลิตร เก็บในที่เย็นไม่ถูกแสง
3. กรดบอริกความเข้มข้น 4% (w/v)
 - ละลายบอริก (AR grade) 40 กรัม ด้วยน้ำกลั่นร้อน รองนสารละลายเย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 40% (w/v)
 - สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, commercial grade) 400 กรัม ด้วยน้ำกลั่นร้อน แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร
5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
 - 5.1 ตมน้ำกลั่นให้เดือดประมาณ 20 นาที เพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทิ้งให้เย็น แล้วเก็บในภาชนะที่มีฝาปิด
 - 5.2 ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, AR grade) ที่มีโซเดียมคาร์บอเนตน้อยกว่า 5% ละลายด้วยน้ำกลั่นในข้อ 5.1 ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ลงในขวดเออร์เลนเมเยอร์ เขย่าให้ละลาย ปิดปากขวดไม่ให้สัมผัสกับอากาศ ตั้งทิ้งให้โซเดียมคาร์บอเนตตกตะกอนจนได้สารละลายใส
 - 5.3 เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้สารละลายในข้อ 5.2 ปริมาตร 5.4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในข้อ 5.1 จนได้ 1 ลิตร
 - 5.4 ชั่ง Potassium hydrogen phthalate ที่อบแห้งแล้วที่อุณหภูมิ 103°C ประมาณ 4 ชั่วโมง มาปริมาณ 0.2042 กรัม ใส่ในขวดเออร์เลนเมเยอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด ทำการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ในข้อ 5.3 จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูอ่อน เช่นเดียวกับ blank โดยใช้น้ำกลั่นในข้อ 5.1 หยดฟีนอล์ฟทาลีน

2-3 หยด ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ในข้อ 5.3 จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูอ่อน

5.5 คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปนอร์มอล ตามสูตรดังต่อไปนี้

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$= \left[\frac{\text{น้ำหนัก Potassium hydrogen phthalate (g)} \times 1000}{\left(\text{ปริมาตร สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (ml)} \times 204.229 \right)} \right]$$

6. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มอล

6.1 ตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 95-98% (AR grade) 5.5 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 2 ลิตร

6.2 ทำการไทเทรตหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกโดยใช้ปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดเออร์เลนเมเยอร์ หยดฟีนอล์ฟธาไลน์ 2-3 หยด นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบค่าความเข้มข้นแล้ว จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

6.3 คำนวณความเข้มข้น ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มอล โดยใช้สูตร

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ต้องการทราบ (นอร์มอล)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (10 มิลลิลิตร)

วิธีการ

การย่อย

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดสำหรับย่อย (digestion tube)
2. เติม copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 5 กรัม potassium sulfate (K_2SO_4) 6.5 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 12 มิลลิลิตร
3. ตั้งหลอดย่อยใน stand ปิด heat shield สวม exhaust manifold ลงบนส่วนบนของหลอดย่อย
4. ตั้ง stand หลอดย่อยและ exhaust ลงบนเครื่องย่อยที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 420°C แล้วเพื่อความปลอดภัยควรทำการย่อยภายในตู้ดูดควันเปิดเครื่องดูดไอกรด (scrubber) ช่วงเริ่มต้นจะเปิดแรงและย่อยเป็นเวลา 5 นาที และลดวาล์วเพื่อลดอัตราการไหลไอกรดลงประมาณ 3 ทำการย่อยจนตัวอย่างใสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที
5. ยก stand พร้อมหลอดย่อยตัวอย่างออก ปล่อยให้เย็นเพื่อรอนำไปกลั่นต่อไป

การกลั่น

1. เปิดเครื่องทำน้ำเย็น จนได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้ 15 องศาเซลเซียส
2. เปิดเครื่องกลั่นตั้งโปรแกรมเป็น Auto โดยกดปุ่มปรับปริมาณน้ำ 0 มิลลิลิตร ต่าง 0 มิลลิลิตร และเวลาที่ใช้ในการกลั่น 5-7 นาที หรือกลั่นให้ได้ปริมาตร 150 มิลลิลิตร

3. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้วมาเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมน้ำต่าง (40% NaOH) 40-50 มิลลิลิตร จากนั้นนำใส่เข้าเครื่องกลั่น ปิด Safety door กดปุ่มเริ่มทำงาน
4. นำ flask ที่บรรจุกรดบอริกความเข้มข้น 4% ปริมาณ 25-30 มิลลิลิตร และหยดสกรีน-เมทิลเรดิอินดิเคเตอร์ 4 หยด ซึ่งจะได้สารละลายใสสีชมพูแดง ตั้งไว้บน platform ของเครื่องกลั่น โดยให้ปลายสายยางจุ่มอยู่ในกรดบอริก
5. เมื่อกำลังครบตามกำหนดเวลา เครื่องจะหยุดทำงาน นำ flask ซึ่งมีสารละลายใสสีเขียวอ่อน และหลอดย่อยออกจากเครื่องกลั่น
6. นำ flask กรดบอริก ที่ดักจับแก๊สแอมโมเนียที่ถูกกลั่นออกไปเทเทรตหาไนโตรเจนด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกจนได้สารละลายใสสีชมพูและบันทึกปริมาตรที่ใช้
7. คำนวณ % ไนโตรเจนตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\% \text{ ไนโตรเจน} = [(14.01 \times (V_1 - V_2) \times N) / \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)} \times 10]$$

