



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การศึกษาการระเบิดด้วยไอน้ำของชานอ้อย

โดย นางสาวฉวีวรรณ ถิลาธนาพิพัฒน์

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสัจจิตย์วงศ์)

17 พฤษภาคม 2553

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.นิคม แผลมศักดิ์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิตนาฎ จันทรานุกาพ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำชัย นุ้ยศิริกุล)

การศึกษาการระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำของชานอ้อย

นางสาวฉวีวรรณ ลีธนาพิพัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นางสาววิวรรณ ลีธนาพิพัฒน์
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาการระเบิดด้วยไอน้ำของชานอ้อย
สาขาวิชา : วิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิตนาฏ จันทรานุกาพ
ปีการศึกษา : 2552

บทคัดย่อ

การระเบิดด้วยไอน้ำใช้ในการปรับคุณสมบัติของเส้นใยัญพืชเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว สำหรับกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและแผ่นใยไม้อัด โดยเฉพาะผลกระทบของความดันไอน้ำและระยะเวลาต่อลักษณะเส้นใย ปริมาณลิกนิน ปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและแอลฟา-เซลลูโลส โดยในการศึกษานี้ได้นำชานอ้อยมาระเบิดด้วยไอน้ำอิมพัลส์ที่ความดัน 17 และ 19 บาร์ เวลา 2 และ 5 นาทีในเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำชนิดทำงานเป็นครั้ง หลังการระเบิดด้วยไอน้ำพบว่าเส้นใยชานอ้อยมีลักษณะเส้นใยที่เล็กลง มีการจับตัวเป็นก้อนมากขึ้นและมีสีคล้ำโดยขึ้นอยู่กับความดัน (หรืออุณหภูมิ) และเวลาในการบำบัด การวิเคราะห์ทางเคมีของเยื่อก่อนและหลังการระเบิดด้วยไอน้ำพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเยื่อกระดาษคือ 19 บาร์ เวลา 2 นาที เนื่องจากมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและแอลฟา-เซลลูโลสอยู่สูง และปริมาณลิกนินอยู่น้อย ส่วนสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นใยไม้อัดคือที่ความดัน 19 บาร์ เวลา 5 นาที เนื่องจากมีปริมาณลิกนินจำนวนมาก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกาวใช้ในการเชื่อมเส้นใยให้เกาะติดกัน และผลของค่า severity ซึ่งเป็นพารามิเตอร์เดียวที่รวมผลกระทบของอุณหภูมิและเวลา มีค่าอยู่ในช่วง 3.45-4.03 พบว่าที่ค่า severity สูงส่งผลให้เยื่อชานอ้อยที่ได้มีขนาดเล็กลง

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 56 หน้า)

คำสำคัญ : การระเบิดด้วยไอน้ำ ชานอ้อย ไฮโดรเซลลูโลส ลิกนิน และแอลฟา-เซลลูโลส

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Name : Miss Chaweewan Leelathanapipat
Thesis Title : Study on Steam Explosion Treatment of Bagasse
Major Field : Chemical Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Assistant Professor Dr. Panitnad Chandranupap
Academic Year : 2552

Abstract

Steam explosion treatment is used to modify crop materials such as sugarcane bagasse, straws asraw fiber materials attributes for pulp and paper production and fiberboard manufacturing. In particular, the effect of steam pressure and retention time on morphology and lignin, holocellulose and α -cellulose contents of bagasse was investigated. Bagasse were cooked with saturated steam at pressure of 17 and 19 bar for 2 and 5 minutes in a steam explosion batch reactor. After steam explosion treatments, proportion of large particles decreased, while fiber bundles increased. Higher steam pressure and longer retention time resulted in more homogeneous fiber-like material and darker fibers. Chemical analysis of the pulp before and after steam explosion treatments showed that optimum condition for the production of pulp and paper from the bagasse fiber is 19 bar with retention time of 2 minutes according to the high holocellulose and α -cellulose contents and low lignin content. Optimum condition for binderless fiberboard production is 19 bar with retention time of 5 minutes because of high lignin content which is a required property for gluing the fiber bundle. The severity values of the treatment were in the range of 3.45-4.05 showing that the greater amount and smaller size of bagasse pulps were obtained with increasing severity of steam explosion treatment.

(Total 56 pages)

Keywords : Steam Explosion, Bagasse, Holocellulose, Lignin and α -cellulose

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิตนาฏ จันทรานุกาฬ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำ วิทยานิพนธ์ สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และโรงงานน้ำตาลครบุรีจำกัดที่อนุเคราะห์สถานที่อภัยเพื่อทำการวิจัย จึงขอขอบพระคุณพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ฉวีวรรณ ลีลาธนาพิพัฒน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๑๐
สารบัญตาราง	๗
สารบัญภาพ	๗
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 วิธีการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้เกี่ยวกับอ้อย	3
2.2 ชานอ้อย	17
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อไม้	19
2.4 ปฏิกิริยา Condensation	23
2.5 วิธีการแยกเยื่อ	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	33
3.1 อุปกรณ์	33
3.2 การเตรียมวัตถุดิบ	33
3.3 วิธีการทดลอง	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 การศึกษาคุณลักษณะของเส้นใยด้วยกล้องถ่ายภาพและเครื่อง SEM	39
4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผลการทดลอง	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก ก	52
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีโดยวิธีทางสถิติ (ANOVA)	52
ประวัติผู้วิจัย	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของประเทศผู้ผลิตที่สำคัญ ปี พ.ศ. 2545-2547	12
2-2 เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ราคา และมูลค่าของผลผลิตตามราคา เกษตรกรขายได้ ในปี พ.ศ. 2539-2548	13
2-3 พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ปี พ.ศ. 2547/48-2552/53	14
2-4 เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ในปี พ.ศ. 2551	15
2-5 องค์ประกอบทางฟิสิกส์ของชานอ้อย	17
2-6 การวิเคราะห์ทางเคมีของชานอ้อย	17
2-7 ตัวอย่างการนำเชื้อชานอ้อยไปใช้ประโยชน์ของการผลิตกระดาษและกระดาษแข็ง	18
2-8 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของชานอ้อยและไม้	19
2-9 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่เป็นพืชที่ไม่ใช่ไม้	29
3-1 สภาพที่ใช้ในการระเบิดด้วยไอน้ำ	34
4-1 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย	42
4-2 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังระเบิดด้วยไอน้ำ	43
ก-1 ข้อมูลตัวแปรในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ	54
ก-2 ข้อมูลทางเคมีในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ	54
ก-3 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณไฮโดรเซลลูโลส	55
ก-4 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณลิกนิน	55
ก-5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส	55

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ลักษณะการแตกกอของอ้อย	5
2-2 ลักษณะตออ้อย (Stubble หรือ Root Stock)	5
2-3 ลักษณะรากของอ้อย	6
2-4 ลักษณะลำต้นของอ้อย	7
2-5 ส่วนต่างๆ ของอ้อย	7
2-6 สถานการณ์พื้นที่เพาะปลูกอ้อยทั่วประเทศไทย ปีการผลิต พ.ศ. 2548/2549	10
2-7 พื้นที่ปลูกอ้อยและที่ตั้งโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศไทย ปีการผลิต พ.ศ. 2550/2551	11
2-8 แผนผังการวิเคราะห์เซลลูโลสในไม้	20
2-9 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	20
2-10 แผนผังการวิเคราะห์องค์ประกอบเซลลูโลสชนิดต่างๆ ในเชื้อ	21
2-11 โครงสร้างทางเคมีหลักของลิกนิน	22
2-12 รูปแบบการเชื่อมต่อกัน (Linkages) ของลิกนิน	22
2-13 โครงสร้างทางเคมีของสารแทรกบางชนิดในเนื้อไม้	23
2-14 การ Condensation ของปฏิกิริยา Benzylium Ion กับ Weakly Nucleophilic Resonance ที่ตำแหน่ง C1	24
2-15 การ Condensation ของปฏิกิริยา Benzylium Ion กับ Weakly Nucleophilic Resonance ที่ตำแหน่ง C6	24
2-16 การ Degradation ของเพนโตสและเฮกโซสภายใต้สภาวะกรดและการ Condensation ของผลิตภัณฑ์ Degradation ในหน่วยของลิกนิน	25
2-17 กราฟความสามารถในการเปียกน้ำของฟางข้าวที่ตัวอย่างควบคุม (Control) และหลังจากการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 200 °C เวลา 3 นาที	30
2-18 ปริมาณเถ้าและซิลิกอนของฟางข้าวก่อนและหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ	31
4-1 รูปของกากอ้อยก่อนและหลังการระเบิดด้วยไอน้ำถ่ายด้วยกล้องถ่ายรูป	40
4-2 ลักษณะของเส้นใยที่ถ่ายด้วยเครื่อง SEM	41
4-3 ปริมาณไฮโดรเซลลูโลสที่เหลืออยู่ในขานอ้อยหลังระเบิดด้วยไอน้ำ	43
4-4 ปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในขานอ้อยหลังระเบิดด้วยไอน้ำ	44
4-5 ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสที่เหลืออยู่ในขานอ้อยหลังระเบิดด้วยไอน้ำ	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-6 ค่า $\log R_o$ ของชานอ้อยหลังระเบิดด้วยไอน้ำ	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อ้อยเป็นพืชที่สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำตาล ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบทั้งในอาหาร ขนม และใช้ในอุตสาหกรรมอื่นอีกมากมาย ดังนั้นความต้องการอ้อยจึงมีมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดของเสียหรือส่วนที่เหลือจากโรงงานน้ำตาล ซึ่งอาจทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยปัจจุบันการปลูกอ้อยในประเทศไทยมีปริมาณ 73,501 ล้านตัน และจัดเป็นประเทศลำดับต้นๆ ที่มีปริมาณการปลูกอ้อยที่สูง ซึ่งถ้าดูจากปริมาณการปลูกอ้อยจะเห็นได้ว่ามีปริมาณที่มาก ดังนั้นถ้าอ้อยที่ปลูกได้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ก็จะเหลือขานอ้อย (Bagasse) อยู่เป็นปริมาณที่สูงตามไปด้วย และถึงโรงงานน้ำตาลจะนำขานอ้อยที่ได้ไปเป็นเชื้อเพลิง แต่ก็ไม่ได้ก่อให้เกิดมูลค่าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้านำขานอ้อยมาสร้างมูลค่า ก็จะเป็นการลดปริมาณของเสียและเป็นการเพิ่มรายได้ อีกทางหนึ่ง

ขานอ้อยมีส่วนที่มีเส้นใยอยู่ประมาณ 55 % ซึ่งนับเป็นปริมาณที่มากที่สุดทีเดียว ดังนั้นจึงควรศึกษาการนำขานอ้อยมาผ่านกระบวนการที่สามารถสร้างประโยชน์ได้ โดยในงานวิจัยครั้งนี้ได้นำขานอ้อยมาผ่านกระบวนการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำ เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อย เช่น ปริมาณลิกนิน โพลีแซคคาไรด์ และแอลฟาแซคคาไรด์ เป็นต้น ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่จะก่อให้เกิดประโยชน์และมูลค่าเพิ่ม เช่น อุตสาหกรรมกระดาษหรือแผ่นใยไม้อัด เป็นต้น ก็จะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นการเพิ่มมูลค่า

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาขั้นตอนการผลิตเยื่อจากขานอ้อย โดยวิธีการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำ

1.2.2 วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของวัตถุดิบ เช่น ปริมาณลิกนิน ปริมาณแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ

1.2.3 ศึกษาผลกระทบที่มีผลต่อเยื่อของขานอ้อย เช่น เวลา ความดัน หลังจากที่ทำกระบวนการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำแล้ว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำ

- 1.3.2 ทำการทดลองเพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของเยื่อที่เตรียมได้
- 1.3.3 วิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำของเยื่อจากชานอ้อย

1.4 วิธีการวิจัย

- 1.4.1 จัดหาและเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อจากชานอ้อย
- 1.4.2 ศึกษาทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีระเบิดด้วยไอน้ำ
- 1.4.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ความดันและเวลาที่มีผลต่อการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำ

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

- 1.5.1 เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรมาเพิ่มมูลค่า
- 1.5.2 ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการผลิตเยื่อจากชานอ้อยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป
- 1.5.3 เป็นทางเลือกในการใช้วัสดุทดแทนในการผลิตเยื่อกระดาษ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับอ้อย (Sugarcane)

อ้อยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* L. มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย โดยเชื่อกันว่าคำว่า *Saccharum* อาจมาจากภาษาสันสกฤตว่า ศาคารา (Sarkara) และแพร่กระจายจากเอเชียไปยังหมู่เกาะเมลานีเซีย (Melanesia) ตะวันออกกลาง และแอฟริกาเหนือ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.), [ม.ป.ป.])

2.1.1 กำเนิดอ้อย

แม้ว่าจะมีข้อโต้แย้งกันบ้างเกี่ยวกับถิ่นกำเนิดอ้อยว่าเป็นอินเดียหรือบริเวณใดของเอเชีย แต่นักวิชาการสมัยใหม่เชื่อกันว่า อ้อยพื้นเมืองมีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะนิวกินี (New Guinea) ในแปซิฟิกตอนใต้ หลังจากนั้นได้แพร่ขยายไปตามการอพยพของคนใน 3 ทางด้วยกัน คือ

2.1.1.1 ทางตะวันออกเฉียงเหนือ จากเกาะนิวกินีไปทางหมู่เกาะโซโลมอน (Solomon Island) นิวฮิบรีดิส (New Hibrides) และนิวคาลิโดเนีย (New Caledonia) เริ่มตั้งแต่ 8,000 ปีก่อนคริสตกาล

2.1.1.2 ทางตะวันตก เริ่มตั้งแต่ 6,000 ปีก่อนคริสตกาลหรือหลังจากการกระจายตัวครั้งแรก 2,000 ปี อ้อยได้ขยายตัวไปทางตะวันตกของเกาะนิวกินีอย่างช้าๆ ไปยังประเทศอินโดนีเซีย แหลมมาลายู ฟิลิปปินส์ อินโดจีน (อาจรวมถึงประเทศไทยด้วย) และชายฝั่งของอ่าวเบงกอล กว่าที่อ้อยจะถึงประเทศอินเดียนั้น ต้องใช้เวลาถึง 3,000 ปี

2.1.1.3 ทางตะวันออก เกิดขึ้นในราว ค.ศ. 600-1100 อ้อยจะกระจายตัวไปยังเกาะต่างๆ ที่อยู่ฝั่งตะวันออกของหมู่เกาะนิวฮิบรีดิส คือ ฟิจิ (Fiji) ตองกา (Tonga) ซามัว (Samua) คุก (Cook) มาร์เคซาส (Marquesas) โซไซเอตี้ (Society) อีสเตอร์ (Easter) และฮาวาย (Hawaii) รวมถึงทั้งส่วนอื่นๆ ของเกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.), [ม.ป.ป.])

2.1.2 พันธุ์อ้อย

อ้อยเป็นพืชอยู่ในสกุล *Saccharum* ซึ่งพืชในสกุลนี้มีอยู่ด้วยกัน 6 Species คือ

2.1.2.1 *S. spontaneum* จัดเป็นอ้อยป่า มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลต่ำมาก แต่มีเชื้อไขสูง ลำต้นเล็ก ใบแคบ ทนทานต่อความแห้งแล้งและต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูอ้อย มีถิ่นกำเนิดอยู่เขตกึ่งร้อนในอินเดีย

2.1.2.2 *S. robustum* เป็นอ้อยป่า มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลต่ำ เชื้อไขสูง ลำต้นยาวตั้งตรงและใหญ่ ไม่มีการแตกกิ่งก้าน มีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะนิวกินีและหมู่เกาะเมลานีเซีย

2.1.2.3 *S. sinense* เรียกกันว่า อ้อยจีน เป็นอ้อยขนาดเล็กและแข็ง มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลปานกลาง เชื้อไขสูง ปล้องยาวแต่ลำเล็ก ใบยาวแคบ มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน

2.1.2.4 *S. barberi* Jesw. เรียกว่าอ้อยอินเดีย เป็นอ้อยที่มีขนาดเล็ก และแข็ง เช่นเดียวกับอ้อยจีน มีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลปานกลาง แต่เชื้อไขสูง ปล้องยาวปานกลาง แต่ลำเล็ก ใบสั้นแคบ มีถิ่นกำเนิดทางเหนือของประเทศอินเดีย

2.1.2.5 *S. edule* เป็นลูกผสมระหว่าง *S. robustum* และ *Miscanthus floridulus* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในหมู่เกาะนิวกินี ซึ่งคนพื้นเมืองของหมู่เกาะเมลานีเซียใช้ดอกเป็นอาหาร

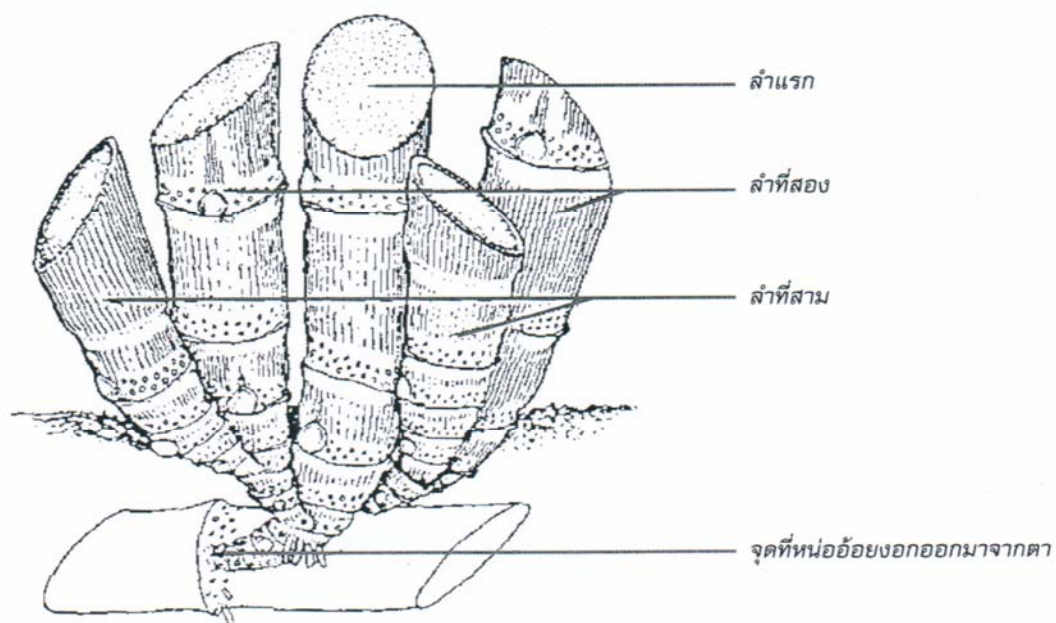
2.1.2.6 *S. officinarum* L. เป็นอ้อยที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ปัจจุบันมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูง แต่เชื้อไขค่อนข้างต่ำ ปล้องยาว ลำใหญ่ มีใบยาวและกว้าง สำหรับถิ่นกำเนิดอยู่ที่เขตของอินโด เมียนมาร์ จีน (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย(สอน.), [ม.ป.ป.] และ Stevenson, 1965)

2.1.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอ้อย

อ้อยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจำพวกหญ้าตระกูลเดียวกับพืชอื่น เช่น ข้างฟาง หญ้าจอนหัดสัน และข้าวโพด อ้อยมีลำต้นขนาดเล็กสูงประมาณ 3 เมตร จนถึงอ้อยพันธุ์ยักษ์สูงตั้งแต่ 2.4-7.3 เมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3-7.7 เซนติเมตร มีข้อปล้องยาว 10-20 เซนติเมตร (อัศวิทธิ์, [ม.ป.ป.])

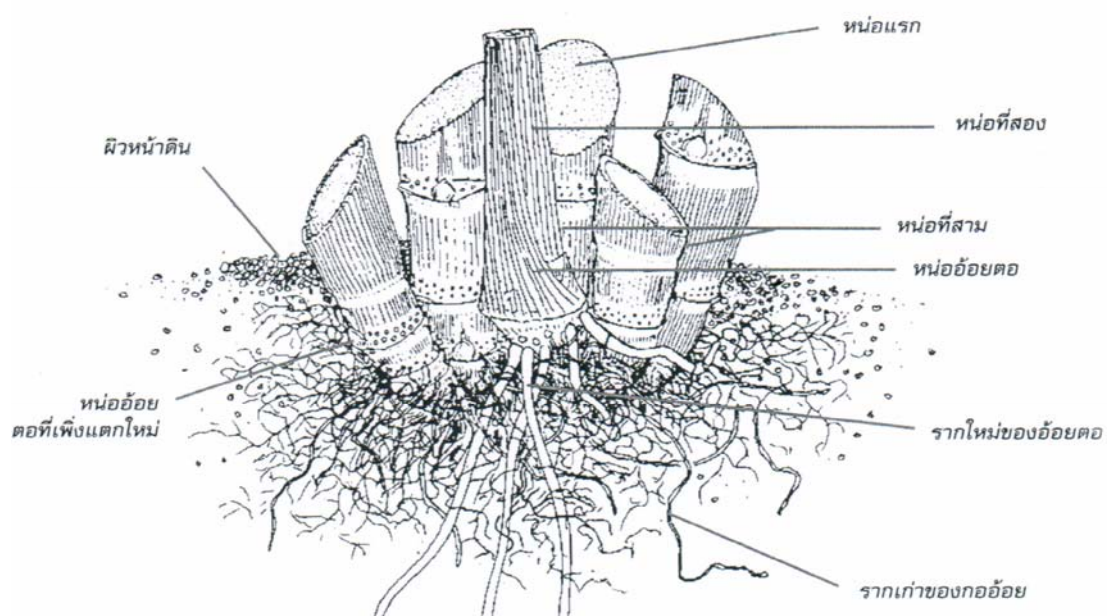
อ้อยจัดอยู่ในวงศ์ (Family) : Gramineae สกุล (Genus) : *Saccharum* ชนิด (Species) : *officinarum* อ้อยเป็นพืชที่มีการแตกกอ กอหนึ่งจะมีอ้อย 5-7 ลำ เรียกว่า กกอ้อย (Stool) เมื่อเก็บเกี่ยวส่วนที่อยู่บนดินหรือลำต้นอ้อยแล้ว ส่วนที่เหลืออยู่เรียกว่า ตออ้อย (Stubble หรือ Root Stock) อ้อยที่ปลูกส่วนใหญ่ใช้ท่อนพันธุ์ปลูก เมื่อเก็บเกี่ยวครั้งแรกเรียกว่า อ้อยปลูก (Planting Cane) หลังจากเก็บเกี่ยวตออ้อยจะแตกหน่อและเจริญเติบโตต่อไป เรียกว่า อ้อยตอ (Ratoon Cane) การไว้ตออ้อย (Ratooning) นั้น สามารถไว้ได้ 1-3 ปี หรือเก็บเกี่ยวได้ 1-3 ครั้ง หรืออาจมากกว่าขึ้นอยู่กับ การดูแลรักษาอ้อยปลูก ลักษณะทางพฤกษศาสตร์โดยทั่วไปของอ้อยมีส่วนต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

2.1.3.1 ราก อ้อยมีระบบรากแบบ Fibrous Root System แผ่กระจายโดยรอบลำต้น เมื่อปลูกอ้อยท่อนพันธุ์จะมีรากเกิดขึ้น 2 ลักษณะ คือ



ภาพที่ 2-1 ลักษณะการแตกกอของอ้อย

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.), [ม.ป.ป.]



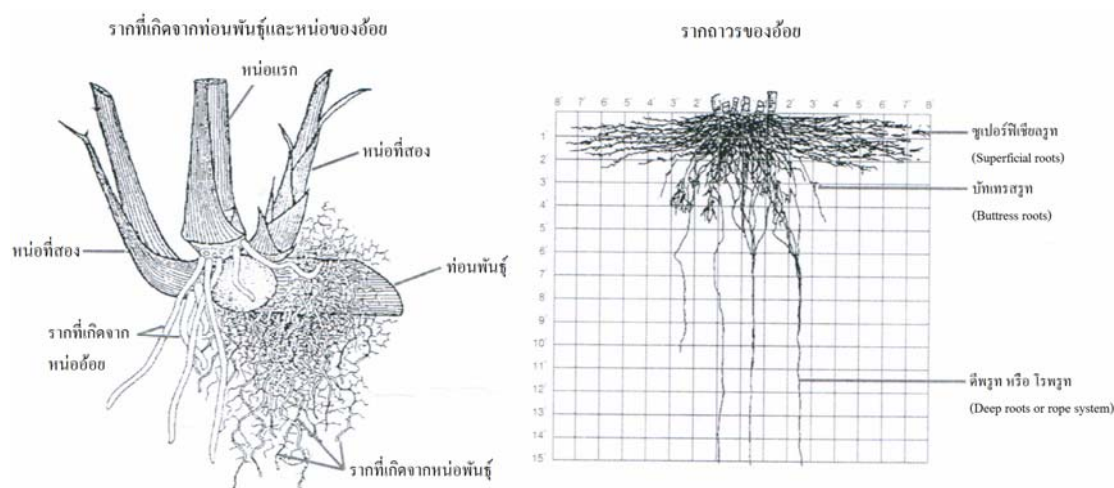
ภาพที่ 2-2 ลักษณะตออ้อย (stubble หรือ root stock)

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.), [ม.ป.ป.]

ก) รากที่เกิดจากท่อนพันธุ์ จะเกิดจากปมราก (Root Primordia) อยู่บริเวณวงราก (Root Band) ที่ข้อของอ้อย (Node) ทำหน้าที่ดูดน้ำและอาหารเพื่อเลี้ยงหน่ออ้อยที่งอกในระยะแรก รากชนิดนี้จะมีอายุประมาณ 2-3 เดือน จนกระทั่งรากที่เกิดจากหน่ออ้อยจะสามารถทำหน้าที่ต่างๆ แทนได้ รากเหล่านี้ก็จะตายไป รากชนิดนี้ถือว่าเป็นรากรุ่นแรก (Primary Root)

ข) รากที่เกิดจากหน่ออ้อย เกิดจากปมราก (Root Primordia) บริเวณข้อที่โคนของหน่ออ้อย (Shoot) รากชนิดนี้มีสีขาวและขนาดใหญ่กว่ารากที่เกิดจากท่อนพันธุ์ แต่มีการแตกแขนงน้อยกว่าในระยะแรก

ส่วนรากที่เกิดจากอ้อยต่อจะคล้ายกับรากของอ้อยปลูกคือ เกิดโคนต้นอ้อยของอ้อยต่อ แต่จะเจริญได้ไม่ดีเท่ารากของอ้อยปลูก ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวอ้อยปลูก รากของอ้อยปลูกจะทำหน้าที่อยู่ระยะหนึ่ง จนกระทั่งระบบรากใหม่จะเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ รากเก่าจะลดหน้าที่ลงและเน่าเปื่อยไป

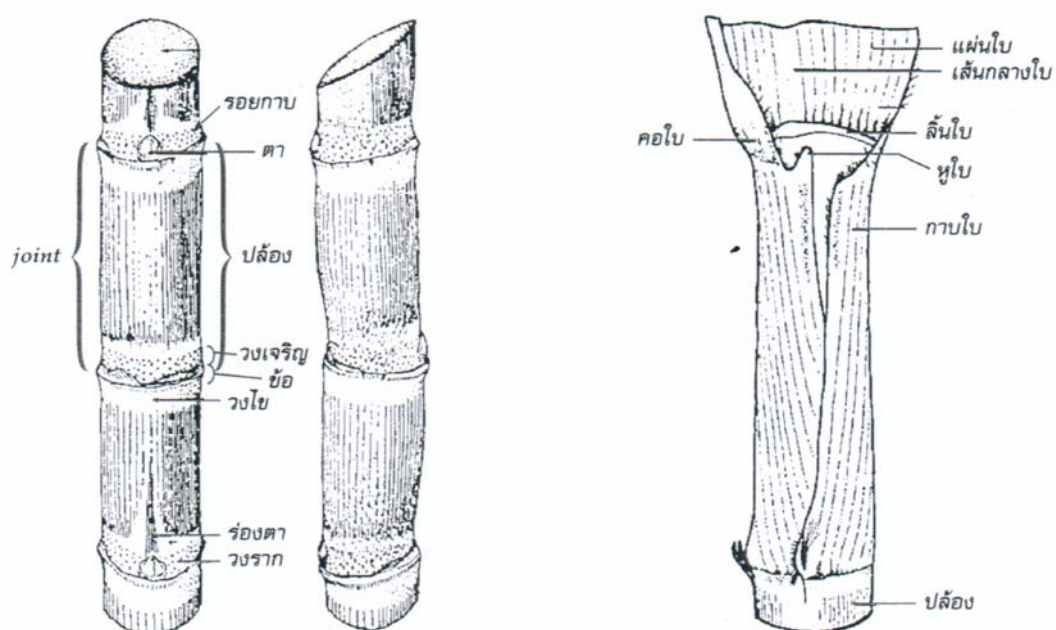


ภาพที่ 2-3 ลักษณะรากของอ้อย

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.), [ม.ป.ป.]

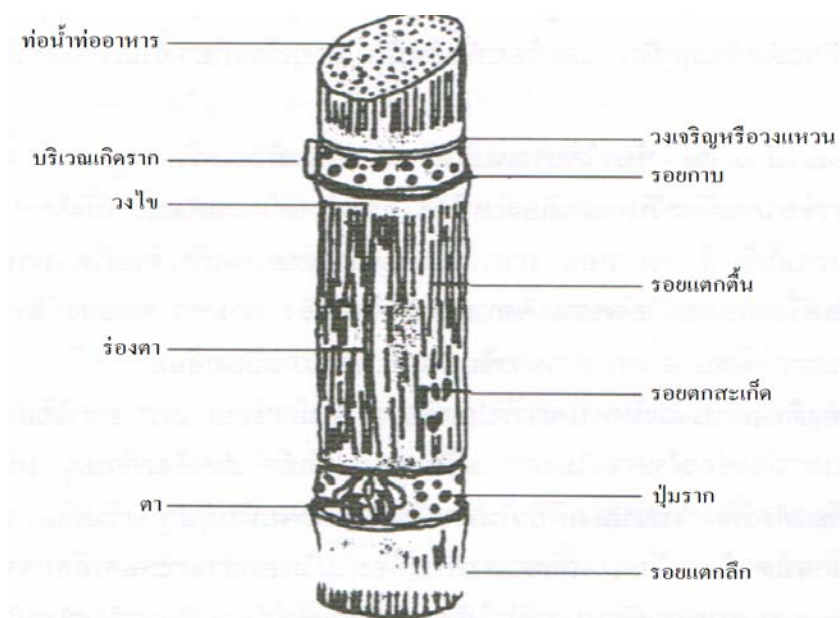
2.1.3.2 ลำต้น อ้อยเป็นพืชที่มีลักษณะลำต้นเป็นลำต้นเดี่ยวๆ มีข้อและปล้องเห็นได้ชัดเจน ไม่มีกิ่งก้าน ถ้าผ่าตามขวางจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมหรือเป็นรูปไข่ ลำต้นจะมีสีต่างๆ กัน ตั้งแต่โทนสีเหลือง เขียว ขาว จนถึงสีม่วง สามารถใช้ประกอบในการจำแนกพันธุ์ได้ ลำต้นประกอบด้วยปล้อง (Internode) และข้อ (Node) โดยมีความยาวจากรอยกาบใบหนึ่ง (Leaf Scar) ถึงรอยกาบใบอีกอันหนึ่งเรียกว่า Joint

ลำต้นของอ้อยจะมีปล้องแข็งและจะมีไข (Wax) เกาะโดยรอบเปลือกบริเวณปล้อง ยกเว้นตรงส่วนของวงเจริญปริมาณของไขขึ้นกับพันธุ์และจะพบมากตรงส่วนบนของปล้อง



ภาพที่ 2-4 ลักษณะลำต้นของอ้อย

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.), [ม.ป.ป.]



ภาพที่ 2-5 ส่วนต่างๆ ของอ้อย (อัสวิทย์, [ม.ป.ป.])

2.1.3.3 ใบ ใบอ้อยเกิดที่ข้อมี 2 ส่วน คือ

ก) กาบใบ (Leaf Sheath) เกิดที่ข้อเป็นส่วนที่หุ้มลำต้นไว้และเชื่อมต่อกับแผ่นใบ บริเวณส่วนนอกของกาบใบอาจมีขน (Hair) ปริมาณเล็กน้อยแตกต่างกันไปตามพันธุ์อ้อย บางพันธุ์อาจมีขนมากและแข็งเป็นอุปสรรคในการเก็บเกี่ยว แต่บางพันธุ์ไม่มีขนเลย

ข) แผ่นใบ (Leaf Lamina or Blade) จะเรียงตัวสลับกันเป็น 2 แถว ในใบที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะมีเส้นกลางใบ (Midrib) ที่แข็งแรงสีขาว (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย(สอน.), [ม.ป.ป.] และอัสวิทย์, [ม.ป.ป.])

2.1.4 การปลูก

การปลูกอ้อยในประเทศไทยมี 2 ฤดู คือ ปลูกในช่วงฤดูที่มีฝน (พฤษภาคมถึงกรกฎาคม) ชาวไร่มักนิยมแบบนี้ และปลูกในปลายฤดูฝน (ที่เรียกกันว่าปลูกข้ามแล้งจะปลูกกันประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม อ้อยข้ามแล้งมีอายุ 12-14 เดือน ยาว 2-4 เมตร หน้า 2-3 กิโลกรัม โดยประมาณ ทำให้มีน้ำตาลมาก)

การเลือกพันธุ์อ้อยที่จะปลูกต้องดูความเหมาะสมของอายุพันธุ์ที่จะเก็บเกี่ยว คือ ธรรมชาติของอ้อยนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 พันธุ์ คือ พันธุ์เบา พันธุ์กลาง และพันธุ์หนัก พันธุ์เบาเมื่ออายุเก็บเกี่ยวสั้นเพียง 8-10 เดือน เหมาะที่จะตัดต้นฤดูหีบ และอ้อยพันธุ์หนัก อายุเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 12 เดือนขึ้นไปเหมาะที่จะตัดปลายฤดูหีบ (อัสวิทย์, [ม.ป.ป.])