$$14.01 = \text{น้ำหนักมวลโมเลกุลของไนโตรเจน}$$

$$V_1 = \text{ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}$$

$$V_2 = \text{ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรต blank (มิลลิลิตร)}$$

$$N = \text{ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไทเทรต (นอร์มอล)}$$

$$10 = \text{ค่าคงที่แปลงจากหน่วยกรัมเป็น \%}$$
8. คำนวณ % โปรตีน โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ Crude Protein} = \% \text{ ไนโตรเจน} \times F$$

$$F = \text{ค่าคงที่ในการเปลี่ยนค่าไนโตรเจนเป็นโปรตีน (6.25)}$$

การวิเคราะห์หาไขมัน (Crude fat หรือ Ether extract, EE)

สารเคมี

Petroleum ether จุดเดือด 35-60°C

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร ประมาณ 1 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ลงใน Cellulose thimble
2. นำ Thimble ที่มีตัวอย่าง นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C 3 ชั่วโมง
3. นำขวดกั่นกลมอบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 1 ชั่วโมง นำออกมาปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งบันทึกน้ำหนัก
4. ทำการ warm เต้าหลุมให้มีอุณหภูมิประมาณ 85-90 °C นานประมาณ 20 นาที ในขณะที่เดียวกันทำการ warm เครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 26 °C ต่อสายยาจากเครื่องทำความเย็นเข้ากับ condenser
5. นำ Cellulose thimble ที่มีตัวอย่างใส่เข้าไปใน soxhlet
6. ตวง Petroleum ether 150 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดกั่นกลมที่ทราบน้ำหนักแล้ว ต่อเข้ากับ soxhlet และวางลงในเต้าหลุมจากนั้นต่อ soxhlet เข้ากับ condenser และเปิดสวิตช์ปั้มน้ำทำการสกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. เมื่อครบกำหนดเวลาทำการปิดเต้าหลุมและปิดสวิตช์ปั้มน้ำ

8. นำขูดก้นกลมที่สกัดไขมันได้ไปประเหยสารละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ จากนั้นนำไปอบต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 30 นาที นำออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วจึงชั่งบันทึกน้ำหนัก

9. คำนวณ % ไขมันโดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\% \text{ ไขมัน} = [(W_1 - W_2) / W_3] \times 100$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง

W_2 = น้ำหนักขูดก้นกลม

W_3 = น้ำหนักขูดก้นกลม + น้ำหนักไขมัน

การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF)

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 1.25%
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1.25%

การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.25%

- ตวงน้ำประมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร

- ชั่งกรดซัลฟิวริก 12.5 กรัม แล้วค่อยๆ เทใส่ในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนสารละลายให้เข้ากัน

แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร ปล่อยให้เย็นแล้วจึงเทใส่ขวดเก็บสารละลาย

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.25%

- ต้มน้ำกลั่นให้เดือดนานประมาณ 20 นาที แล้วปล่อยให้เย็นในภาชนะที่มีฝาปิด

- ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 12.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร ตวงน้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้วใน

ข้างต้น ประมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนเป็นระยะๆ ให้โซเดียมไฮดรอกไซด์

ละลายจนหมดแล้วเติมน้ำกลั่นอีก 500 มิลลิลิตร หรือเติมจนครบ 1 ลิตร คนให้เข้ากัน ปล่อยให้เย็น แล้วจึงเทใส่ขวดเก็บสารละลาย

*การตรวจสอบค่าความเข้มข้นของสารละลายทำได้โดยวิธีการไทเทรต

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่ทำการสกัดไขมันออกแล้วถ่ายลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร

2. ตวงสารละลายกรดซัลฟิวริก 1.25% ที่อุ่นไว้ประมาณ 200 มิลลิลิตร นำไปต้มจนเดือดจับเวลา 30 นาที (ทำในตู้ดูดควัน)

3. เมื่อครบ กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 1 ลิตร แล้วถ่ายตัวอย่างลงในบีกเกอร์ตามเดิม

4. ตวงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25% ที่อุ่นไว้ประมาณ 200 มิลลิลิตร นำไปต้มจนเดือดจับเวลา 30 นาที (ทำในตู้ดูดควัน)

5. เมื่อครบเวลาถ่ายตัวอย่างลงใน sinter glass และล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อนจนหมดต่าง จะใช้น้ำร้อนประมาณ 1,500 มิลลิลิตร นำ sinter glass ที่มีเยื่อใยไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105°C นาน

16-18 ชั่วโมง จากนั้นนำ sinter glass ออกมาใส่โถดูความชื้นปล่อยให้เย็น จากนั้นชั่งน้ำหนัก จดบันทึก

6. นำ sinter glass ที่ชั่งน้ำหนักแล้วเข้าในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นเปิดฝาเตาเผาเพื่อให้ด้วยมืออุณหภูมิลดลงประมาณ 150-200 °C แล้วนำไปใส่โถดูความชื้นปล่อยให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก sinter glass จดบันทึก (โดยส่วนของเยื่อใยคือส่วนที่ถูกเผาหายไป)

7. คำนวณ % เยื่อใย โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\% \text{ ไขมัน } = [(W_1 - W_2) / W_3] \times 100$$

$$W_1 = \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

$$W_2 = \text{น้ำหนัก sinter glass} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}$$

$$W_3 = \text{น้ำหนัก sinter glass} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}$$

การวิเคราะห์หาคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (Nitrogen free extract, NFE)

การวิเคราะห์หาคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย โดยการคำนวณได้จาก

$$\% \text{ NFE} = 100 - [\% \text{Moisture} + \% \text{Ash} + \% \text{CP} + \% \text{EE} + \% \text{CF}]$$

เมื่อ %Moisture = เปอร์เซนต์ความชื้น

%Ash = เปอร์เซนต์เถ้า

%CP = เปอร์เซนต์โปรตีน

%EE = เปอร์เซนต์ไขมัน

%CF = เปอร์เซนต์เยื่อใยหยาบ

การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใย (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน)

ด้วยวิธี Detergent method

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยด้วย Detergent method อ้างอิงตาม Van Soest (1959) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

วิธีวิเคราะห์ Neutral Detergent Fiber (NDF)

สารเคมี

1. โซเดียมลอริลซัลเฟต, ($\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$), AR grade, Carlo Erba
2. ไตรเอทิลีนไกลคอล ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_4$), AR grade, Acros
3. แอนไฮดรัสไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4 anhydrous), AR grade,

Rankem

4. โซเดียมบอเรตเตตราไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), AR grade, Carlo Erba
5. ไดโซเดียมเอทิลีนไดอามีนเตตระอะซิเตต (EDTA), AR grade, Carlo Erba
6. อะซิโตน ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), AR grade, Carlo Erba
7. แอนไฮดรัสโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3 anhydrous), AR grade

การเตรียมสาร

1. ชั่งโซเดียมลอริลซัลเฟต 60 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น

300 มิลลิลิตร

2. ใส่ลงขวดปรับปริมาตรขนาด 2 ลิตร ล้างปีกเกอร์ด้วยน้ำร้อน แล้วเทใส่ขวดปรับปริมาตรเดิม
3. เติมไตรเอทิลีนไกลคอล 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรเดิม พลิกขวดไปมาให้สารเข้ากัน
4. ละลายแอนไฮดริสไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 9.12 กรัม, โซเดียมบอเรตเดคาไฮเดรต 13.62 กรัม, ไดโซเดียมเอทิลีนไดอามีนเตตระอะซิเตต 37.22 กรัม ในน้ำกลั่นร้อน
5. ใส่สารละลายที่ได้จากข้อ 4 ลงขวดปรับปริมาตรเดิมพลิกขวดให้สารผสมเข้ากัน
6. ปรับปริมาตรให้ถึงขีดด้วยน้ำกลั่น
7. ปรับค่าความเป็นกรดต่างให้อยู่ในช่วง 6.9-7.1

วิธีการ

1. นำ Sinter glass ขนาด 30 มิลลิลิตร (por.1) ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำไปทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นนำ Sinter glass ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง และลดขนาดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 mesh จำนวน 0.5 กรัม เติมสาร NDF 50 มิลลิลิตร และ แอนไฮดริสโซเดียมซัลไฟด์ 0.5 กรัม ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ต้มให้เดือด 5-10 นาที แล้วทำการ Reflux เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. กรองสารละลายผ่าน Sinter glass ที่แห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
5. ล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นร้อนอีกครั้ง โดยใช้ปริมาตรให้น้อยที่สุด
6. หยุดเครื่องกรองสุญญากาศ แล้วทำการล้างตัวอย่างด้วยอะซิโตน 2 ครั้ง ครั้งละ 15 มิลลิลิตร
7. เปิดเครื่องกรองสุญญากาศอีกครั้ง ดูดจนหมดกลั่นอะซิโตน
8. นำ Sinter glass ที่มีกากไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นานตลอดคืน ทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
9. คำนวณหา %NDF

วิธีวิเคราะห์ Acid Detergent Fiber (ADF)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก 96% (H_2SO_4), AR grade, Carlo Erba
2. เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB), AR grade, Acros
3. อะซิโตน (C_3H_6O), AR grade, Carlo Erba

การเตรียมสาร

1. ปีเปตกรดซัลฟิวริก 96% มา 27.8 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตรที่ได้เติมน้ำกลั่นไว้แล้ว 900 มิลลิลิตร

2. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดจะได้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล
3. ผสมเซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ 20 กรัม ให้เข้ากับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยใช้เครื่องปั่นกวน กวนให้สารผสมเข้ากัน
4. เทสารที่ได้ใส่เก็บไว้ในขวดสีชา

วิธีการ

1. นำ Sinter glass ขนาด 30 มิลลิลิตร (por.1) ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำไปทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นนำ Sinter glass ซังหาน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบ และบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 mesh เติมสาร ADF ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ต้มให้เดือด 5-10 นาที แล้วทำการ Reflux เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. กรองสารละลายผ่าน Sinter glass ที่แห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
5. ล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นร้อนอีกครั้ง โดยใช้ปริมาตรให้น้อยที่สุด
6. หยุดเครื่องกรองสุญญากาศ แล้วทำการล้างตัวอย่างด้วย อะซิโตน 2 ครั้ง ครั้งละ 15 มิลลิลิตร
7. เปิดเครื่องกรองสุญญากาศอีกครั้ง ดูดจนหมดกลั่นอะซิโตน
8. นำ Sinter glass ที่มีกากไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นานตลอดคืน ทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก
9. คำนวณ % ADF

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณ Acid Detergent Lignin (ADL)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก 96% (H_2SO_4), AR grade, Carlo Erba

การเตรียมสาร

1. เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
2. เติมกรดซัลฟิวริก 96% ลงในขวดปรับปริมาตรเดิมจำนวน 666.02 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดด้วยน้ำกลั่น
3. ค่อยๆพลิกขวดให้สารผสมกัน สารที่ได้จะร้อนมาก วางไว้รอสารเย็น
4. เมื่อสารเย็นลง ปริมาตรสารในขวดจะลดลงให้ทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดอีกครั้งด้วยน้ำกลั่น แล้วผสมให้เข้ากัน จะได้กรดซัลฟิวริก 72%
5. เทสารที่ได้ใส่ขวดสีชา เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

วิธีการ

1. นำ Sinter glass ที่ทำการวิเคราะห์ADF มาทำวิเคราะห์
2. เติมกรดซัลฟิวริก 72% ที่แช่เย็นลงไปครึ่ง Sinter glass คนด้วยแท่งแก้วเป็นครั้งคราว
3. เติมกรดซัลฟิวริก 72% ลงไปอีกครึ่งหนึ่งของการเติมครั้งแรก คนเป็นครั้งคราว 1 ชั่วโมง

4. ทิ้งไว้ในตู้ที่อุณหภูมิ 20-23 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง
5. นำไปกรองโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ ล้างกากโดยใช้น้ำร้อนล้างจนหมดกรด ทดสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส
6. นำ Sinter glass ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ตลอดคืน ทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
7. นำ Sinter glass ที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปเผาที่เตาเผา อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำออกไปวางไว้ในโถดูดความชื้น เมื่อเย็นแล้วจึงนำออกมาชั่งน้ำหนัก
8. คำนวณหา %ADL และ %Ash

วิธีการคำนวณปริมาณองค์ประกอบเยื่อใย

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

W_0 = น้ำหนักSinter glass ก่อนอบ

W_t = น้ำหนักSinter glass หลังอบ

W = น้ำหนักตัวอย่าง

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

W_0 = น้ำหนักSinter glass ก่อนอบ

W_f = น้ำหนักSinter glass หลังอบ

W = น้ำหนักตัวอย่าง

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

W_t = น้ำหนักSinter glass หลังอบ

W_a = น้ำหนักSinter glass หลังเผา

W = น้ำหนักตัวอย่าง (จากตอนADF)

$$\% \text{Ash} = [(W_4 - W_5) / W_3] \times 100$$

W_5 = น้ำหนักcrucible + น้ำหนักเยื่อใยหลังการเผา

W_2 = น้ำหนักcrucible เปล่า ก่อนนำมาใช้วิเคราะห์หา ADF

W_3 = น้ำหนักตัวอย่าง

$$\% \text{Hemicellulose} = \% \text{NDF} - \% \text{ADF}$$

$$\% \text{Cellulose} = \% \text{ADF} - \% \text{ADL} - \% \text{Ash}$$

$$\% \text{Lignin} = \% \text{ADL}$$

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อ้างอิงตาม Miller (1959) ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

สารเคมี

1. น้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$), AR grade, Carlo Erba
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), AR grade, Carlo Erba
3. โพแทสเซียมโซเดียมทราเทรต ($KNaC_4H_4O_6$), 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 ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. การเตรียมสาร 3,5 dinitrosalicylic acid 1%
 - ชั่ง DNS 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 M ปริมาตร 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน นำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อนจนได้สารละลายใส เติมน้ำโพแทสเซียมทราเทรตลงไปทีละน้อยจนครบ 30 กรัม ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เก็บรักษาไว้ในขวดสีชา