2.1.5 พื้นที่ปลูกอ้อย

อ้อยเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนแสงแดดจัด นิยมปลูกกันในประเทศเขตร้อนชื้น ระหว่างเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือได้

2.1.6 การใช้ประโยชน์ผลผลิตอ้อย

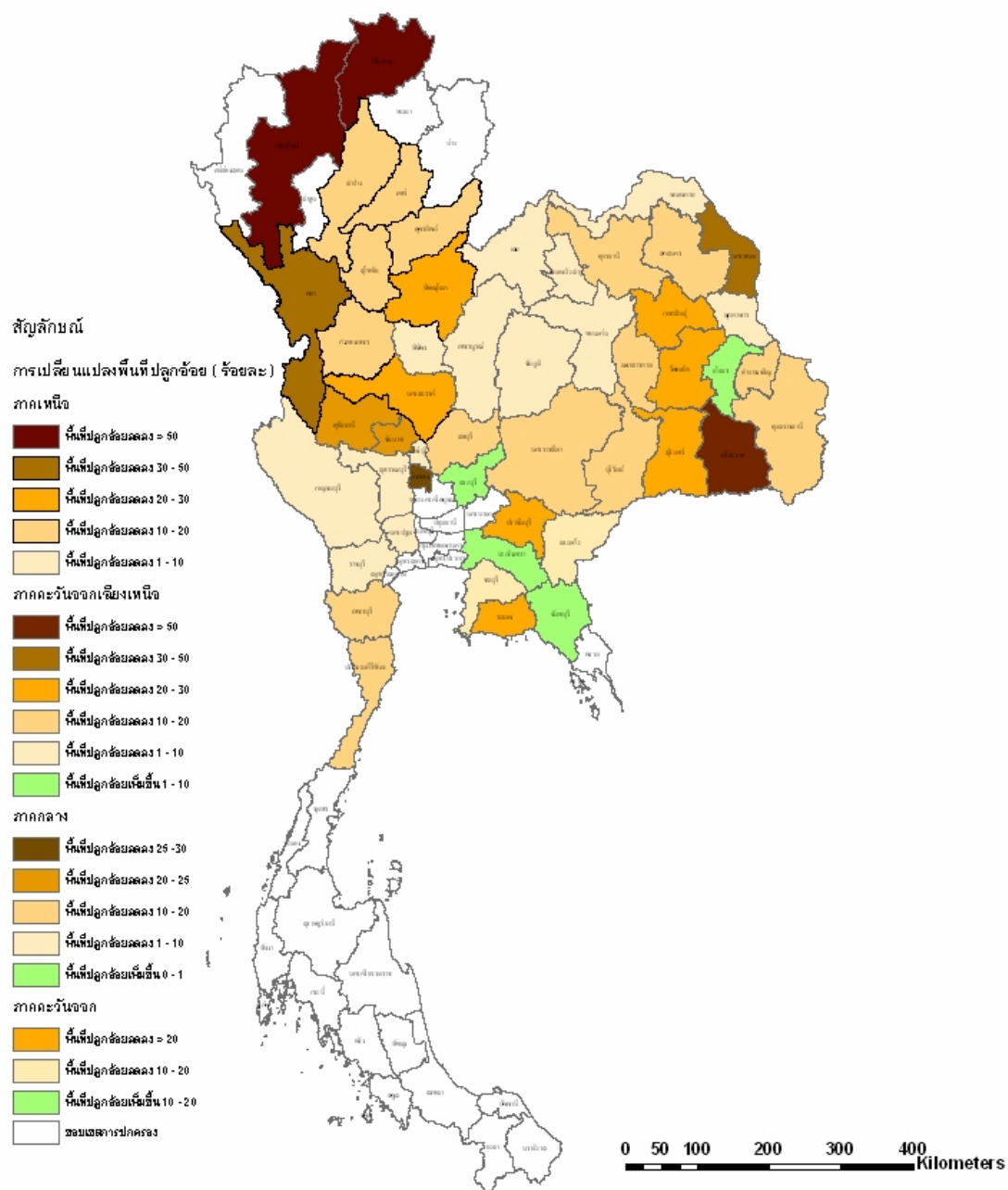
อ้อยจัดเป็นพืชที่มีประโยชน์และคุณค่ามหาศาลแก่มนุษย์ เพราะนอกจากจะหีบเอาน้ำอ้อยมาทำน้ำตาลแล้ว ยังมีผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้อีกอย่างอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นใบอ้อย ขุยมอ อ้อย รากอ้อย เปลือกอ้อย กากอ้อย จีตะกอนอ้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกากน้ำตาล (โมลาส) สุกท้าย

2.1.6.1 ต้นอ้อย ใช้ปอกเปลือกควั่นขบเคี้ยวดื่มกินน้ำหวาน ใช้ป้อนเป็นอาหารสัตว์ ใช้เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมพิธีมงคลต่างๆ ตามประเพณีโบราณ

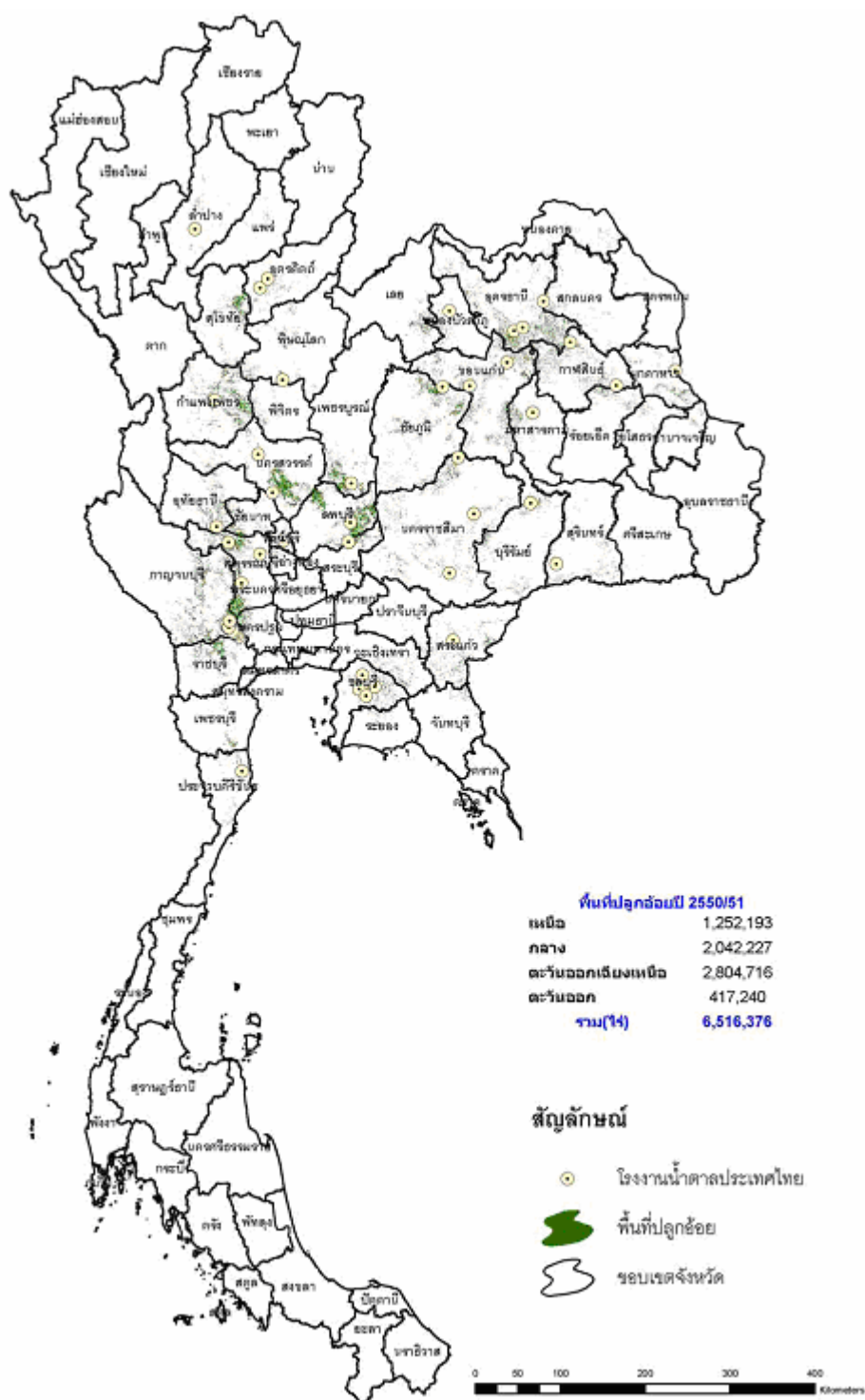
2.1.6.2 น้ำอ้อย ใช้รับประทาน ทำน้ำส้มสายชู ทำเหล้า ทำแอลกอฮอล์ ทำเหล้ารัม ทำน้ำเชื่อม ทำชีร์มในรูปแบบต่างๆ ทั้งทางอาหารและยา ใช้กลั่นผสมกับน้ำมันเบนซินสำหรับเครื่องยนต์ เครื่องจักรและรถยนต์ นำไปเคี่ยวทำน้ำตาลงบ น้ำตาลทรายชนิดต่างๆ

2.1.6.3 กากอ้อย (ชานอ้อย) ใช้ทำเชื้อเพลิง ผลิตเป็นกระดาษใช้ในรูปแบบต่างๆ เช่น ถุงใส่สัมภาระ กระดาษห่อของ กระดาษสำหรับเขียน กระดาษเช็ดหน้า เป็นต้น ทำแผ่นไม้ประกอบ กระดาษอัดแผ่น นำไปผสมกากน้ำตาลไว้เลี้ยงสัตว์ ใช้ทำปุ๋ย และผลิตไซลิตอล

2.1.6.4 กากน้ำตาล (โมลาส) สามารถใช้ได้ ในอุตสาหกรรม เช่น ผลิตเป็นแอลกอฮอล์ ผงชูรส ซีอิ๊ว น้ำปลา ยีสต์ทำขนม สารเคลือบผิวทำเบรครถยนต์ สารอินซูลิน เป็นต้น (อัศวิทย์, [ม.ป.ป.])



ภาพที่ 2-6 สถานการณ์พื้นที่เพาะปลูกอ้อยทั่วประเทศไทย ปีการผลิต พ.ศ. 2548/2549
ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.), 2549



ภาพที่ 2-7 พื้นที่ปลูกอ้อยและที่ตั้งโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศไทย ปีการผลิต พ.ศ. 2550/2551
ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.), 2549

ตารางที่ 2-1 เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของประเทศผู้ผลิตที่สำคัญปี พ.ศ. 2545-2547

ประเทศ	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (1,000 ไร่)			ผลผลิต (1,000 ตัน)			ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)		
	2545	2546	2547	2545	2546	2547	2545	2546	2547
รวมทั้งโลก	127,468	129,391	126,072	1,324,874	1,347,684	1,319,138	10,394	10,416	10,463
บราซิล	31,878	33,356	34,095	363,721	389,849	411,010	11,410	11,688	12,055
อินเดีย	27,573	28,798	25,625	297,208	281,600	244,800	10,779	9,778	9,553
จีน	8,881	8,956	8,225	92,203	92,039	93,200	10,382	10,277	11,331
ไทย	6,320	7,121	7,009	60,013	74,259	64,974	9,496	10,429	9,270
ปากีสถาน	6,248	6,788	6,561	48,042	52,056	52,040	7,689	7,669	7,932
เม็กซิโก	3,951	3,994	3,994	45,635	45,127	45,127	11,550	11,299	11,299
โคลัมเบีย	2,688	2,719	2,750	35,800	37,000	37,100	13,318	13,608	13,491
ออสเตรเลีย	2,606	2,644	2,594	32,260	37,968	36,892	12,379	14,360	14,222
ฟิลิปปินส์	2,398	2,444	2,375	27,203	25,865	28,000	11,344	10,583	11,789
สหรัฐอเมริกา	2,588	2,515	2,432	32,253	30,715	27,501	12,463	12,213	11,308
อื่นๆ	32,337	30,056	30,412	290,536	281,206	278,494	8,985	9,356	9,157

ที่มา : สำนักวิจัยพืชไร่, 2549

ตารางที่ 2-2 เนื้อที่ ผลิตผลผลิตต่อไร่ ราคา และมูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เกษตรกรขายได้ ในปี พ.ศ. 2539-2548

ปี พ.ศ.	เนื้อที่เพาะปลูก (1,000 ไร่)	ผลผลิต (1,000 ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)	ราคาที่เกษตรกรขายได้ (บาท/ตัน)	มูลค่าของผลผลิตตามราคาที่ เกษตรกรขายได้ (ล้านบาท)
2539	6,279	57,974	9,233	386	22,378
2540	6,314	56,393	8,932	410	23,121
2541	5,897	43,465	7,370	507	22,037
2542	5,735	50,332	8,777	470	23,656
2543	5,710	54,052	9,466	446	24,107
2544	5,481	49,563	9,042	514	25,475
2545	6,320	60,013	9,496	435	26,106
2546	7,121	74,259	10,429	406	30,149
2547	7,009	64,974	9,270	398	25,860
2548	6,668	49,572	7,435	520	25,777

ที่มา : สำนักวิจัยพืชไร่, 2549

ตารางที่ 2-3 พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ปี พ.ศ. 2547/48-2552/53

ปี พ.ศ.	พื้นที่ปลูก (ล้านไร่)	ผลผลิต (ล้านตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (ตัน)
2547/48	6.70	49.60	7.40
2548/49	6.03	47.66	7.90
2549/50	6.31	64.37	10.19
2550/51	6.59	73.50	11.15
2551/52	6.02	66.78	11.09
อัตราเพิ่ม (%)	-1.24	10.83	12.23
2552/53	6.26	71.11	11.35

ที่มา : สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2552

ตารางที่ 2-4 เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ในปี พ.ศ. 2551

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
รวมทั้งประเทศ	6,588,174	73,501,611	11,157
ภาคเหนือ	1,796,980	20,569,372	11,447
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2,521,455	27,890,193	11,061
ภาคกลาง	2,269,739	25,042,046	11,033
เชียงราย	509	4,056	7,969
ลำปาง	27,478	209,759	7,634
เชียงใหม่	1,723	15,313	8,887
ตาก	9,418	90,433	9,602
กำแพงเพชร	427,894	5,114,894	11,954
สุโขทัย	150,270	1,556,896	10,361
แพร่	2,082	21,811	10,476
อุดรดิตถ์	90,559	954,532	10,540
พิษณุโลก	121,011	1,319,578	10,905
พิจิตร	43,819	466,165	10,638
นครสวรรค์	520,890	6,177,248	11,859
อุทัยธานี	185,194	2,027,750	10,949
เพชรบูรณ์	216,133	2,610,937	12,080
เลย	66,289	623,831	9,411
หนองบัวลำภู	34,766	327,454	9,419
อุดรธานี	370,493	3,920,246	10,581
หนองคาย	7,445	75,123	10,090
สกลนคร	16,337	158,904	9,727
นครพนม	6,810	71,682	10,526
มุกดาหาร	94,712	1,023,348	10,805
ยโสธร	4,162	42,796	10,283
อำนาจเจริญ	3,230	32,843	10,169

ตารางที่ 2-4 (ต่อ)

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
สุรินทร์	159,405	1,699,468	10,661
บุรีรัมย์	133,205	1,434,526	10,769
มหาสารคาม	32,691	338,149	10,344
ร้อยเอ็ด	15,521	164,522	10,600
กาฬสินธุ์	272,119	3,122,303	11,474
ขอนแก่น	482,672	5,662,234	11,731
ชัยภูมิ	310,147	3,521,550	11,354
นครราชสีมา	511,451	5,671,214	11,088
สระบุรี	154,823	1,603,869	10,359
ลพบุรี	314,482	3,282,130	10,437
สิงห์บุรี	36,350	391,552	10,772
ชัยนาท	35,554	386,846	10,881
สุพรรณบุรี	385,524	4,509,872	11,698
อ่างทอง	13,024	144,656	11,107
ปราจีนบุรี	5,635	54,916	9,746
ฉะเชิงเทรา	50,715	508,800	10,033
สระบุรี	205,751	2,193,479	10,661
จันทบุรี	15,624	163,369	10,456
ระยอง	32,056	358,753	11,191
ชลบุรี	115,153	1,264,079	10,977
นครปฐม	65,367	753,076	11,521
กาญจนบุรี	626,996	7,186,720	11,462
ราชบุรี	161,379	1,741,498	10,791
เพชรบุรี	20,878	205,843	9,859
ประจวบคีรีขันธ์	30,428	292,588	9,616

ที่มา : สำนักวิจัยพืชไร่, 2549

2.2 ชานอ้อย (Bagasse)

ชานอ้อยเป็นผลพลอยได้หรือส่วนที่เหลือจากการหีบอ้อย เส้นใยของอ้อยที่เหลือจากการหีบ น้ำอ้อยและความชื้นที่เหลือจากการคังน้ำออก โดยเฉพาะครึ่งหนึ่งเป็นเส้นใย อีกครึ่งเป็นน้ำและของแข็งละลายน้ำ ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการหีบอ้อยที่มีคุณภาพ (Meade, 1963)

ปริมาณชานอ้อยนับเป็นหนึ่งในสามของอ้อย ซึ่งส่วนใหญ่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไอน้ำในโรงงานแบบเก่า ส่วนในโรงงานที่ทันสมัยจะมีชานอ้อยอยู่จำนวนมากในช่วงที่ทำการหีบ (Chen and Chung, 1993)

องค์ประกอบของชานอ้อยทางฟิสิกส์และการวิเคราะห์ทางเคมีของชานอ้อย แสดงในตารางที่ 2-4 และ 2-5

ตารางที่ 2-5 องค์ประกอบทางฟิสิกส์ของชานอ้อย

	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	เปอร์เซ็นต์การกระจายของเซลล์
เส้นใย	55	35
ส่วนของ Vessel	20	17
พวย (Pith)	20	35
ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยและอื่นๆ	5	13
รวมทั้งหมด	100	100

ที่มา : Chen and Chung, 1993

ตารางที่ 2-6 การวิเคราะห์ทางเคมีของชานอ้อย

การวิเคราะห์โดยประมาณ (%โดยน้ำหนัก)		การวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย (โดยน้ำหนัก)	
คาร์บอนที่ไม่ระเหย	7.0	คาร์บอน	23.7
สารระเหย	42.5	ไฮโดรเจน	3.0
ความชื้น	49.5	ออกซิเจน	22.0
เถ้า	1.5	ความชื้น	49.0
		เถ้า	1.5

ที่มา : Chen and Chung, 1993

เยื่อของชานอ้อยมีการนำมาใช้ทำกระดาษ ส่วนประกอบของกระเป๋ วัสดุที่ใช้ห่อกระดาษพิมพ์ กระดาษทิชชู กระดาษเช็ดหน้า กระดาษแก้ว แผ่นไม้ กระดาษหนังสือพิมพ์ และอื่นๆ ซึ่งใน 20 ประเทศหลักๆ ได้ผลิตเยื่อกระดาษสำหรับใช้ในการผลิตกระดาษและกระดาษแข็งหลากหลายระดับดังแสดงในตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-7 ตัวอย่างการนำเยื่อชานอ้อยไปใช้ประโยชน์ของการผลิตกระดาษและกระดาษแข็ง

	การนำเยื่อชานอ้อยไปใช้ (%)
เยื่อที่ผ่านการฟอกเยื่อด้วยวิธีทางเคมี เคมีร่วมกับเชิงกล และ/หรือ ความร้อนร่วมกับเชิงกล :	
กระดาษหนังสือพิมพ์	50-80
กระดาษพิมพ์ชนิดเชิงกล	50
กระดาษทิชชู	50
เยื่อที่ไม่ผ่านการฟอกเยื่อทางเคมีที่ให้ผลผลิตสูง :	
กระดาษที่มีความยืดหยุ่นปานกลาง	75-100
เยื่อที่ไม่ผ่านการฟอกเยื่อทางเคมี :	
กระดาษที่ใช้ทำกระเป๋	40
แผ่นไม้	40-60
กระดาษห่อ (เกรด B)	75
กระดาษแก้วและกระดาษไข	50-90
เยื่อที่ผ่านการฟอกเยื่อทางเคมี :	
กระดาษสำหรับพิมพ์และงานเขียน	80-100
แผ่นไม้	50
อาหาร, ขวดนม, กระดาษแข็งเส้นคุณภาพดี	65-90
กระดาษห่อผลไม้และกระดาษทิชชู	60-90
กระดาษแก้วและกระดาษไข	50-90

ที่มา : Chen and Chung, 1993

การเปรียบเทียบส่วนประกอบของเซลลูโลสของชานอ้อยและไม้ แสดงในตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของชานอ้อยและไม้

องค์ประกอบ	ไม้ใบกว้าง (Hardwood)	ไม้ใบแคบ (Softwood)	ชานอ้อย		
			ทั้งหมด	เส้นใย	ขุย
แอลฟา-เซลลูโลส (%)	38-48	40-45	30-39	38-43	26-36
เพนโตซาน (%)	20-25	10-13	24-30	27-32	28-33
ลิกนิน (%)	20-29	26-34	18-22	20-23	18-22
เถ้า (ซิลิกา, เหล็ก, อื่น)	0.3-1.2	0.2-0.8	1-4	0.6-1.2	1.8-4.6
ความยาวเฉลี่ยของเส้นใย (mm)	0.7-1.6	2.7-3.6	-	1.0-2.0	0.25-0.40
เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (μ)	20-40	32-43	-	14-28	54-87