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

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

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

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

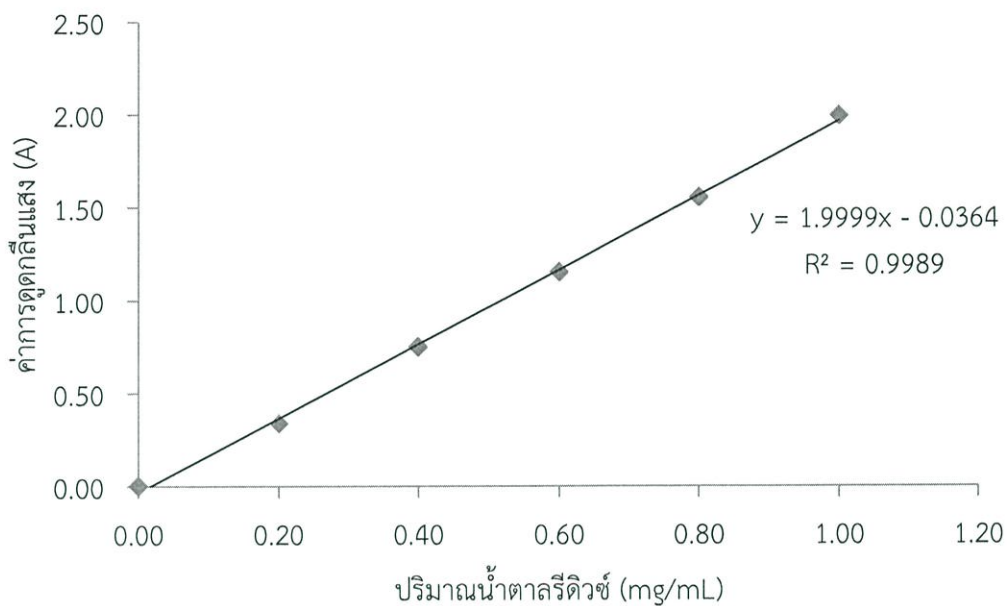
วิธีการเปลี่ยนหน่วยของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จาก mg/ml เป็น mg/g น้ำหนักแห้ง

จากการทดลอง ทำการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้โดยนำสารละลายที่ต้องการวัดมา 1 มิลลิลิตร เติม DNS 1 มิลลิลิตร นำไปวัดด้วยเครื่อง UV ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 0.16 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลาย 120 มิลลิลิตร คิดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้ดังนี้

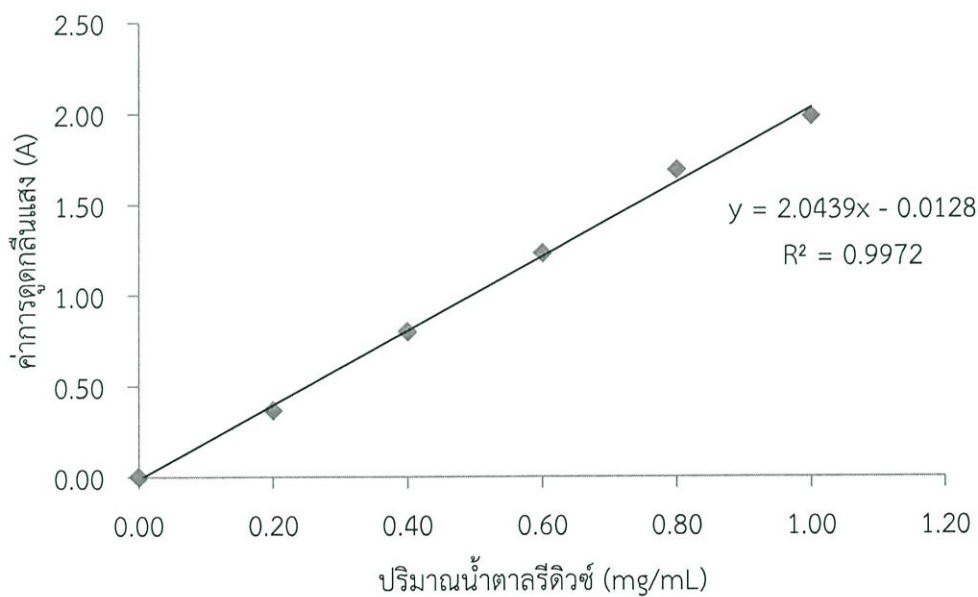
สารละลาย	1 มิลลิลิตร	มีปริมาณน้ำตาล	0.16 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
ถ้าสารละลายน้ำตาล	120 มิลลิลิตร	จะมีปริมาณน้ำตาล	$(0.16 \times 120) / 1$ มิลลิกรัม
			= 19.2 มิลลิกรัม
เปลือกเฟือก	4 กรัม	มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	19.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
ถ้าเปลือกเฟือก	1 กรัม	จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	$(19.2 \times 1) / 4$ มิลลิกรัม
			= 4.8 มิลลิกรัม

ดังนั้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้จากเปลือกเฟือก 1 กรัม มีค่า 4.8 มิลลิกรัม

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลอง



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้น



รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากกระบวนการไฮโดรไลซิส

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (Nitrogen Free Extract)