ที่มา : Chen and Chung, 1993

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อไม้

2.3.1 โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) เป็นส่วนของคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) หลักที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ซึ่งมีส่วนของน้ำตาลต่างๆ อยู่เล็กน้อย เช่น แป้งและเพคติน (Pectin) การรวมกันของเซลลูโลส (40-45%) และเฮมิเซลลูโลส (15-25%) จะเรียกว่า โฮโลเซลลูโลส โดยทั่วไปจะมีปริมาณ 65-70% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งการเกิดพอลิเมอร์ (polymer) ส่วนใหญ่เกิดจากน้ำตาล D-glucose, D-mannose, D-galactose, D-xylose, L-arabinose, D-glucuronic acid และน้ำตาลอื่นๆ อีกเล็กน้อยเช่น L-rhamnose และ D-fucose โดยพอลิเมอร์ดังกล่าวมีส่วนของ Hydroxyl Group ซึ่งสอดคล้องกับการจับตัวของความชื้นในพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) (Rowell, 2005)

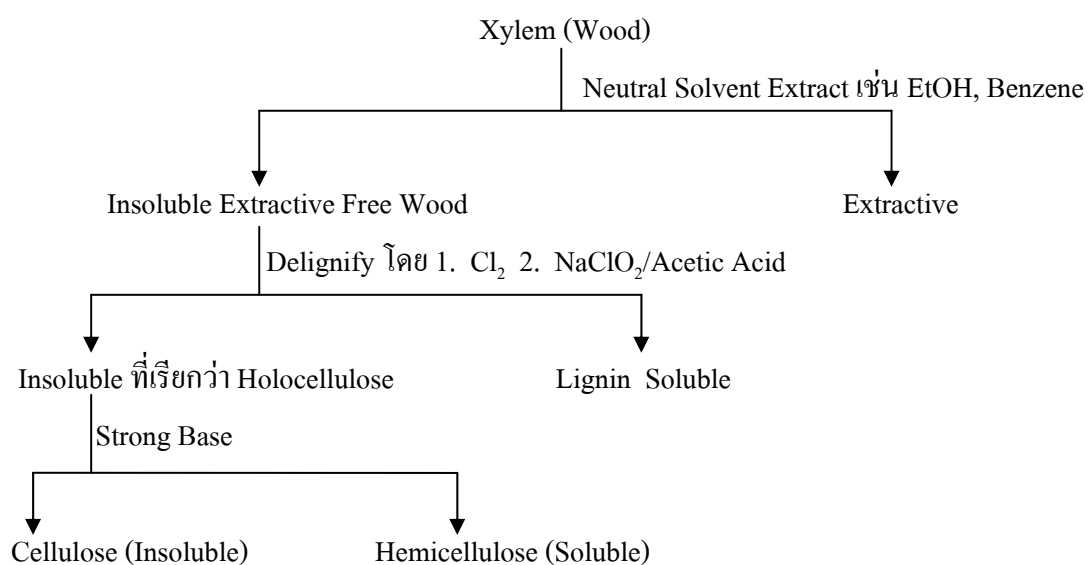
2.3.2 เซลลูโลส (Cellulose) เป็นองค์ประกอบหลักที่ประกอบอยู่ในพืชจะมีปริมาณ 40-50% เป็นโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) ของ Glucose ที่จับตัวกันด้วยพันธะ β -(1,4) glycosidic linkage ไม่มีกิ่งก้านของโซ่จึงไม่ละลายน้ำ (วิทยาและคนอื่นๆ, 2543) ซึ่งมี Cellobiose เป็นหน่วยพื้นฐาน โดยเซลลูโลสสามารถพิจารณาได้จาก Isotactic Polymer ของ Cellobiose (Sixta, 2006) และยังสามารถแบ่งได้อีก 3 ชนิด คือ

2.3.2.1 แอลฟา-เซลลูโลส (α -cellulose) เป็นส่วนที่ไม่ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สำหรับปฏิกิริยา Alkalization โดยเป็นคาร์โบไฮเดรตที่เหลือหลังจากบำบัดเชื้อด้วย 17.5%

NaOH ที่อุณหภูมิห้อง (Sixta, 2006) โดยแอลฟา-เซลลูโลสมีคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงและทนต่อการละลายได้ดี (ประเทือง, 2548)

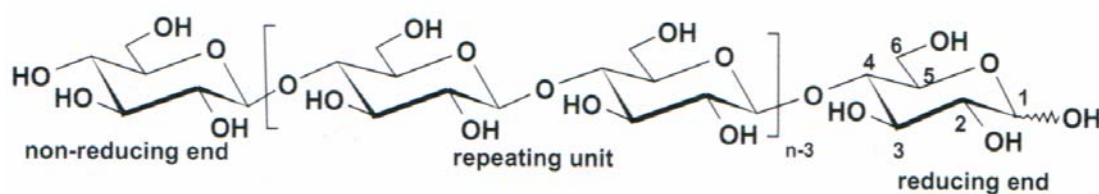
2.3.2.2 เบต้า-เซลลูโลส (β -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่เมื่อถูกสารละลายต่างแล้วเกิดการละลายออกมา แต่ก็ยังคงสภาพที่เป็นเซลลูโลสอยู่ (ประเทือง, 2548)

2.3.2.3 แกมมา-เซลลูโลส (γ -cellulose) เป็นส่วนของเซลลูโลส ซึ่งอาจจะหมายถึงเฮมิเซลลูโลสที่มีขนาดเล็ก (ประเทือง, 2548)



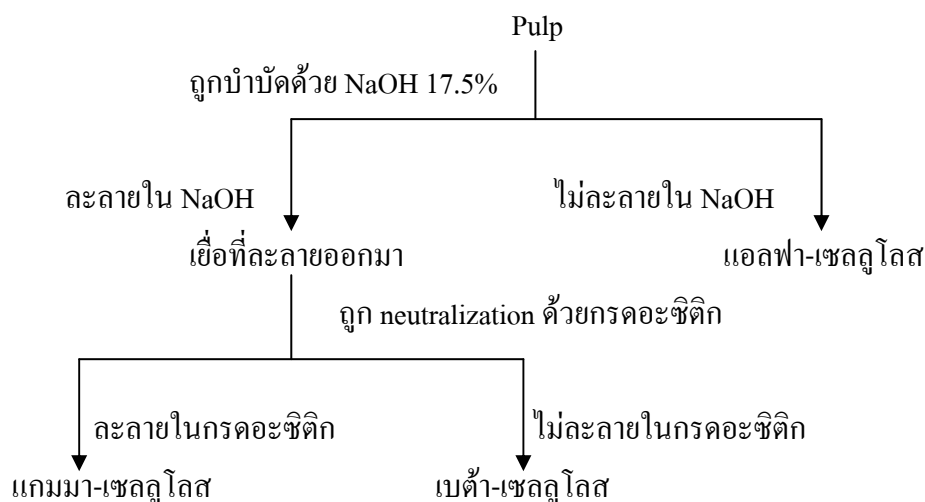
ภาพที่ 2-8 แผนผังการวิเคราะห์เซลลูโลสในไม้

ที่มา : ประเทือง, 2548



ภาพที่ 2-9 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

ที่มา : Sixta, 2006

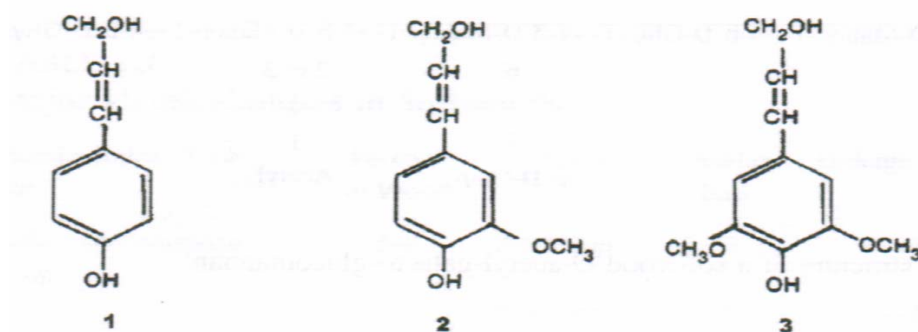


ภาพที่ 2-10 แผนผังการวิเคราะห์องค์ประกอบเซลลูโลสชนิดต่างๆ ในเยื่อ

ที่มา : Sixta, 2006

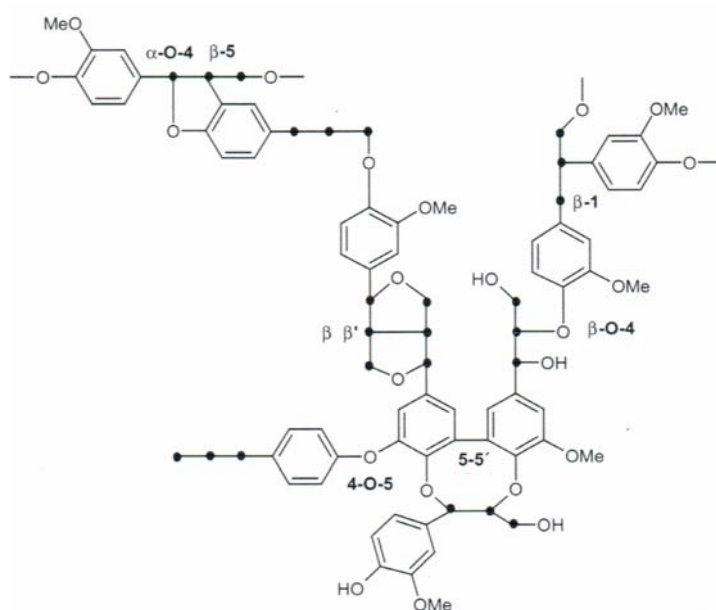
2.3.3 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็น Heterogeneous Polymer คือเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเกิดจาก Biosynthetic Routes ที่แตกต่างจากการเกิดเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสจะประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์หลายๆ ชนิด เช่น D-xylopyranose, D-glucopyranose, D-galactopyranose, L-arabinofuranose, D-mannopyranose, D-glucopyranosyluronic acid และ D-galactopyranosyluronic acid กับน้ำตาลชนิดอื่นอีกเล็กน้อย เฮมิเซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่าย และมี Degree of Polymerization (DP) น้อยกว่าเซลลูโลส (เฉลี่ยประมาณ 100-200) (วิทยา, 2543)

2.3.4 ลิกนิน (Lignin) เป็นองค์ประกอบหลักในผนังเซลล์ (Cell Wall) ซึ่งมีการเรียงตัวแบบ Amorphous มีองค์ประกอบที่ซับซ้อนและส่วนใหญ่มีการจับตัวเป็นพอลิเมอร์ของ Phenylpropane Unit (ภาพที่ 2-11) ลิกนินเป็นโครงสร้างสามมิติ (Three-Dimensional Polymer) ซึ่งจับตัวด้วยพันธะ C-O-C และ C-C (Rowell, 2005) การกระจายของลิกนินในผนังเซลล์และปริมาณลิกนินของส่วนต่างๆ ในเนื้อไม้มีปริมาณไม่เท่ากัน (Sixta, 2006) ลิกนินสามารถแบ่งประเภทได้หลายวิธีแต่ปกติแล้วจะแบ่งตามองค์ประกอบทางโครงสร้าง โดยโครงสร้างที่หลากหลายขึ้นกับความแตกต่างของ Species โดยปริมาณลิกนินของไม้ใบกว้างมีประมาณ 18-25% ขณะที่ปริมาณลิกนินของไม้ใบแคบมีประมาณประมาณ 25-35%



ภาพที่ 2-11 โครงสร้างทางเคมีหลักของลิกนิน : (1) p-coumaryl alcohol (2) Coniferyl Alcohol และ (3) Sinapyl Alcohol

ที่มา : Rowell, 2005

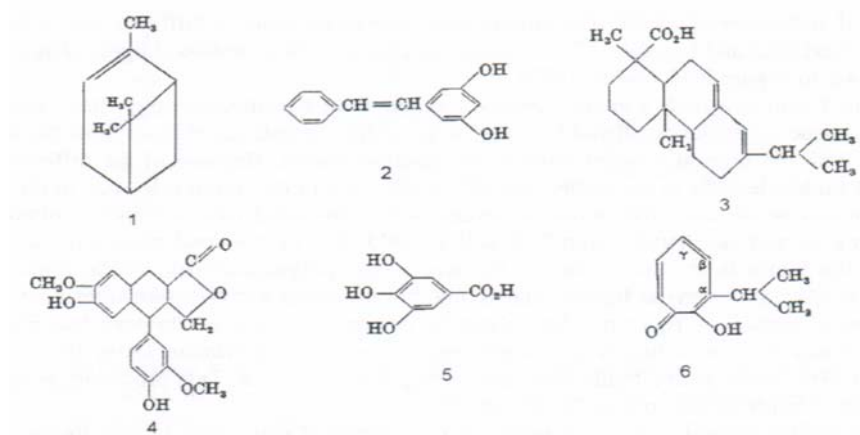


ภาพที่ 2-12 รูปแบบการเชื่อมต่อกัน (Linkages) ของลิกนิน

ที่มา : Sixta, 2006

2.3.5 สารแทรก (Extractives) องค์ประกอบของสารแทรกจะแตกต่างกันไปในพืชที่แตกต่างกันและถึงแม้แต่ในพืชชนิดเดียวกันต่างส่วนกันก็จะมีองค์ประกอบแตกต่างกันด้วย (วิทยา, 2543) โดยสารแทรกในเนื้อไม้จะจับตัวเป็นกลุ่มอยู่ในผนังเซลล์ สารแทรกส่วนใหญ่จะเป็นไขมัน (Fat) กรดไขมัน (Fatty Acid) แอลกอฮอล์ไขมัน (Fatty Alcohols) ฟีนอล (Phenols) เทอร์ปีน

(Terpenes) สเตอรอยด์ (Steroids) กรดเรซิน (Resin Acid) ขางสน (Rosin) แวกซ์ (Waxes) และ องค์ประกอบ Minor Organic อื่นๆ ซึ่งโดยปกติไม้ใบแคบจะมีปริมาณสารแทรกสูงกว่าในไม้ใบ กว้าง โดยสารแทรกทั้งในไม้ใบแคบและไม้ใบกว้างจะอยู่ในส่วนแก่นไม้ (Heartwood) และ บางส่วนยังมีผลต่อสี กลิ่น และความทนทานของไม้ (Rowell, 2005)

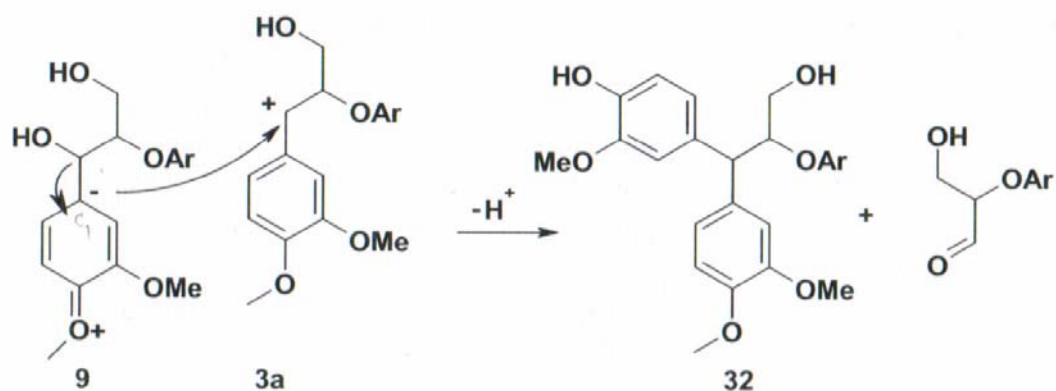


ภาพที่ 2-13 โครงสร้างทางเคมีของสารแทรกบางชนิดในเนื้อไม้ : (1) Abietic Acid (2) α -pinene (3) Pinosylvin (4) Pineresinol (5) Gallic Acid (6) α -, β - และ γ -thujaplicin

ที่มา : Rowell, 2005

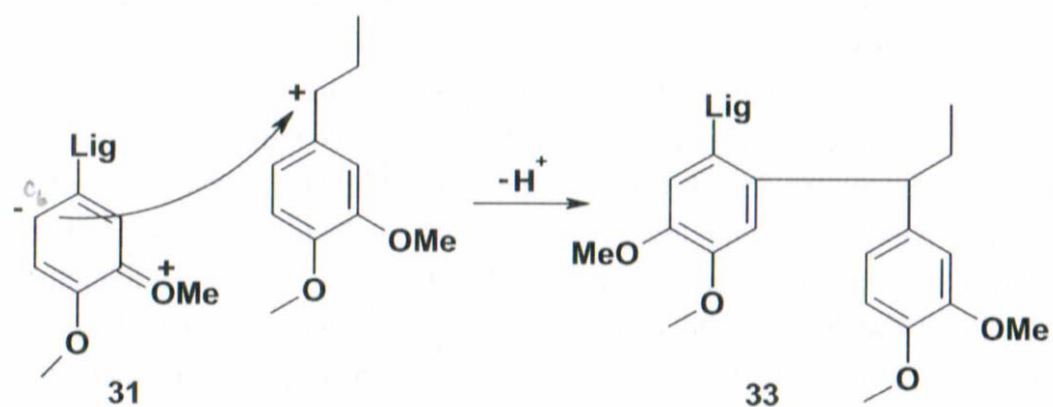
2.4 ปฏิกิริยา Condensation

ปฏิกิริยา Condensation เป็นกระบวนการหลักที่ไม่ต้องการ ซึ่งทำให้แยกโครงสร้างของ ลิกนินได้ยากขึ้นหรือโมเลกุลของลิกนินที่แตกออกมากลับเข้ามารวมตัวกันใหม่ ตรงกันข้ามกับ ปฏิกิริยา Delignification โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาคือ ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้และ อุณหภูมิสูงเกินไป