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ความชื้น				
ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)			% ความชื้น
	ตัวอย่าง	ชามระเหย+ตัวอย่าง		
		ก่อนอบ	หลังอบ	
1	1.0054	30.6674	30.5758	9.11
2	1.004	35.7062	35.6132	9.26
3	1.0048	30.7089	30.6155	9.30

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

วิเคราะห์เถ้า				
ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)			%เถ้า
	ตัวอย่าง	sinterglass+ตัวอย่าง		
		หลังเผา	sinterglass	
1	1.0017	29.2281	29.1628	6.52
2	1.0011	32.443	32.3778	6.51
3	1.0025	31.903	31.8409	6.19

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Crude protein, CP)

วิเคราะห์โปรตีน						
ครั้งที่	ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรที่ใช้ไทเทรต (mL)		ความเข้มข้นกรดที่ใช้ไทเทรต(N)	% ไนโตรเจน	%โปรตีน
		ตัวอย่าง	แบลงค์			
		1	1.0010			
2	1.0016	5.10	0.10	0.1243	0.87	5.43
3	1.0007	3.20	0.10	0.1243	0.54	3.37

ตารางที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Crude fat หรือ Ether extract, EE)

วิเคราะห์ไขมัน				
ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)			%ไขมัน
	ตัวอย่าง	ขวดก้นกลม+ตัวอย่าง		
		หลังอบ	ขวดก้นกลม	
1	1.0006	104.8092	104.8064	0.28
2	1.0017	106.0785	106.0751	0.34
3	1.0014	111.0625	111.0598	0.27

ตารางที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF)

วิเคราะห์เยื่อใย				
ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)			%เยื่อใย
	ตัวอย่าง	sinterglass+ตัวอย่าง		
		หลังอบ	หลังเผา	
1	1.5001	30.2089	30.1099	6.60
2	1.5002	29.9629	29.8307	8.81
3	1.5008	30.1209	30.0242	6.44

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS

ตารางที่ ข.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากวิธีการบำบัดขั้นต้นด้วยการแช่น้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่างกัน

สาร	เวลา (นาที)	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกเหือก (กรัม)		ค่าการดูดกลืนแสง ที่ 520 nm		ความเข้มข้นของน้ำตาล (มก/มล)		ปริมาณน้ำตาล (มก/ก.นน.แห้ง)		ผลรวมปริมาณ น้ำตาล (มก/ก.นน.แห้ง)
			ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	
แช่น้ำกลั่น	0	1	4.0020	1.0024	0.315	1.512	0.18	0.75	5.27	1116.36	1121.63
		2	4.0018	1.0022	0.303	1.346	0.17	0.66	5.10	995.02	1000.11
		3	4.0015	1.0025	0.303	1.424	0.17	0.70	5.09	1051.83	1056.91
	15	1	4.0009	1.0014	0.662	1.272	0.35	0.63	10.47	941.59	952.06
		2	4.0012	1.0012	0.674	1.425	0.36	0.70	10.65	1053.92	1064.58
		3	4.0010	1.0010	0.700	1.385	0.37	0.68	11.04	1024.81	1035.85
	30	1	4.0012	1.0005	0.599	1.345	0.32	0.66	9.53	995.98	1005.51
		2	4.0014	1.0007	0.564	1.448	0.30	0.71	9.00	1071.32	1080.32
		3	4.0010	1.0010	0.574	1.41	0.31	0.70	9.15	1043.14	1052.29
	60	1	4.0009	1.0017	0.563	1.293	0.30	0.64	8.99	956.69	965.68
		2	4.0010	1.0011	0.546	1.515	0.30	0.75	8.73	1120.01	1128.74
		3	4.0008	1.0015	0.529	1.328	0.30	0.66	8.48	982.53	991.01

Calibration curve : $y = 1.9999x - 0.0364$

ตารางที่ ข.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากวิธีการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่ระยะเวลาต่างกัน

สาร	เวลา (นาที)	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกเหือก (กรัม)		ค่าการดูดกลืนแสง ที่ 520 nm		ความเข้มข้นของน้ำตาล (มก/มล)		ปริมาณน้ำตาล (มก/ก.นน.แห้ง)		ผลรวมปริมาณ น้ำตาล (มก/ก.นน.แห้ง)
			ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	
น้ำกลั่น + auto clave	15	1	4.0020	1.0020	0.553	1.272	0.29	0.63	8.84	941.02	949.86
		2	4.0017	1.0021	0.550	1.425	0.29	0.70	8.79	1052.98	1061.77
		3	4.0016	1.0020	0.527	1.303	0.28	0.64	8.45	963.73	972.17
	30	1	4.0020	1.0021	0.558	1.345	0.30	0.66	8.91	994.39	1003.30
		2	4.0021	1.0021	0.716	1.448	0.38	0.71	11.28	1069.82	1081.10
		3	4.0019	1.0018	0.731	1.512	0.38	0.75	11.51	1117.03	1128.53
	60	1	4.0020	1.0020	0.712	1.293	0.37	0.64	11.22	956.40	967.62
		2	4.0019	1.0022	0.691	1.515	0.36	0.75	10.91	1118.78	1129.68
		3	4.0022	1.0020	0.696	1.413	0.37	0.70	10.98	1044.29	1055.27

Calibration curve : $y = 2.0439x - 0.0128$

ตารางที่ ข.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากวิธีการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระยะเวลาต่างกัน

สาร	เวลา (นาที)	ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกเหือก (กรัม)		ค่าการดูดกลืนแสง ที่ 520 nm		ความเข้มข้นของน้ำตาล (มก/มล)		ปริมาณน้ำตาล (มก/ก.นน.แห้ง)		ผลรวมปริมาณ น้ำตาล (มก/ก.นน.แห้ง)
			ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	ปรับสภาพ	ไฮโดรไลซิส	
NaOH 10% + auto clave	15	1	4.0015	1.0020	1.037	0.971	0.54	0.48	16.10	1441.12	1457.22
		2	4.0019	1.0018	1.144	1.102	0.59	0.55	17.70	1633.34	1651.04
		3	4.0015	1.0021	1.275	0.991	0.66	0.49	19.66	1470.27	1489.94
	30	1	4.0019	1.0008	1.578	1.366	0.81	0.67	24.21	2022.16	2046.37
		2	4.0021	1.0015	1.457	1.299	0.75	0.64	22.39	1922.55	1944.94
		3	4.0018	1.0018	1.686	1.385	0.86	0.68	25.83	2047.98	2073.81
	60	1	4.0021	1.0011	0.808	1.273	0.42	0.63	12.66	1885.20	1897.86
		2	4.0022	1.0015	0.983	1.192	0.51	0.59	15.28	1765.74	1781.02
		3	4.0020	1.0020	0.927	1.296	0.48	0.64	14.44	1917.20	1931.64

Calibration curve : $y = 2.0439x - 0.0128$

การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใย (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน)

ตารางที่ ข.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยจากวิธีการบำบัดขั้นต้นด้วยการแช่น้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่างกัน

สาร	เวลา (นาท)	ครั้ง ที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL			
			น้ำหนัก (กรัม)			%NDF	น้ำหนัก (กรัม)			%ADF	น้ำหนัก (กรัม)			%ADL
			ตัวอย่าง	sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		ตัวอย่าง	Sinter glass หลังอบ	Sinter glass หลังเผา	
แช่น้ำกลั่น	0	1	0.5018	30.1951	30.4629	53.37	0.5041	49.4147	49.4906	15.06	0.5041	49.4530	49.4162	7.30
		2	0.5017	30.0003	30.2991	59.56	0.5055	49.1377	49.2186	16.00	0.5055	49.1783	49.1421	7.16
	15	1	0.5019	29.9127	30.2012	57.48	0.5893	49.6273	49.7191	15.58	0.5893	49.6741	49.6346	6.70
		2	0.5018	30.1437	30.4177	54.60	0.5714	48.2072	48.2910	14.67	0.5714	48.2482	48.2091	6.84
	30	1	0.5017	31.3628	31.6454	56.33	0.5901	48.8356	48.9279	15.64	0.5901	48.8789	48.8377	6.98
		2	0.5018	31.1367	31.4214	56.74	0.5905	48.9290	49.0178	15.04	0.5905	48.9728	48.9320	6.91
	60	1	0.5017	29.9622	30.2604	59.44	0.5764	48.9154	49.0023	15.08	0.5764	48.9568	48.9159	7.10
		2	0.5018	30.0842	30.3561	54.18	0.5728	49.3739	49.4591	14.87	0.5728	49.4184	49.3763	7.35

ตารางที่ ข.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบเยื่อจากวิธีการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่ระยะเวลาต่างกัน

สาร	เวลา (นาท)	ครั้ง ที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL			
			น้ำหนัก (กรัม)			%NDF	น้ำหนัก (กรัม)			%ADF	น้ำหนัก (กรัม)			%ADL
			ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		ตัวอย่าง	Sinter glass หลังอบ	Sinter glass หลังเผา	
น้ำกลั่น + auto clave	15	1	0.5018	30.1101	30.5346	84.60	0.5000	49.4306	49.5518	24.24	0.5000	49.4933	49.4396	10.74
		2	0.5016	30.1029	30.4895	77.07	0.5004	50.9067	51.0360	25.84	0.5004	50.9680	50.9122	11.15
	30	1	0.5017	31.3997	31.8732	94.38	0.5087	48.9236	49.0410	23.08	0.5087	48.9827	48.9272	10.91
		2	0.5020	31.1325	31.5937	91.87	0.5020	49.5158	49.6319	23.13	0.5020	49.5732	49.5174	11.12
	60	1	0.5018	29.9696	30.4542	96.57	0.5010	49.9728	50.0856	22.52	0.5010	50.0274	49.9770	10.06
		2	0.5017	30.1206	30.5772	91.01	0.5043	49.5913	49.7052	22.59	0.5043	49.6483	49.5951	10.55

ตารางที่ ข.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใยจากวิธีการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระยะเวลาต่างกัน