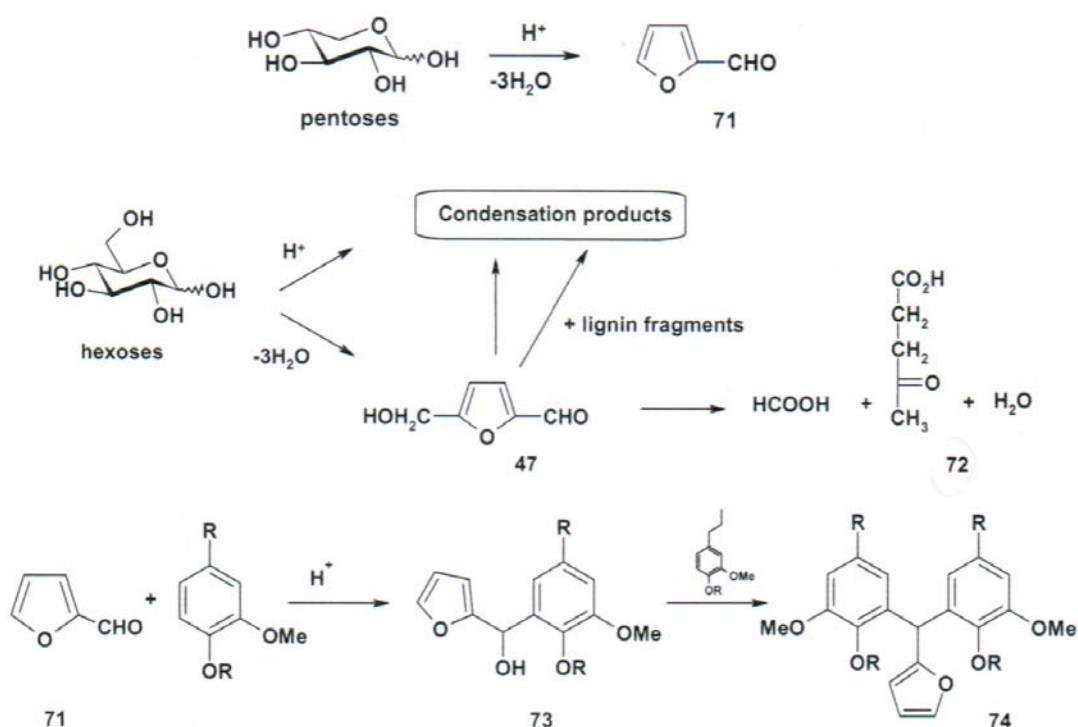
ภาพที่ 2-14 การ Condensation ของปฏิกิริยา Benzylium Ion กับ Weakly Nucleophilic Resonance ที่ตำแหน่ง C1

ที่มา : Sixta, 2006



ภาพที่ 2-15 การ Condensation ของปฏิกิริยา Benzylium Ion กับ Weakly Nucleophilic Resonance ที่ตำแหน่ง C6

ที่มา : Sixta, 2006



ภาพที่ 2-16 การ Degradation ของเพนโตสและเฮกโซสภายใต้สภาวะกรดและการ Condensation ของผลิตภัณฑ์ Degradation ในหน่วยของลิกนิน

ที่มา : Sixta, 2006

2.5 วิธีการแยกเยื่อ

การเตรียมเยื่อหรือแยกนับว่าเป็นขั้นสำคัญที่สุดในการผลิตแผ่นใยไม้อัด และในกรรมวิธีที่คล้ายกับการทำเยื่อไม้และกระดาษ การแยกเยื่อในการผลิตแผ่นใยไม้อัดอาจแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีใหญ่ๆ คือ

2.5.1 การแยกเยื่อโดยใช้พลังงานกล (Mechanical Pulping)

วิธีนี้ใช้ไม้ท่อนที่เตรียมไว้ป้อนเข้าเครื่องขัดหรือหินขัด (Grind-Stone) ซึ่งหมุนอยู่ในน้ำ แรงขัดสีจะแยกท่อนไม้ออกเป็นเยื่อ (Mechanical or Ground Pulp) เครื่องแยกเยื่อโดยใช้แรงขัดสีที่ใช้กันมากเรียกว่า Pocket Grinder เยื่อไม้ที่ได้ต้องนำไปคัดขนาด (Screening) และทำความสะอาด (Washing) ก่อน

2.5.2 การแยกเยื่อโดยวิธีใช้พลังงานความร้อนร่วมกับพลังงานกล (Thermal Plus Mechanical Pulping)

วิธีนี้ก่อนที่จะทำการแยกเยื่อ ต้องนำชิ้นไม้หรือพืชมาทำการบำบัดก่อน (Pretreatment) เช่น นำชิ้นไม้หรือพืชมาแช่น้ำ หรืออบด้วยไอน้ำร้อนภายใต้ความดัน หรือต้มกับสารเคมีบางชนิด โดยใช้ไอน้ำร้อนภายใต้ความดัน เป็นต้น ทั้งนี้แล้วแต่วิธีของไม้หรือพืชที่ใช้ และชนิดของแผ่นใยไม้ที่ต้องการผลิต การบำบัดส่วนมากทำในหม้อต้ม (Steam Cooker) หรือในเครื่อง Digester

เมื่อทำการบำบัดแล้วนำชิ้นไม้หรือพืชเข้าทำการแยกเยื่อ (Defibering) ในเครื่องแยกเยื่อไม้ที่เรียกว่า Attrition Mill (Disc Refiner) แล้วทำการล้างเยื่อ ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องทำการย่อยเยื่อไม้ให้ละเอียดลงไปอีกด้วยเครื่อง Rollfiners, Jordan หรือ Disc Refiner อื่นๆ แล้วจึงผสมน้ำลงในเยื่อเพื่อทำ Pulp Suspension ขณะเดียวกันก็ผสมตัวยาหรือสารเคมีบางอย่าง (Sizing Agents and Additives) ลงไปด้วย เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตขึ้นต่อจากนั้นจึงส่ง Pulp Suspension ไปเข้าเครื่องทำแผ่น (Wet Sheet-forming Machine) ต่อไป

Attrition Mills หรือ Disc Refiners ที่ใช้กันมากอยู่หลายชนิดคือ Bauer Refiners, Sprout-waldron Refiners, Allis-chalmers Refiners และ Asplund Defibrator สำหรับเครื่องชนิดหลังนี้มีข้อดีคือ สามารถทำการบำบัดก่อนและแยกเยื่อได้ติดกันไปในเครื่องเดียวกัน

2.5.3 การแยกเยื่อไม้โดยกรรมวิธีทางเคมีร่วมกับพลังงานกล (Chemical Plus Mechanical Process)

วิธีนี้ต้องทำการต้มชิ้นไม้หรือพืชในสารเคมีบางชนิดภายใต้ความดัน เช่น Neutral Sulphite Cook, Sodium Hydroxide Cook หรือ Lime Cook ในหม้อต้มที่เรียกว่า Digester ก่อน แล้วจึงนำชิ้นไม้หรือพืชไปแยกเยื่อด้วยเครื่อง Attrition Mill หรือ Disc Refiner ต่อไป

2.5.4 การแยกเยื่อไม้โดยกรรมวิธีระเบิดด้วยไอน้ำ (Explosion Process)

วิธีนี้ใช้อยู่ใน Masonite Process โดยนำชิ้นไม้หรือพืชเข้าอบด้วยไอน้ำที่มีความร้อนและความดันสูงในหม้อหนึ่งพิเศษที่เรียกว่า “Gun” หรือ High Pressure Vessel ช่วงหนึ่ง จากนั้นเปิดวาล์วที่กั้นหม้อหนึ่งเพื่อระบายความดันออกในทันที ชิ้นไม้หรือพืชในหม้อหนึ่งจะระเบิดตัวออกเป็นเยื่อไม้นอกหม้อหนึ่งด้วยแรงขยายตัวของไอน้ำ และร่วงลงผสมกับน้ำใน Stock Chest จากนั้นถูกสูบผ่านเครื่องล้างเยื่อไปเข้าเครื่องแยกหรือบดเยื่อให้ละเอียดอีกที แล้วผ่านเข้าเครื่องคัดขนาด

เมื่อประมาณ 60 ปีมาแล้ว มีการนำเทคนิคการระเบิดด้วยไอน้ำมาใช้ เพื่อแยกองค์ประกอบของวัสดุจำพวกไม้และวัสดุเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร ต่อมามีการศึกษาและปรับปรุงเทคโนโลยีนี้จนสามารถออกแบบเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำให้ทำงานได้ทั้งในรูปของกระบวนการทำงานเป็นครั้ง (Batch) และการทำงานอย่างต่อเนื่อง (Continuous) (พิชญ์, 2549)

กระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam Explosion) เป็นกระบวนการที่ใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงไปแยกเอาส่วนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินออกจากกัน โดยไอน้ำจะไปทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งใช้ระยะเวลาไม่เกิน 10 นาที แล้วทำให้ส่วนของเฮมิเซลลูโลสละลายในน้ำ ส่วนที่เหลือคือเซลลูโลสและลิกนิน สามารถแยกออกจากกันโดยนำไปละลายในสารละลายเบสเจือจางหรือตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ไดออกเซน (Dioxane) ซึ่งลิกนินละลายได้ แต่เซลลูโลสไม่ละลาย ดังนั้นกระบวนการนี้จึงเหมาะสมที่จะใช้แยกองค์ประกอบหลักทั้งสามชนิดที่ประกอบอยู่ในพืชออกจากกันแล้วนำองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบไปใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด

ประโยชน์ของเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำ สามารถนำมาใช้ในการบำบัดไม้หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อให้ได้วัตถุดิบหลักสามชนิด คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารมูลค่าเพิ่มต่างๆ ได้

ข้อดีของการระเบิดด้วยไอน้ำเมื่อเทียบกับกระบวนการใช้สารเคมีคือ

1. เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบที่ใช้การแยกแบบเชิงกล เชิงความร้อนและเชิงเคมีไว้ด้วยกันได้ ทำให้เลือกสัดส่วนการแยกองค์ประกอบต่างๆ ได้ดีขึ้น มีความสมบูรณ์ในการนำองค์ประกอบจากพืชกลับมาใช้ประโยชน์ ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากขึ้น
2. มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย เนื่องจากไอน้ำไม่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อมและใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพน้อยลง ดังนั้นจึงมีข้อระมัดระวังในการดำเนินงานน้อยลง
3. มีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการติดตั้งถูกลง (ชัยพรและคนอื่นๆ , 2548)

ส่วนข้อเสียของกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำก็ต้องใช้พลังงานสูง เนื่องจากใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง นอกจากนี้เชื้อที่ได้ถ้านำไปใช้ผลิตกระดาษจะมีความยากในการบดเชื้อ (Refining) มากกว่าเชื้อที่ได้จากกระบวนการใช้สารเคมี แต่กระดาษที่ได้จากเชื้อที่ได้จากการระเบิดด้วยไอน้ำจะใช้สารเคมีน้อยกว่ากระดาษที่ได้จากเชื้อที่ได้จากกระบวนการใช้สารเคมี

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัยพร และคนอื่นๆ (2548) ศึกษาอิทธิพลของสภาวะการระเบิดด้วยไอน้ำที่มีผลต่อการแยกองค์ประกอบทางเคมีจากฟางข้าวและการเตรียมผลึกเซลลูโลสที่ได้เพื่อทำวัสดุเชิงประกอบระดับนาโนเมตร พบว่า ความดัน (10, 15, 20 และ 25 บาร์) หรืออุณหภูมิ (เทียบจากความดันมีอุณหภูมิระหว่าง 185-210 °C) ของการระเบิดด้วยไอน้ำมีผลต่อปริมาณและน้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส ส่วนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้น 1.25, 2.5 และ 4 โมลาร์) มีผลต่อน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสเช่นกัน แต่ปริมาณลิกนินพบว่าไม่ขึ้นกับ

ปัจจัยต่างๆ ที่ศึกษา นอกจากนี้เซลลูโลสที่ได้จะถูกนำไปเตรียมเส้นใยพอลิเซลลูโลสและปรับสภาพผิวด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน เพื่อให้มีคุณสมบัติเชิงผิวที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำวัสดุเชิงประกอบระดับนาเมตร

วิทยา และคนอื่นๆ (2548) ศึกษาการแยกองค์ประกอบทางเคมีของต้นปาล์มน้ำมัน โดยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า เปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ของการคืนกลับของไซโลส (Xylose Recovered) ในสารละลายเฮมิเซลลูโลสอยู่ในช่วง 40.61-47.54 % เมื่อทำการระเบิดขึ้นไม้สับของต้นปาล์มน้ำมันในช่วงอุณหภูมิ 203 °C ที่เวลา 2 นาทีและเวลา 5 นาที โดยไม่ได้แช่ขึ้นไม้ในสารละลายกรดซัลฟริกก่อนการระเบิดเปรียบเทียบกับ 50.46 % ของเปอร์เซ็นต์คืนกลับของไซโลสที่ได้จากการแช่ขึ้นไม้สับในสารละลายกรดเจือจาง พบว่ากรดซัลฟริกช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อให้เกิดน้ำตาลไซโลส เพิ่มขึ้น รวมทั้งการแช่ขึ้นไม้สับในกรดจะให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสในรูปของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ ส่วนการไม่แช่ขึ้นไม้สับในกรดจะให้ปริมาณน้ำตาลไซโลสในรูปน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ในสารละลายเฮมิเซลลูโลส

วิทยา และคนอื่นๆ (2543) ศึกษาการระเบิดด้วยไอน้ำและการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของเปลือกปอสา พบว่า เยื่อที่ได้ภายหลังการระเบิดด้วยไอน้ำจะมีองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างจากเยื่อที่ได้ภายหลังการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่มีข้อเสียคือมีค่าความสว่างต่ำและความแข็งแรงของเยื่อต่ำ จึงควรศึกษาต่อในแง่ของการเพิ่มค่าความขาวและความแข็งแรงของเยื่อด้วยการแช่เปลือกปอสาในสารเคมีที่มีความเป็นเบสก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำเพื่อลดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและเพิ่มความขาวของเยื่อ ส่วนการฟอกเยื่อที่ได้จากการระเบิดด้วยไอน้ำและเยื่อที่ได้จากการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่า ค่าการเพิ่มความขาวของเยื่อที่ได้มีค่าสูงกว่าเยื่อที่ได้จากการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มาก ดังนั้นการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงเหมาะสมกับเยื่อที่ได้ภายหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ

วิทยา (2541) ศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ โดยนำพืชที่ไม่ใช่ไม้ 10 ชนิด มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีคือปริมาณไฮโดรเซลลูส ลิกนิน เถ้า สารแทรกที่ละลายได้ในเอทานอลและเบนซีน และแอลฟา-เซลลูโลส พบว่า เปลือกในปอทุกชนิดคือ ปอสา ปอแก้ว ปอกระเจา ปอควบา เหมาะสมที่จะใช้ทำเยื่อกระดาษ กาบกล้วยไม่เหมาะสม ส่วนเปลือกในของหม่อน ใบสับปะรด ทางใบปาล์มน้ำมัน มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ทำเยื่อกระดาษได้ เพราะมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับขานอ้อยและชังข้าว ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษในปัจจุบัน

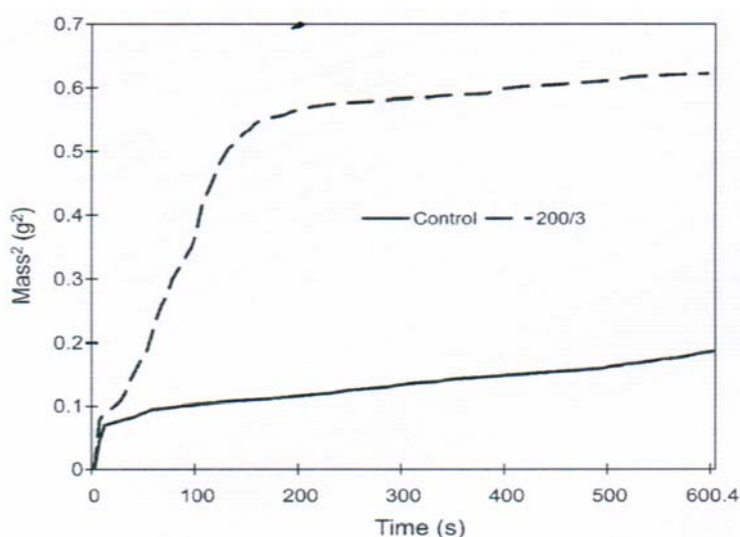
ตารางที่ 2-9 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่เป็นพืชที่ไม่ใช่ไม้

วัตถุดิบ	องค์ประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนักแห้ง)					
	โฮโลเซลลูโลส	ลิกนิน	เถ้า	สารแทรก	เพนโตซาน	แอลฟา-เซลลูโลส
ปอสา	77.55	7.64	6.30	6.13	10.29	71.03
ปอแก้ว	72.90	15.15	7.24	3.71	17.85	66.34
ปอกระเจา	89.92	9.65	0.62	0.94	16.68	67.10
ปอควา	78.06	15.19	1.92	2.74	9.26	62.44
หม่อน	68.89	14.83	9.37	8.24	12.41	65.05
ชานอ้อย	71.41	21.09	3.85	2.94	27.83	51.04
ฟางข้าว	64.88	21.27	16.93	0.30	21.15	46.30
ใบสับปะรด	67.05	17.41	5.98	11.23	24.38	49.22
กากกล้วย	55.50	19.43	15.34	10.34	14.78	47.37
ทางใบปาล์ม-น้ำมัน	73.57	18.18	2.86	5.50	23.18	56.48

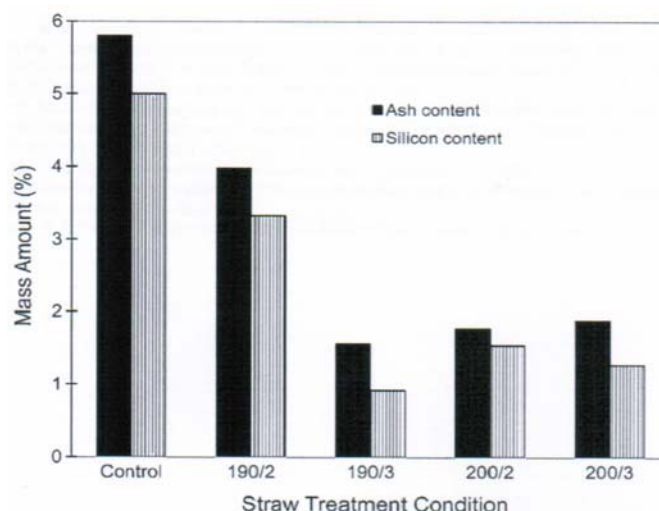
วิทยา และนงคันทุช (2542) ศึกษาการผลิตสารละลายน้ำตาลไซโลสจากชังข้าวโพดโดยการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า สภาพที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์คือ ใช้สารละลาย กรดซัลฟริกเข้มข้น 0.4% แช้งข้าวโพด 1 คืน แล้วระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 180 °C ระยะเวลา 4 นาที สามารถได้เปอร์เซ็นต์คืนกลับของน้ำตาลไซโลสมากกว่า 90% สารละลายน้ำตาลไซโลสที่ได้สามารถกำจัดสีและสารฟิโนลิกออกได้โดยใช้ถ่านกัมมันต์