สาร	เวลา (นาท)	ครั้งที่	วิเคราะห์ NDF				วิเคราะห์ ADF				วิเคราะห์ ADL			
			น้ำหนัก (กรัม)			%NDF	น้ำหนัก (กรัม)			%ADF	น้ำหนัก (กรัม)			%ADL
			ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		ตัวอย่าง	Sinter glass ก่อนอบ	Sinter glass หลังอบ		ตัวอย่าง	sinter glass หลังอบ	Sinter glass หลังเผา	
NaOH10% + auto clave	15	1	0.5010	30.1497	30.5784	85.57	0.5032	49.1247	49.2971	34.26	0.5032	49.1709	49.1364	6.86
		2	0.5012	30.0189	30.4291	81.84	0.4829	49.2311	49.3927	33.46	0.4829	49.2742	49.2416	6.75
	30	1	0.5012	31.1109	31.5650	90.60	0.5069	48.2427	48.4360	38.13	0.5069	48.2988	48.2605	7.56
		2	0.5011	30.1035	30.5912	97.33	0.4391	50.0607	50.2225	36.85	0.4391	50.1058	50.0723	7.63
	60	1	0.5010	30.0912	30.4949	80.58	0.5010	50.5831	50.7807	39.44	0.5010	50.6244	50.5910	6.67
		2	0.5009	29.9689	30.3837	82.81	0.4598	49.5780	49.7613	39.87	0.4598	49.6206	49.5852	7.70

ภาคผนวก ค
การคำนวณค่าทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ One-Way ANOVA

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยการแช่น้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

Sugar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1243.839	2	621.920	.149	.865
Within Groups	25093.294	6	4182.216		
Total	26337.133	8			

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

Sugar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9403.399	2	4701.700	1.001	.421
Within Groups	28172.808	6	4695.468		
Total	37576.207	8			

ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

Sugar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	375922.995	2	187961.497	26.082	.001
Within Groups	43239.787	6	7206.631		
Total	419162.782	8			

ตารางที่ ค.4 ผลการเปรียบเทียบพหุคูณของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระยะเวลาต่างกัน โดยเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD

Multiple Comparisons

Dependent Variable:sugar

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
					Lower Bound	Upper Bound	
LSD	15min	30min	-488.9727000*	69.3139291	.000	-658.577775	-319.367625
		60min	-337.4421000*	69.3139291	.003	-507.047175	-167.837025
	30min	15min	488.9727000*	69.3139291	.000	319.367625	658.577775
		60min	151.5306000	69.3139291	.071	-18.074475	321.135675
	60min	15min	337.4421000*	69.3139291	.003	167.837025	507.047175
		30min	-151.5306000	69.3139291	.071	-321.135675	18.074475

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยการแช่น้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

cellulose

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.507	2	.253	.959	.476
Within Groups	.792	3	.264		
Total	1.299	5			

ตารางที่ ค.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

Cellulose

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.929	2	2.465	9.093	.053
Within Groups	.813	3	.271		
Total	5.743	5			

ตารางที่ ค.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยด่างไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

Cellulose

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	29.374	2	14.687	33.015	.009
Within Groups	1.335	3	.445		
Total	30.709	5			

ตารางที่ ค.8 ผลการเปรียบเทียบพหุคูณของปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยด่างไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระยะเวลาต่างกัน โดยเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD

Multiple Comparisons

Dependent Variable: cellulose

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
					Lower Bound	Upper Bound	
LSD	15min	30min	-.2831000*	.6669792	.024	-4.953626	-.708374
		60min	-.5417950*	.6669792	.004	-7.540576	-3.295324
	30min	15min	.2831000*	.6669792	.024	.708374	4.953626
		60min	-.2586950*	.6669792	.030	-4.709576	-.464324
	60min	15min	.5417950*	.6669792	.004	3.295324	7.540576
		30min	.2586950*	.6669792	.030	.464324	4.709576

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยการแช่น้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

hemicellulose

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.882	2	.441	.087	.919
Within Groups	15.182	3	5.061		
Total	16.064	5			

ตารางที่ ค.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

Hemicellulose

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	295.008	2	147.504	7.287	.071
Within Groups	60.730	3	20.243		
Total	355.738	5			

ตารางที่ ค.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

Hemicellulose

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	208.728	2	104.364	8.240	.060
Within Groups	37.996	3	12.665		
Total	246.724	5			

ตารางที่ ค.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณลิกนินที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยการแช่น้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

Lignin

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.206	2	.103	6.918	.075
Within Groups	.045	3	.015		
Total	.251	5			

ตารางที่ ค.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณลิกนินที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

Lignin

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.611	2	.306	4.069	.140
Within Groups	.225	3	.075		
Total	.837	5			

ตารางที่ ค.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของปริมาณลิกนินที่ได้จากการบำบัดขั้นต้นด้วยไอน้ำภายใต้แรงดันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

Lignin

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.623	2	.311	1.726	.317
Within Groups	.541	3	.180		
Total	1.164	5			