วิทยา (2542) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเยื่อปอสาที่ได้จากการต้มเยื่อด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า เมื่อต้มเปลือกปอสาด้วยไอน้ำอัมตวที่มีอุณหภูมิระหว่าง 180-220 °C เป็นเวลา 5 นาที ในเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำชนิดทำงานเป็นครั้ง เปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ของเยื่อดำ (Dark Pulp) หลังระเบิดด้วยไอน้ำมีค่า 48-61% และเมื่อฟอกเยื่อดำ 2 ครั้ง ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (H₂O₂/KOH) ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเยื่อหลังฟอกแสดงว่าสภาพที่เหมาะสมในการต้มเยื่อปอสาด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำคือที่อุณหภูมิ 190 °C นาน 5 นาที และมีความเป็นไปได้ที่จะใช้การระเบิดด้วยไอน้ำแทนที่การต้มเยื่อด้วยโซดาไฟ

Han et al. (2009) ศึกษาผลกระทบของการระเบิดด้วยไอน้ำต่อลักษณะของฟางข้าว พบว่า หลังจากการระเบิดด้วยไอน้ำเส้นใยของฟางข้าวมีขนาดเล็ก ในขณะที่เส้นใยมีการจับตัวกันเป็นก้อนเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิสูงและเวลานานมีผลกับการจับตัวเป็นก้อนของเส้นใย ส่วนค่า pH ก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำมีค่าเกือบ 7 แต่เมื่อผ่านกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำมีค่า pH ลดลง (มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น) ด้านมุม Dynamic Contact หลังการระเบิดด้วยไอน้ำมีแนวโน้มที่ลดลงแสดงว่าความสามารถในการเปียกน้ำที่ผิวมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ปริมาณเถ้าและซิลิกอนก็มีค่าลดลง ส่วนค่าความเป็นกรด (Acidity) ค่าการเปียกน้ำ (Wettability) ที่ดีขึ้น พร้อมปริมาณซิลิกอนที่ลดลง จะช่วยเพิ่มความมีพันธะระหว่างอนุภาคฟางข้าวกับตัวกาวประสานที่ละลายน้ำได้



ภาพที่ 2-17 กราฟความสามารถในการเปียกน้ำของฟางข้าวที่ตัวอย่างควบคุม (Control) และ หลังจากการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 200 °C เวลา 3 นาที



ภาพที่ 2-18 ปริมาณเถ้าและซิลิกอนของฟางข้าวก่อนและหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ

Kaar, Gutierrez and Kinoshita (1998) ศึกษาการระเบิดด้วยไอน้ำของชานอ้อยสำหรับเปลี่ยนเป็นเอทานอล พบว่า การระเบิดด้วยไอน้ำเป็นการบำบัดก่อนที่จะเปลี่ยนอ้อยเป็นเอทานอล ช่วงที่เหมาะสมอยู่ที่อุณหภูมิ 188-243 °C เวลา 0.5-44 นาที โดยการวิเคราะห์ผลใช้หลักการ Reaction Ordinate ที่นำเสนอโดย Overend และ Chornet (1987) งานวิจัยนี้ได้ทำการเปลี่ยนจากชีวมวล (Biomass) หรือ Polysaccharide เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharides) โดยเอนไซม์ เซลลูโลซิก (Cellulosic) ส่วนการคืนกลับของน้ำตาลทั้งหมด (Total Sugar Recovery) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นเอทานอลของกระบวนการไม่มีความสัมพันธ์ต่อสถานะของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการคืนกลับของไซโลส (Xylose Recovery) และการคืนกลับของกลูโคส (Glucose Recovery) อาจใช้ได้กับตัวอย่างที่หลากหลาย (101 ตัวอย่าง)

Velasquez et al. (2003) ศึกษาแผ่นใยไม้อัดชนิดไม้ไผ่จาก *Miscanthus sienensis* ที่ถูกระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า คุณสมบัติทางเคมีเชิงกลของแผ่นใยไม้อัดที่ดีที่สุด คือ สภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ใช้เวลาในการบำบัดนานและอุณหภูมิสูงในการอัดแผ่น ส่วนเวลาในการอัด (หลังอัดแผ่น 5 นาที) พบว่า ไม่มีผลกระทบ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างเฮมิเซลลูโลสและคุณสมบัติ Dimensional Stability (Thickness Swelling (TS) และ Water Absorption (WA)) จะเห็นได้ชัดเจนมาก โดยที่ปริมาณเฮมิเซลลูโลสน้อยหมายความว่าค่า Dimensional Stability ของแผ่นใยไม้อัดที่ทำจาก *Miscanthus sienensis* มีปริมาณที่ต่ำมาก โดยปริมาณเฮมิเซลลูโลสมีผลกระทบต่อ Dimensional Instability เนื่องจากความเป็น Hydrophilic ของเฮมิเซลลูโลส

Zimbardi et al. (1999) ศึกษาการระเบิดด้วยไอน้ำของฟางข้าวในระบบแบบทำงานเป็นครั้ง และแบบต่อเนื่อง โดยศึกษาผลกระทบของการระเบิดด้วยไอน้ำในการแยกลำดับส่วนด้วยน้ำ (Aqueous Fractionation) และการเปลี่ยนแบบชีวภาพ (Bioconversion) ของฟางข้าวโดยการบรรจุ วัสดุฟางข้าวในหอแบบทำงานเป็นครั้งและแบบต่อเนื่องที่ปริมาณ 0.5 kg/cycle และ 150 kg/h. ตามลำดับ และทำการระเบิดด้วยไอน้ำที่สภาวะอุณหภูมิ 65 °C และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 % พบว่าผลกระทบของฟางข้าวในทั้ง 2 ระบบการทำงานให้ค่า Pyrolytic Loss การละลาย (Solubility) การคืนกลับในเฟสน้ำของคาร์โบไฮเดรต (Recoveries in Aqueous Phase of Carbohydrate) และ ปริมาณลิกนินที่น่าพอใจโดยมีความสัมพันธ์กันตามสมการ $\log Ro_{\text{batch}} = 1.50 (\log Ro_{\text{continuous}} - 1)$ โดย Ro คือ Severity Parameter ส่วนปริมาณลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic) ที่ค่า Severity สูง มีผลต่อการเปลี่ยนไปเป็นกลูโคสได้ดีที่อุณหภูมิ 45-50 °C และความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ 1.50 g/L นอกจากนี้ค่า Severity แล้วพบว่าปริมาณการเปลี่ยนเป็นน้ำตาลยังขึ้นกับชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor) ไม่ว่าจะเป็นแบบทำงานเป็นครั้งหรือต่อเนื่อง

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์ในการผลิตเชื้อจากขานอ้อย

3.1.1.1 เครื่องชั่งละเอียด 0.01, 0.001 กรัม

3.1.1.2 เครื่องระเบิดเชื้อ (Steam Explosion Unit)

3.1.2 ชุดเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของวัตถุดิบและเชื้อ

3.1.2.1 เครื่องทำผงไม้ (Wiley Mill)

3.1.2.2 ตู้อบ (Oven)

3.1.2.3 ชุดเครื่องมือในการหาปริมาณไฮโดรคลอไรต์ (Acid Chlorite ของ Browning)

3.1.2.4 ชุดเครื่องมือในการหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (TAPPI ที่ T203 om-88)

3.1.2.5 ชุดเครื่องมือในการหาปริมาณลิกนิน (TAPPI ที่ T222 om-88)

3.1.2.6 ชุดเตรียมผงขานอ้อยที่ปราศจากสารแทรก (TAPPI ที่ T264 om-88)

3.1.2.7 ชุดการหาปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล-เบนซีน (TAPPI ที่ T204 om-88)

3.1.2.8 ชุดการหาปริมาณการละลายในน้ำร้อน (TAPPI ที่ T207 om-88)

3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

นำขานอ้อยที่ได้จากโรงงาน น้ำตาลครบุรี จำกัด แล้วทำการคัดขนาดโดยเลือกขนาดใหญ่ มากออกไปก่อน แล้วนำร้อนผ่านตะแกรงขนาดหมายเลข 10 เมช (Mesh) (เท่ากับขนาด 2000 ไมครอน) จากนั้นทำการแบ่งใส่ถุงพลาสติกน้ำหนัก 150 กรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยแยกไปทดสอบ สมบัติทางเคมีของวัตถุดิบและอีกส่วนหนึ่งนำไปผลิตเชื้อโดยกระบวนการระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำ ต่อไป

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 วิธีการระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำ

นำขานอ้อยที่บรรจุในถุงพลาสติกน้ำหนัก 150 กรัม บรรจุลงในเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำตาม ความดันและเวลาที่แสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สภาวะที่ใช้ในการระเบิดด้วยไอน้ำ

รหัสตัวอย่าง	ความดันไอน้ำ (บาร์)	ระยะเวลา (นาท)
17/2	17	2
17/5	17	5
19/2	19	2
19/5	19	5

3.3.2 วิธีการทดสอบทางเคมี

3.3.2.1 การเตรียมตัวอย่างหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ

นำตัวอย่างที่ได้หลังจากการระเบิดด้วยไอน้ำมาทำการตากหรืออบให้แห้ง แบ่งตัวอย่างเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปส่องด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) เพื่อดูลักษณะของเส้นใย ส่วนที่สองนำตัวอย่างที่ได้ไปบดด้วยเครื่องทำผงไม้ แล้วทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาดหมายเลข 40 เมช (Mesh) (ขนาดเท่ากับ 420 ไมครอน) ค้างที่ตะแกรงหมายเลข 60 เมช (Mesh) (ขนาดเท่ากับ 250 ไมครอน) แล้วจึงนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.3.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน (ตามมาตรฐาน TAPPI ที่ T 204 om-88)

ซึ่งผงตัวอย่างมาใส่ในถ้วยกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักแล้ว ประมาณ 10 กรัม พร้อมครอบด้วยตะแกรงละเอียดรูปกรวยแล้วใส่ลงไปในถ้วยกรอง บรรจุใส่ในเครื่องสกัดสารแทรก ดัดตั้งเครื่องสกัดสารแทรก สกัดด้วยสารผสมแอลกอฮอล์-เบนซีนจำนวน 150 มิลลิลิตร โดยการควบคุมอุณหภูมิและจุดเดือดของตัวทำละลาย ซึ่งใช้เวลาในการสกัดสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายแอลกอฮอล์-เบนซีน เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ระบายไล่ตัวทำละลายออกจากถ้วยแก้วสกัดสารแทรก นำถ้วยแก้วสกัดสารแทรกไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ $105 \pm 3^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นำมาชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำเช่นนี้จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ทำ Blank โดยการนำตัวทำละลายแอลกอฮอล์-เบนซีน 150 มิลลิลิตร ไประบายไล่ตัวทำละลายออกจากถ้วยแก้วสกัดสารแทรก คำนวณหาปริมาณน้ำหนักสารที่สกัดได้จาก

$$\% \text{ ปริมาณการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน} = 100 (W_e - W_b) / W_p \quad (3-1)$$

เมื่อ W_e = น้ำหนักปริมาณสารที่สกัดได้อบแห้ง (กรัม)

W_b = น้ำหนัก Blank อบแห้ง (กรัม)

$$W_p = \text{น้ำหนักผงตัวอย่างอบแห้ง (กรัม)}$$

3.3.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณการละลายในแอลกอฮอล์ (ตามมาตรฐาน TAPPI ที่ T 204 om-88)

ทำวิธีเดียวกับการหาปริมาณการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน เพียงแต่ใช้สารเอทานอล 95% ปริมาณ 200 มิลลิลิตร วิธีชั่งตัวอย่าง วิธีการสกัด ตลอดจนการนำด้วยกรองและผงตัวอย่างที่สกัดสารแทรกออกด้วยแอลกอฮอล์แล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 °C จะปฏิบัติเหมือนกับการสกัดด้วยแอลกอฮอล์-เบนซีน นำค่าต่างๆ มาคำนวณหาปริมาณการละลายในแอลกอฮอล์ดังนี้

$$\% \text{ ปริมาณการละลายในแอลกอฮอล์} = 100(W_1 - W_2)/W_1 \quad (3-2)$$

เมื่อ $W_1 = \text{น้ำหนักของผงตัวอย่างอบแห้ง (กรัม)}$

$W_2 = \text{น้ำหนักของแห้งของตัวอย่างที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์แล้ว (กรัม)}$

3.3.2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณการละลายในน้ำร้อน (ตามมาตรฐาน TAPPI ที่ T 207 om-93)

ชั่งผงตัวอย่างใส่ในฟอลย์ประมาณ 2 กรัม แล้วนำผงตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 °C ไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นใส่ในโถดูดความชื้น เพื่อให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง ถ่ายผงตัวอย่างลงในขวดรูปกรวย (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วชั่งน้ำหนักฟอลย์ หลังเทผงตัวอย่างออกแล้ว เติมน้ำกลั่นลงใน Flask 100 มิลลิลิตร นำ Flask ไปตั้งในหม้อนึ่งที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 3 ชั่วโมง โดยเขย่า Flask ทุกๆ 30 นาที นำผงตัวอย่างไปกรองด้วยถ้วยกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักแล้ว ล้างผงตัวอย่างด้วยน้ำร้อน กรดน้ำส้ม และน้ำร้อนจนหมดกรด แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 °C ไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ นำด้วยกรองและผงตัวอย่างมาใส่ในโถดูดความชื้น เพื่อทิ้งให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง คำนวณหาปริมาณการละลายในน้ำร้อนดังนี้

$$\% \text{ ปริมาณการละลายในน้ำร้อน} = 100 (W_1 - W_2)/W_1 \quad (3-3)$$

เมื่อ $W_1 = \text{น้ำหนักของผงตัวอย่างอบแห้ง (กรัม)}$

$W_2 = \text{น้ำหนักของแห้งที่สกัดด้วยน้ำร้อนแล้ว (กรัม)}$

3.3.2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน (Lignin) (ตามมาตรฐาน TAPPI ที่ T 222

om-88)

ชั่งผงตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรก สำหรับวัตถุดิบ 1 ± 0.1 กรัม สำหรับเยื่อ 2 ± 0.1 กรัม โดยเทียบเป็นน้ำหนักอบแห้ง ถ่ายลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร วางบีกเกอร์ลงในอ่างน้ำแข็ง แล้วค่อยๆ เติมกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 72 ที่แช่เย็น ($10-15^{\circ}\text{C}$) ไว้ในตู้เย็นลงไป 15 มิลลิลิตร พร้อมคนให้กระจายอย่างสม่ำเสมอ (ด้วยแท่งแก้ว) โดยอุณหภูมิอยู่ที่ $2 \pm 1^{\circ}\text{C}$ จนกระทั่งผงตัวอย่างละลายหมด เมื่อผงตัวอย่างกระจายดีแล้วปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา นำมาตั้งทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พร้อมคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอทุกๆ 15 นาที จนแน่ใจว่ามีการละลายสมบูรณ์ เติมน้ำกลั่น 300-400 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer Flask แล้วเทสารละลายในบีกเกอร์ลงใน Erlenmeyer Flask ด้วย และเติมน้ำกลั่นลงไปอีกเพื่อให้กรดมีความเจือจางลดลงจนเหลือความเข้มข้นร้อยละ 3 จนถึงระดับ 575 มิลลิลิตร สำหรับผงตัวอย่างวัตถุดิบ และระดับ 1,540 มิลลิลิตร สำหรับผงตัวอย่างเยื่อทำการรีฟลักซ์ (Reflux) สารละลายเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยการรักษาปริมาตรสารละลายใน Flask ให้คงที่ ปล่อยให้ตะกอนนอนกัน 1 คืน นำมากรองผ่านถ้วยกรองเบอร์ 4 ที่ทราบน้ำหนักแล้ว โดยกรองน้ำเสียก่อนแล้วจึงกรองตะกอนลิกนิน ล้างลิกนินให้ปราศจากกรดด้วยน้ำร้อน นำถ้วยกรองที่มีลิกนินอยู่ใส่ในตู้อบอุณหภูมิ $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ โดยทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นให้เย็นและชั่ง แล้วคำนวณหาปริมาณ ลิกนินเป็นร้อยละ

$$\% \text{ ปริมาณลิกนิน} = 100 \times (W1/W2) \quad (3-4)$$

เมื่อ $W1$ = น้ำหนักของลิกนินอบแห้ง (กรัม)

$W2$ = น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่าง (กรัม)

3.3.2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรคลอไรต์ (ตามวิธี Acid Chlorite ของ Browning)

ชั่งผงตัวอย่างลงในกระดาษฟอยล์ที่ปราศจากสารแทรกโดยน้ำหนักอบแห้ง 5 กรัม ถ่ายผงเยื่อใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงในรูปกรวย จำนวน 160 มิลลิลิตร และกรดอะซิติกเข้มข้นจำนวน 0.5 มิลลิลิตรกับโซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัมลงไปด้วยตามลำดับกัน แล้วใช้ขวดรูปกรวยขนาดเล็กกว่าเอาทางหัวลงปิดปากขวดรูปกรวยที่ใส่ผงตัวอย่างนั้น นำไปตั้งในอ่างที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง $70-80^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยทำการทดลองในตู้ดูดควันพิษ มีการเขย่าเป็นระยะจนได้ก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) เกิดขึ้นและมีการทำปฏิกิริยากับลิกนินในผงตัวอย่าง เมื่อครบ 1 ชั่วโมง เติมกรดอะซิติกเข้มข้นจำนวน 0.5 มิลลิลิตร กับโซเดียมคลอไรด์ 1.5

กรัม ตามลำดับ ลงในขวดปรุกรวย ยังคงเขย่าขวดเป็นระยะ ทำเช่นนี้นาน 1 ชั่วโมง และให้ทำในทำนองนี้ต่อไปอีกชั่วโมงที่ 2, 3 และ 4 หรือจนกว่าผงตัวอย่างจะมีสีขาว เมื่อครบกำหนดเวลา นำขวดปรุกรวยไปแช่ในอ่างน้ำแข็งเพื่อให้ก๊าซพิษลดการฟุ้งกระจายลงเป็นเวลา $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง กรองผงเยื่อด้วยถ้วยกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักอบแห้งละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม โดยใช้เครื่องกรองที่มีแรงดูดจากการไหลผ่านของน้ำที่ปั๊มมาจากเครื่องปั๊มลมครบชุด ทำให้ก๊าซพิษที่ฟุ้งกระจายออกจากสารละลายจะได้ถูกดูดและละลายไปกับน้ำ ล้างผงไฮโดรเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งมีสีขาว จึงล้างด้วยอะซิโตนและดูดออกให้มากที่สุด นำไฮโดรเซลลูโลสไปผึ่งให้แห้งในบรรยากาศและทำให้แห้งในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักแห้ง เก็บผงตัวอย่างไว้วิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสต่อไป นำถ้วยกรองพร้อมไฮโดรเซลลูโลสบางส่วนไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 °C อย่างน้อย 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก นำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณไฮโดรเซลลูโลสเป็นร้อยละ

$$\% \text{ ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส} = 100 \times (W1/W2) \quad (3-5)$$

เมื่อ $W1$ = น้ำหนักอบแห้งของไฮโดรเซลลูโลส (กรัม)

$W2$ = น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่าง (กรัม)

3.3.2.7 การวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (ตามมาตรฐาน TAPPI ที่ T 203

om-88)

ชั่งไฮโดรเซลลูโลสที่ทราบน้ำหนักอบแห้งแน่นอนแล้ว จำนวน 0.5 ± 0.1 กรัม โดยน้ำหนักอบแห้ง ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 300 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 17.5 จำนวน 75 มิลลิลิตร ลงไปและปรับอุณหภูมิของสารละลายโดยนำไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 °C คนสารละลายด้วยเครื่องกระจายจนเกิดการกระจายอย่างสมบูรณ์ โดยมีให้เกิดฟองอากาศ ล้างเครื่องกระจายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 17.5 จำนวน 25 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยแท่งแก้วและนำไปแช่ไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 °C เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำกลั่นลงในสารละลายจำนวน 100 มิลลิลิตร แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิมืออีก 30 นาที กรองสารละลายด้วยถ้วยกรองเบอร์ 2 ล้างตะกอนน้ำกลั่นที่มีความเย็น 20 °C จนกระทั่งเป็นกลาง ล้างตะกอนต่อไปอีกด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยให้แช่อยู่นาน 5 นาที จำนวน 40 มิลลิลิตร ล้างตะกอนครั้งสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นจนน้ำที่ล้างนั้น ไม่มีสภาพเป็นกรด นำเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำออกมาใส่ใน

ถอดความขึ้นและทิ้งไว้ให้เย็น ซึ่งน้ำหนักที่ นำผลมาคำนวณหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเป็นร้อยละ

$$\% \text{ ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส} = 100 \times (W1/W2) \quad (3-6)$$

เมื่อ $W1$ = น้ำหนักอบแห้งของแอลฟาเซลลูโลส (กรัม)

$W2$ = น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่าง (กรัม)

3.3.2.8 การคำนวณค่า Severity ($\log Ro$) คำนวณจากสมการที่ (3-7)

$$\log Ro = \log \{t \cdot \exp[(T-100)/14.75]\} \quad (3-7)$$

เมื่อ t = เวลา (นาท)

T = อุณหภูมิของไอน้ำ ($^{\circ}\text{C}$)

โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการคำนวณจะเทียบเท่ากับความดัน คือ ที่ความดัน 17 บาร์ มีอุณหภูมิอยู่ที่ 207°C และที่ความดัน 19 บาร์ มีอุณหภูมิที่ 213°C

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาคุณลักษณะของเส้นใยด้วยกล้องถ่ายภาพและเครื่อง SEM

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของชานอ้อยก่อนและหลังระเบิดด้วยไอน้ำที่เห็นได้จากการถ่ายภาพกล้องถ่ายภาพกับเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ภาพที่ 4-1 และ 4-2) พบว่า ชานอ้อยก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำมีสีน้ำตาลอ่อน และหลังการระเบิดด้วยไอน้ำเยื่อที่ได้มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น การเกิดสีที่คล้ำขึ้นของเยื่อชานอ้อยขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการบำบัด (Hill, 2006) ส่วนลักษณะของเส้นใยพบว่า ชานอ้อยก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นมีลักษณะเยื่อที่ได้ยังคงมีขนาดใหญ่ ไม่จับกันเป็นก้อนและเห็นได้ชัด ส่วนชานอ้อยที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดัน 17 บาร์ เวลา 2 นาที ลักษณะใกล้เคียงกับก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำคือเยื่อมีการแตกตัวไม่มาก ยังคงมองเห็นเป็นเยื่อขนาดเล็กและใหญ่ผสมกันอยู่ ส่วนชานอ้อยที่ความดัน 17 บาร์ เวลา 5 นาที มีลักษณะเยื่อที่มีการแตกตัวมากกว่าชานอ้อยที่ความดัน 17 บาร์ เวลา 2 นาที แต่ยังมองเห็นเป็นเยื่อขนาดเล็กๆ ส่วนชานอ้อยที่ความดัน 19 บาร์ เวลา 2 นาที ลักษณะของเยื่อมีการแตกตัวมากขึ้นและมีการจับตัวกันเป็นก้อนของเยื่ออยู่บ้างเล็กน้อย และชานอ้อยที่ความดัน 19 บาร์ เวลา 5 นาที ลักษณะของเยื่อมีการแตกตัวมากที่สุด เยื่อมีการจับตัวกันเป็นก้อนและมีขนาดเล็กมากจนเกือบเป็นผง เนื่องจากชานอ้อยถูกบำบัดด้วยความร้อนสูงและเวลานาน ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับฟางข้าวที่ถูกระเบิดด้วยไอน้ำ (Han, 2009) ที่มีลักษณะของเยื่อที่มีขนาดเล็กลงและมีการจับตัวเป็นก้อน โดยขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้น



(ก)



(ข)



(ค)

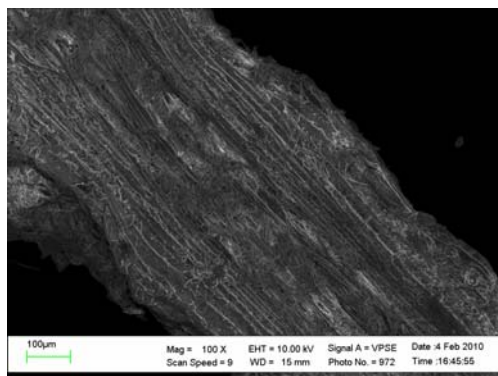


(ง)

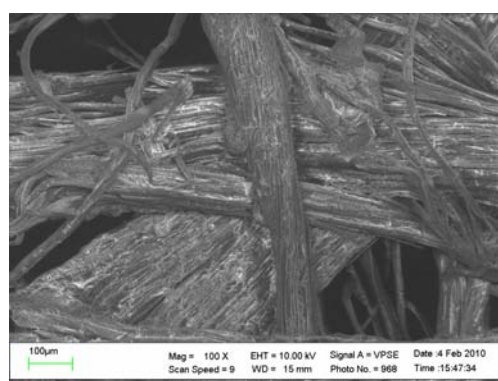


(จ)

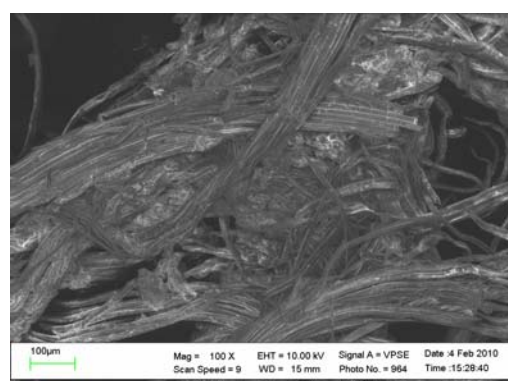
ภาพที่ 4-1 ชานอ้อยก่อนและหลังการระเบิดด้วยไอน้ำถ่ายด้วยกล้องถ่ายรูป (ก) ก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำ (ข) ความดัน 17 บาร์ เวลา 2 นาที (ค) ความดัน 17 บาร์ เวลา 5 นาที (ง) ความดัน 19 บาร์ เวลา 2 นาที (จ) ความดัน 19 บาร์ เวลา 5 นาที



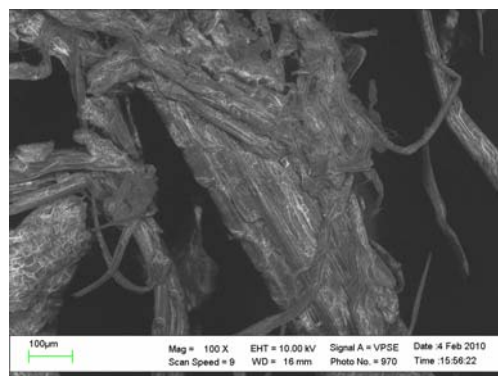
(ก)



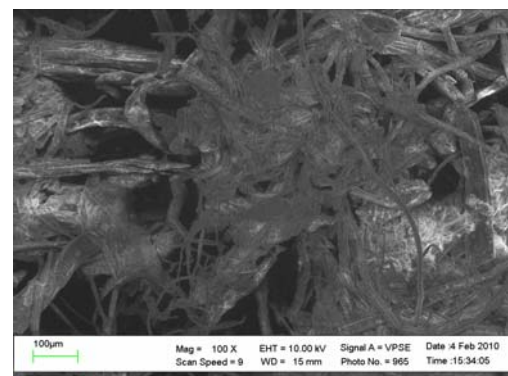
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 4-2 ลักษณะของเส้นใยที่ถ่ายด้วยเครื่อง SEM (ก) ก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำ (ข) ความดัน 17 บาร์ เวลา 2 นาที (ค) ความดัน 17 บาร์ เวลา 5 นาที (ง) ความดัน 19 บาร์ เวลา 2 นาที (จ) ความดัน 19 บาร์ เวลา 5 นาที

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำ

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง)
1. Ethanol/Benezene Extractives	2.55
2. Ethanol Extractives	0.32
3. การละลายในน้ำร้อน	12.88
4. ลิกนิน	21.94
5. โอลิโกเซลลูโลส	77.60
6. แอลฟา-เซลลูโลส	54.77

เมื่อทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยที่ได้จากการทดลองกับชานอ้อยในตารางที่ 2-8 จะเห็นได้ว่ามีปริมาณลิกนินใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสพบว่าในตารางที่ 2-8 มีค่าน้อยกว่าชานอ้อยที่ทำการทดลอง อาจเกิดจากชานอ้อยที่ทำการทดลองมีส่วนของเส้นใยและขุยมะพร้าวอยู่ และเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 2-9 จะเห็นได้ว่าปริมาณองค์ประกอบทางเคมีทุกตัวมีค่าใกล้เคียงกัน

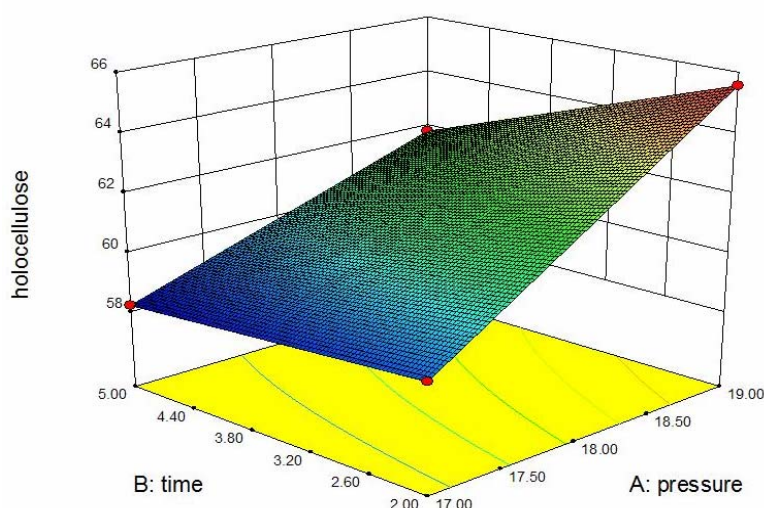
เมื่อทำการเปรียบเทียบชานอ้อยกับวัตถุดิบตัวอื่นๆ ในตารางที่ 2-9 พบว่าชานอ้อยมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับพวกปอทุกชนิด เช่น ปอสา ปอแก้ว ปอกระเจา ปอควีบา เป็นต้น ฟางข้าว ทางใบปาล์มน้ำมัน และใบสับปะรด ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ส่วนเมื่อเทียบกับกากกล้วยที่มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่น้อยกว่าชานอ้อย ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ไม่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษ

4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ

ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยหลังระเบิดด้วยไอน้ำ

ความดัน (บาร์)	เวลา (นาที)	โฮโลเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	α -เซลลูโลส (%)	log Ro
17	2	58.97	24.20	74.81	3.45
17	5	58.21	27.02	84.24	3.63
19	2	65.57	25.12	80.71	3.85
19	5	61.84	28.34	85.73	4.03

4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณโฮโลเซลลูโลส (Holocellulose)

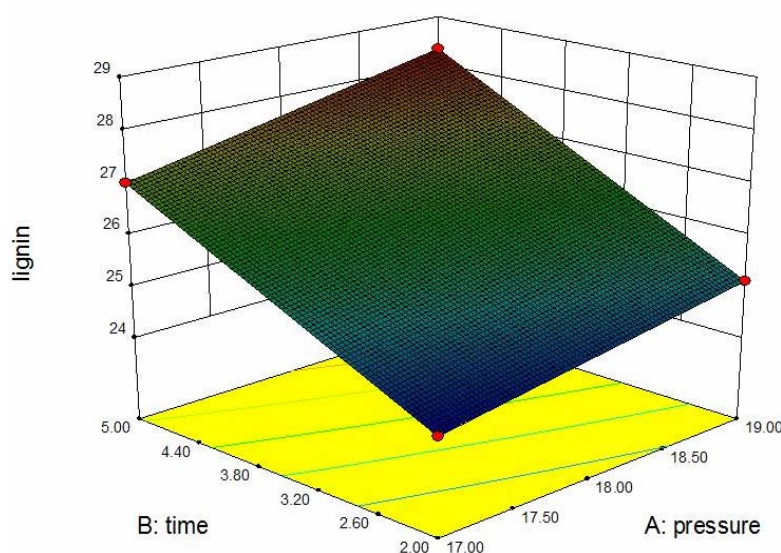


ภาพที่ 4-3 ปริมาณโฮโลเซลลูโลสที่เหลืออยู่ในชานอ้อยหลังระเบิดด้วยไอน้ำ

ปริมาณโฮโลเซลลูโลส ประกอบด้วยองค์ประกอบของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งทำให้ทราบถึงผลผลิตที่จะผลิตได้ และยังบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในกระบวนการผลิต (กิตติพงษ์, 2543) โดยงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณโฮโลเซลลูโลสมีปริมาณลดลงจากชานอ้อยก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำ ซึ่งเกิดจากการที่โฮโลเซลลูโลสแตกตัวเป็นแอลฟา-เซลลูโลสหรือองค์ประกอบตัวอื่น และจากกราฟที่ 4-3 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบชานอ้อยหลังการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดัน 17 และ 19 บาร์ เมื่อใช้ระยะเวลาในการระเบิดเท่ากันจะเห็นได้ว่าปริมาณโฮโลเซลลูโลสที่ความดัน 17 บาร์ มีค่าน้อยกว่าที่ความดัน 19 บาร์ แสดงว่าความดันมีผลกระทบต่อการ

สลายตัวของไฮโดรเซลลูโลสไปเป็นแอลฟา-เซลลูโลสหรือองค์ประกอบอื่นๆ ได้ไม่มากนัก ในขณะที่เวลา 2 นาทีและ 5 นาที จะเห็นได้ว่าที่เวลา 5 นาทีมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสน้อยกว่าเวลา 2 นาที แสดงว่ายิ่งเวลานานขึ้นไฮโดรเซลลูโลสจะแตกตัวได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวิทยา (2544) ที่กล่าวว่า การระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูง แต่ช่วงระยะเวลาสั้นไม่เกิน 4 นาที จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ดีขึ้น เพราะการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เฮมิเซลลูโลสจะละลายได้ดีขึ้น ในขณะที่เดียวกันการใช้ระยะเวลาในการระเบิดด้วยไอน้ำที่สั้นก็จะช่วยลดการแตกตัวของโมเลกุลของเซลลูโลส นั่นคืออิทธิพลของเวลามีมากกว่าอิทธิพลของความดันต่อการแตกตัวของไฮโดรเซลลูโลส

4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน (Lignin)

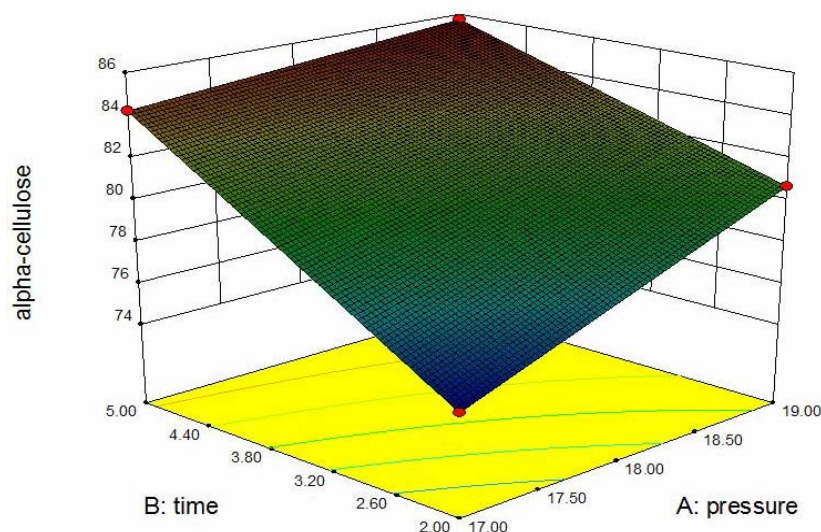


ภาพที่ 4-4 ปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในขานอ้อยหลังระเบิดด้วยไอน้ำ

ถ้ามีปริมาณลิกนินมากจะทำให้เส้นใยแข็งตึงดีเนื่องจากลิกนินเป็นตัวประสานชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ยังช่วยในการต้านทานน้ำและมีคุณสมบัติเป็น Thermoplastic ซึ่งเป็นตัวช่วยในการผลิตแผ่นใยไม้อัด (กิตติพงษ์, 2543) แต่ถ้านำไปผลิตกระดาษจะทำให้กระดาษมีสีคล้ำขึ้น จึงอาจทำการฟอกเยื่อก่อนขึ้นรูปแผ่นกระดาษ ซึ่งเมื่อดูจากตารางที่ 4-1 และรูปภาพที่ 4-4 จะพบว่าปริมาณลิกนินมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ อาจเกิดจากการที่ขานอ้อยหลังการระเบิดด้วยไอน้ำไม่ได้สกัดสารแทรกออกก่อนหรืออาจเกิดปฏิกิริยา Condensation ของลิกนินกลับเข้าสู่เยื่อขานอ้อย แต่ถ้าดูแนวโน้มน่าจะเห็นว่าปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Velasquez

(2003) ที่พบว่า ปริมาณลิกนินและเซลลูโลสมีปริมาณเพิ่มขึ้น ขณะที่เฮมิเซลลูโลสลดลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบชานอ้อยหลังการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดัน 17 และ 19 บาร์ จะเห็นได้ว่าที่ความดัน 17 บาร์ มีปริมาณลิกนินน้อยกว่าที่ความดัน 19 บาร์ แสดงว่าที่ความดัน 19 บาร์ อาจเกิดการ Condensation กลับเข้าไปในหน่วยของลิกนิน (ปฏิกิริยา Condensation เป็นกระบวนการหลักที่ไม่ต้องการ ซึ่งทำให้แยกโครงสร้างของลิกนินได้ยากขึ้น ตรงกันข้ามกับปฏิกิริยา Delignification; Sixta, 2006) และที่เวลา 2 และ 5 นาที พบว่าเวลาที่ 5 นาที มีปริมาณลิกนินมากกว่าที่ 2 นาที แสดงว่ายิ่งเวลานานขึ้นจะมีปริมาณลิกนินมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดการ Condensation กลับเข้ามามากขึ้น

4.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส (α -cellulose)

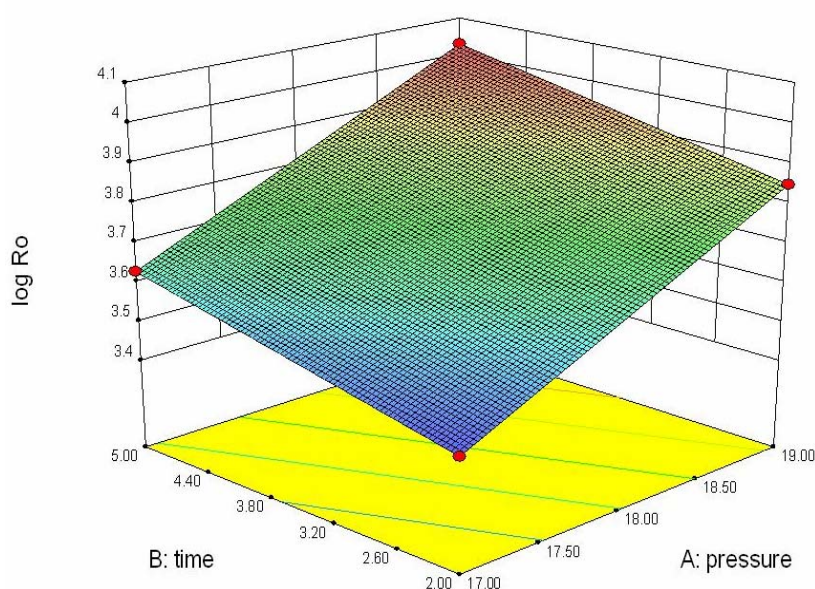


ภาพที่ 4-5 ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสที่เหลืออยู่ในชานอ้อยหลังระเบิดด้วยไอน้ำ

ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสเป็นปริมาณของเซลลูโลส ซึ่งไม่ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สำหรับปฏิกิริยา Alkalization โดยเป็นคาร์โบไฮเดรตที่เหลือหลังจากบำบัดเชื้อด้วย 17.5% NaOH ที่อุณหภูมิห้อง (Sixta, 2006) เมื่อทำการเปรียบเทียบชานอ้อยก่อนและหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ เนื่องจากไฮโดรเซลลูโลสที่แตกตัวออกมาเป็นแอลฟา-เซลลูโลส จากรูปภาพที่ 4-5 เมื่อทำการเปรียบเทียบความดันที่ต่างกัน พบว่าความดันที่สูงขึ้นมีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับปริมาณไฮโดรเซลลูโลสแสดงว่าเวลาที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสมากกว่าความดัน

นอกจากนี้ในการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอนนั้น เฮมิเซลลูโลสจะเกิดการสลายตัวได้ง่ายกว่าเซลลูโลส เพราะเซลลูโลสเองก็ประกอบด้วยแอลฟา-เซลลูโลส เบต้า-เซลลูโลส และแกมมา-เซลลูโลส ส่วนเวลาที่ต่างกันจะมีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่กล่าวข้างต้นว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ลดลงเมื่อเวลานานขึ้น แสดงว่าที่เวลา 5 นาทีปริมาณไฮโดรคาร์บอนสามารถแตกตัวเป็นแอลฟา-เซลลูโลสหรือองค์ประกอบอื่น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงด้วย กล่าวคือเยื่อของขานอ้อยสามารถสัมผัสกับความร้อนได้นานมากขึ้น ทำให้เยื่อของขานอ้อยเกิดการแตกตัวได้มากขึ้น

4.2.5 การวิเคราะห์ค่า Severity ($\log R_o$)



ภาพที่ 4-6 ค่า $\log R_o$ ของขานอ้อยหลังระเบิดด้วยไอน้ำ

ค่า Severity หรือ $\log R_o$ เป็นพารามิเตอร์เดียวที่รวมผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาเข้าไว้ด้วยกันในเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำ ดังสมการที่ 3-1 (Quintana, 2009) โดยค่า Severity ที่คำนวณได้อยู่ที่ 3.45-4.03 จากภาพที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าค่า Severity มีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นตามความดันและเวลาที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Angles (2001) ที่กล่าวว่า ค่า Severity ที่สูงเป็นผลทำให้เยื่อขานอ้อยที่ได้มีขนาดเล็กลง เนื่องจากขานอ้อยถูกบำบัดด้วยความร้อนที่สูงและเวลานาน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การเปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยของชานอ้อยก่อนและหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า ลักษณะของเส้นใยชานอ้อยก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำมีลักษณะใกล้เคียงกับชานอ้อยที่ความดัน 17 บาร์ เวลา 2 นาที แสดงว่า ที่ความดันน้อย เวลาสั้น ไม่มีผลต่อเส้นใย ส่วนลักษณะของเส้นใยที่มีการแตกตัวมากที่สุดคือที่ความดัน 19 บาร์ เวลา 5 นาที เนื่องจากเส้นใยของชานอ้อยถูกความร้อนและเวลานาน

5.1.2 ปริมาณโซโลเซลลูโลสก่อนและหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า ปริมาณโซโลเซลลูโลสมีปริมาณลดลง เนื่องจากเกิดการแตกตัวออกเป็นแอลฟา-เซลลูโลสหรือองค์ประกอบตัวอื่น

5.1.3 ปริมาณโซโลเซลลูโลสหลังการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดันและเวลาต่างกัน พบว่า ปริมาณโซโลเซลลูโลสไม่เท่ากัน โดยที่เวลานานขึ้นทำให้ปริมาณโซโลเซลลูโลสลดลง เนื่องจากมีการแตกตัวของโซโลเซลลูโลสไปเป็นแอลฟา-เซลลูโลส โดยความดันมีผลกระทบน้อยกว่าเวลา

5.1.4 ปริมาณลิกนินก่อนและหลังการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า ปริมาณลิกนินหลังการระเบิดด้วยไอน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการ Condensation ของลิกนินหรือไม่ได้ทำการสกัดสารแทรกก่อนวิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน เนื่องจากปริมาณสารแทรกทำให้การสกัดลิกนินทำได้ยากขึ้น

5.1.5 ปริมาณลิกนินหลังการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดันและเวลาต่างกัน พบว่า ความดันที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณลิกนินเล็กน้อย ส่วนเวลาที่นานทำให้ปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากการที่ลิกนินเกิดการ Condensation

5.1.6 ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสหลังการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดันและเวลาต่างกัน พบว่า ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสมีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ความดันสูงขึ้น ส่วนเวลาที่ต่างกันจะเห็นได้ว่าปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น

5.1.7 ชานอ้อยที่นำมาระเบิดด้วยไอน้ำที่สภาวะความดัน 19 บาร์ เวลา 2 นาที มีความเหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นกระดาษ เนื่องจากมีปริมาณโซโลเซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลสอยู่สูง และปริมาณลิกนินอยู่น้อย แต่เนื่องจากเยื่อที่ได้มีสีน้ำตาลเข้มจึงอาจทำการฟอกสีเยื่อก่อนการขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ

5.1.8 ชานอ้อยที่นำมาระเบิดด้วยไอน้ำที่สภาวะความดัน 19 บาร์ เวลา 5 นาที มีความเหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัดที่ไม่ใช้กาว เนื่องจากมีปริมาณลิกนินอยู่สูง ซึ่งปริมาณลิกนินดังกล่าวมีหน้าที่เป็นกาวช่วยในการยึดติดของเส้นใย

5.1.9 ความดันและเวลาที่สูงขึ้นเป็นผลทำให้ค่า Severity ยิ่งสูงขึ้น โดยที่ค่า Severity ที่สูงเป็นผลทำให้เชื้อชานอ้อยมีขนาดเล็กลงด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ทำการระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำที่ความดันให้สูงกว่า 19 บาร์ เพื่อดูลักษณะของเส้นใยและองค์ประกอบทางเคมี เนื่องจากจะได้เห็นแนวโน้มของเส้นใยและองค์ประกอบทางเคมีได้ชัดเจนมากขึ้น

5.2.2 ควรทำการระเบิดด้วยไอน้ำที่เวลานานขึ้น เพื่อดูปริมาณเซลลูโลสที่เหลืออยู่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของวิทยาและคนอื่นๆ (2544) ที่กล่าวว่าไม่ควรใช้เวลานานเกินกว่า 4 นาที เนื่องจากถ้าใช้เวลานานเกิน 4 นาทีจะทำให้การแตกตัวของเซลลูโลสลดลง

5.2.3 สกัดสารแทรกออกก่อนทำการวิเคราะห์หาค่าลิกนิน เพื่อศึกษาปริมาณลิกนินที่เกิดขึ้นจริง

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กิตติพงษ์ ตั้งกิจ. ความเหมาะสมของการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากทางใบ ลำต้นและทะลายผลเป่าของ
ปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานผลิตภัณฑ์ ภาควิชาวน
ผลิตภัณฑ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

ชัยพร พรหมชัยรัช และคนอื่นๆ. อิทธิพลของสภาวะการระเบิดด้วยไอน้ำที่มีผลต่อการแยก
องค์ประกอบทางเคมีจากฟางข้าวและการเตรียมผลึกเซลลูโลสที่ได้เพื่อทำวัสดุเชิง
ประกอบระดับนาโนเมตร. [ออนไลน์] 2548. [สืบค้นวันที่ 23 มีนาคม 2552]. จาก
http://www.stkc.go.th/stportalDocument/stportal_1118030597.pdf

ประเทือง พุฒซ้อน. เคมีของเนื้อไม้. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวนศาสตร์ คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.

พิชญ ภูมิภัทร. การศึกษากระบวนการผลิตไฮโรไลสจากกระบวนการเริ่มต้นปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำ
สำหรับการหมักไซลิทอล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์.
คณะบัณฑิตวิทยาลัย. มหาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.

วิทยา ปั่นสุวรรณ. “การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้สำหรับอุตสาหกรรม
เยื่อและกระดาษ”. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ครั้งที่ 36. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541 : 271-276.

_____. “คุณสมบัติทางเคมีของเยื่อปอสาที่ได้จากการต้มเคี่ยวด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำ”. ใน
เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37.
กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542 : 162-168.

วิทยา ปั่นสุวรรณ และคนอื่นๆ. “การผลิตเยื่อที่มีแอลฟาเซลลูโลสสูงและไซโลสจากขาน้อยโดย
วิธีระเบิดด้วยไอน้ำ”. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39.
79-86. กรุงเทพมหานคร, 2544.

_____. “การระเบิดด้วยไอน้ำและการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของเปลือกปอสา”.
ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแห่ง
ประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
2543 : 105-109.

- _____. “การแยกองค์ประกอบทางเคมีของต้นปาล์มน้ำมันโดยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ”. [ออนไลน์] 2548. [สืบค้นวันที่ 23 มีนาคม 2552]. จาก http://www.researchgate.net/publication/39027572_
- วิทยา ปิ่นสุวรรณ และนงคันทุช ธนุแสง. “การผลิตสารละลายน้ำตาลไซโลสจากชังข้าวโพดโดยการระเบิดด้วยไอน้ำ.” วารสารวิทยาศาสตร์ ม.ก. 17 (2542) : 27-35.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.), กระทรวงอุตสาหกรรม. 9 บทบันทึกแห่งอ้อยและน้ำตาลทรายไทย. กรุงเทพมหานคร : สันติภาพเพ็คพริ้นท์, [ม.ป.ป.]
- _____. สถานการณ์พื้นที่เพาะปลูกอ้อย ปีการผลิต 2548/49. [ออนไลน์] 2549. [สืบค้นวันที่ 3 มกราคม 2553]. จาก http://www.ocsb.go.th/showcontent.asp?head_id=14&id=267
- สำนักวิจัยพืชไร่. อ้อยโรงงาน. [ออนไลน์] 2549. [สืบค้นวันที่ 3 มกราคม 2553]. จาก <http://as.doa.go.th/fieldcrops/cane/index.HTM>
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2553. กรุงเทพฯ : สำนัก, 2552.
- ตามรายนน้ำตาล. แปลและเรียบเรียงโดย อัสวิทย์ ปัทมะเวณ. กรุงเทพมหานคร : ที.พี. พรินท์, [ม.ป.ป.]

ภาษาอังกฤษ

- Angles, M.N., et al. “Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels. Effect of the pre-treatment severity and lignin addition.” Journal of Biomass and Bioenergy. 21 (2001) : 211-224.
- Chen, C.P. James and Chung Chi Chou., Cane sugar handbook. 12th ed. Canada : John Wiley, 1993.
- Han, G., et al. “Effect of steam explosion treatment on characteristics of wheat straw.” Journal of Industrial Crop and Products. (2009).
- Hill, A.S. Callum. Wood modification : chemical, thermal and other processes. England : John Wiley, 2006.

- Kaar, W.E., Gutierrez, C.V. and Kinoshita, C.M. "Steam explosion of sugarcane bagasse as a pretreatment for conversion to ethanol." Journal of Biomass and Bioenergy. 14 (1998) : 277-287.
- Meade, P. George. Spencer-meade cane sugar handbook. 9th ed. America : John Wiley, 1963.
- Quintana, G. "Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch". Journal of Industrial Crops and Products. 29 (2009) : 60-66.
- Rowell, M. Roger. The chemistry of solid wood (Advances in chemistry series). America : Maple Press, 1984.
- _____. Handbook of wood chemistry and wood composites. America : CRC Press, 2005.
- Sixta, H. Handbook of pulp. Germany : Wiley-VCH, 2006.
- Stevenson, G.C., Genetics and breeding of sugar cane (Tropical Science Series). Great Britain. Butler & Tanner, 1965.
- Velasquez, J.A., et al. "Binderless fiberboard from steam exploded *Miscanthus sienensis*." Journal of Wood Science and Technol. 37 (2003) : 269-277.
- Zimbardi, F., et al. "Steam explosion of straw in batch and continuous systems." Journal of Biochemistry and Biotechnology. 77-79 (1999) : 117-125.

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางเคมีโดยวิธีทางสถิติ (ANOVA)

การออกแบบการทดลองโดยวิธีการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ANOVA) โดยวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ออกแบบการทดลองแบบ 2^2 แฟกทอเรียล มีปัจจัย 2 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยจะประกอบไปด้วย 2 ระดับเท่านั้น โดยระดับของปัจจัยประกอบไปด้วยระดับต่ำ (Low) และระดับสูง (High) เท่านั้น

คำจำกัดความ

ค่าเฉลี่ย (Mean) คือ เป็นค่ากลางของข้อมูลแบบหนึ่ง ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลที่น่ามาคำนวณ คือจำนวนค่าของข้อมูลทั้งหมดหารด้วยจำนวนตัวอย่าง

ค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) คือ รากที่สองของค่าแปรปรวน หรือ ค่าที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ย

ค่าแปรปรวน (Variance) เป็นวัดการกระจายของข้อมูลโดยหาผลรวมของข้อมูลต่างจากค่าเฉลี่ยมากแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายสูง

Sum of Squares คือ ค่าผลรวมของค่าเบี่ยงเบนแต่ละตัวยกกำลังสอง

Mean Square คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนยกกำลังสอง

Degree of Freedom คือ ระดับชั้นแห่งความอิสระ

โดยวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางเคมีโดยวิธีทางสถิติ (ANOVA) เพื่อศึกษาความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นของปริมาณองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ แต่เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ค่าทางสถิติมีจำนวนน้อย ทำให้ไม่สามารถหาค่าความน่าเชื่อถือทางสถิติออกมาได้

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลตัวแปรในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

Factor	Name	Units	Type	Subtype	Minimum	Maximum	-1 Actual	+1 Actual	Mean	Std. Dev.
A	pressure	bar	Numeric	Continuous	17	19	17	19	18	1
B	time	min	Numeric	Continuous	2	5	2	5	3.5	1.5

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลทางเคมีในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

Response	Name	Units	Obs	Analysis	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.
Y1	lignin	per cent	4	Factorial	24.2	28.34	26.17	1.863223
Y2	holocellulose	per cent	4	Factorial	58.21	65.57	61.1475	3.3370883
Y3	alpha-cellulose	per cent	4	Factorial	74.81	85.73	81.3725	4.8550893

ตารางที่ ก-3 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Source	Sum of Squares	df	Mean Square
Model	33.41	3	11.14
A-pressure	26.16	1	26.16
B-time	5.04	1	5.04
AB	2.21	1	2.21
Corrected Total	33.41	3	

ตารางที่ ก-4 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณลิแกนด์

Source	Sum of Squares	df	Mean Square
Model	10.41	3	3.47
A-pressure	1.25	1	1.25
B-time	9.12	1	9.12
AB	0.04	1	0.04
Corrected Total	10.41	3	

ตารางที่ ก-5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณแอลกอฮอล์

Source	Sum of Squares	df	Mean Square
Model	70.72	3	23.57
A-pressure	13.65	1	13.65
B-time	52.2	1	52.2
AB	4.86	1	4.86
Corrected Total	70.72	3	

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นางสาววิวรรณ ลีธนาพัฒน์
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาระเบิดเชื้อด้วยไอน้ำของชานอ้อย
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเคมี

ประวัติ

เกิดวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดปราจีนบุรี

สำเร็จการศึกษา

ระดับประถมศึกษา โรงเรียนเซนต์หลุยส์ จังหวัดฉะเชิงเทรา

ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนชลประทานวิทยา จังหวัดนนทบุรี

ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
 พระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร