การใช้กากมันสำปะหลังเพื่อทดแทนเยื่อรีไซเคิลในการผลิตกระดาษลอนลูกฟูก

สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาวศุภลักษณ์ โอสถานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4972514023

UTILIZATION OF CASSAVA RESIDUE TO SUBSTITUTE RECYCLED PULP IN CORRUGATING MEDIUM PRODUCTION

Miss Supaluke Osathanon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Pulp and Paper Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2008
Copyright of Chulalongkorn

512185

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้กากมันสำปะหลังเพื่อทดแทนเยื่อรีไซเคิลในการผลิตกระดาษลอนลูกฟูก
โดย	นางสาวศุภลักษณ์ โอสถานนท์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ดร.กุนทินี สุวรรณกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.กุนทินี สุวรรณกิจ)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ณัฐิญา ดียิ่ง)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สิริวรรณ พัฒนาฤดี)

ศุภลักษณ์ โอสถานนท์ : การใช้กากมันสำปะหลังเพื่อทดแทนเยื่อรีไซเคิลในการผลิตกระดาษลอนลูกฟูก. (UTILIZATION OF CASSAVA RESIDUE TO SUBSTITUTE RECYCLED PULP IN CORRUGATING MEDIUM PRODUCTION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร. กุนทินี สุวรรณกิจ 109หน้า.

กากมันสำปะหลังเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตแป้งในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นปริมาณมากในแต่ละวัน เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของกากมันสำปะหลัง พบว่ามีเส้นใยเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้ง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเส้นใยจากกากของมันสำปะหลังมาใช้เป็นวัตถุดิบแทนเยื่อจากไม้ในการผลิตกระดาษ อย่างไรก็ตาม กากที่จะนำมาใช้ควรมีคัดขนาดและปรับสภาพเสียก่อน เพื่อให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้ทดลองหาวิธีการที่เหมาะสมในการปรับสภาพกากมันสำปะหลังเพื่อแทนที่เยื่อรีไซเคิลในการผลิตกระดาษลอนลูกฟูก โดยในการทดลองจะทำการคัดขนาดของกากด้วยเครื่องคัดขนาดเส้นใยและตะแกรงร่อน แล้วจึงนำมาผสมกับเยื่อใยสั้นเพื่อขึ้นแผ่นกระดาษแล้วทดสอบความแข็งแรงเพื่อหาขนาดของกากที่เหมาะสม จากนั้นจึงทดลองปรับสภาพเส้นใยกากมันสำปะหลังโดยนำไปต้มในน้ำกลั่นและสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นและระดับอุณหภูมิต่าง ๆ แล้วจึงนำไปผสมกับเยื่อรีไซเคิลเพื่อขึ้นแผ่นทดสอบ พบว่าการต้มกากด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะส่งผลให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกสูงที่สุด และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีหลังการต้ม พบว่ามีปริมาณโฮโลเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 38.08 ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ซึ่งลดลงจากก่อนต้มเพียงเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณกากมันสำปะหลังที่ผสมกับเยื่อรีไซเคิลในสัดส่วนต่างๆ พบว่า ปริมาณการเติมกากมันสำปะหลังที่เหมาะสม คือร้อยละ 5-10 ของน้ำหนักกระดาษ อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบกับกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เช่นเดียวกัน พบว่ากระดาษที่ผสมด้วยกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยน้ำกลั่นจะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงกดของกระดาษลอนลูกฟูกสูงกว่า

สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ ลายมือชื่อนิสิต...

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....................................

4972514023 : MAJOR PULP AND PAPER TECHNOLOGY

KEY WORD:CASSAVA RESIDUE / CORRUGATING MEDIUM / RECYCLED PULP

SUPALUKE OSATHANON : UTILIZATION OF CASSAVA RESIDUE TO SUBSTITUTE RECYCLED PULP IN CORRUGATING MEDIUM PRODUCTION. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : KUNTINEE SUVARNAKICH, Ph.D., 109 pp.

Cassava residue is a by-product from cassava starch production which is available in large quantity per day. Cassava residue contains about 20% fibers (dry weight) which may be used to substitute wood pulp in papermaking. However, the cassava residue should be screened and treated to make it more suitable for papermaking. This research investigated the suitable techniques in pretreating the cassava residue for replacing recycled pulp in corrugating medium production. In this experiment, the cassava residue was screened using a Bauer McNett fiber classifier and a 25-mesh test sieve, then mixed with hardwood pulp to make handsheets. The strength properties were tested to determine the optimum fiber size. The screened pulp was then pretreated by cooking in distilled water and sodium hydroxide solution. The variables included sodium hydroxide concentration and cooking temperature. The pretreated residue was then mixed with recycled pulp and made into handsheets. It was found that treating the residue with 15% sodium hydroxide at 50 C for 1 hr provided the sheets with highest tensile index, burst index and Concorat Medium Test (CMT). The chemical analysis showed the holocellulose content as 38.08% which was only slightly decreased after pretreatment. The optimum amount for cassava residue to substitute hardwood pulp is 5-10% of oven-dried sheet weight. However, the pulp that was heated in distilled water under the same condition provided the sheets with higher tensile index, burst index and CMT than the pulp treated with sodium hydroxide.

Field of study :Pulp and Paper Technology Student's signature.....Supaluke Osatanon.....

Academic year 2008 Thesis Principal Advisor's signature.........

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร. กุนทินี สุวรรณกิจ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการทดลอง และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบริษัท เยนเนรัลสตาร์ช จำกัด ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์กากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทำงานวิจัย รวมทั้งเครื่องมือบางชนิด ขอขอบคุณมาก ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ปรีดา บุญ-หลง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ช่วยให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ณัฐิยา ดียิ่ง กรรมการสอบภายนอกที่ช่วยเสนอแนะข้อคิดเห็น และให้คำปรึกษา ช่วยแก้ข้อสงสัยตลอดการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สิริวรรณ พัฒนาฤดี กรรมการสอบที่เสนอข้อคิดเห็นเพิ่มที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมพร ชัยอารีย์กิจ ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับวิธีการทดลองในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ ในห้องปฏิบัติการกระดาษ และที่บริษัท เยเนรัลสตาร์ช จำกัด ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัย และให้คำแนะนำตลอดการวิจัยจนสำเร็จ

และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนทางการศึกษาตลอดมา จนงานวิจัยชิ้นนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.. ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ... ช

สารบัญตาราง .... ฎ

สารบัญภาพ.. ฑ

บทที่

1. บทนำ.. 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.. 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.. 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.. 2

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย... 2

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง... 4

2.1 แนวคิดและทฤษฎี...4

2.1.1 กระดาษและองค์ประกอบของกระดาษ.. 4

2.1.1.1 เส้นใย (fibers) 4

2.1.1.2 ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย (non-fibrous materials)................................. 5

2.1.2 เคมีของเส้นใย (Fiber chemistry)... 5

2.1.2.1 เซลลูโลส (cellulose) 5

2.1.2.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) 8

2.1.2.3 ลิกนิน (lignin) 9

2.1.2.4 สารแทรก(extractive)..10

2.1.3 กระดาษลอนลูกฟูก (Corrugated medium) 11

2.1.3.1 โครงสร้างของกระดาษลูกฟูก...11

2.1.3.2 วัสดุที่ใช้ทำกระดาษลูกฟูก.. 12

หน้า

2.1.3.3 ชนิดของแผ่นกระดาษลูกฟูก....................12

2.1.3.4 ชนิดของลอนลูกฟูก....................13

2.1.3.5 การรีไซเคิลกระดาษลูกฟูก....................14

2.1.4 กากมันสำปะหลัง....................15

2.1.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง....................16

2.1.4.2 ลักษณะที่สำคัญของกากมันสำปะหลัง....................17

2.1.4.3 การผลิตแป้งมันสำปะหลัง....................19

2.1.4.4 กากมันสำปะหลัง....................20

2.1.4.5 การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง....................21

2.1.5 การปรับสภาพวัตถุดิบ (pretreatment) 22

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....................23

3. วิธีการดำเนินการวิจัย.................... 24

3.1 สารเคมี.................... 24

3.2 อุปกรณ์.................... 24

3.3 วิธีการทดลอง.................... 26

3.3.1 ศึกษาหาภาวการณ์เตรียมและขนาดที่เหมาะสม
ของกากมันสำปะหลัง.................... 26

3.3.1.1 การเตรียมเยื่อบริสุทธิ์ (virgin pulp) 26

3.3.1.2 การแยกขนาดกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องแยกความยาวของ
เส้นใย (Bauer McNett Classifier).................... 27

3.3.1.3 แยกขนาดกากมันสำปะหลังโดยใช้โดยใช้ตะแกรงร่อนแยกขนาด
(test sieve) 30

หน้า

3.3.2 ปรับปรุงเส้นใยกากมันสำปะหลังและศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง.. 32
3.3.2.1 การปรับปรุงเส้นใยกากมันสำปะหลัง.................................... 33
3.3.3.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกากมันสำปะหลัง. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)............ 34
3.3.2.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกากมันสำปะหลัง 34
3.3.3 การทดลองผลิตกระดาษลอนลูกฟูกจากเยื่อรีไซเคิลผสมกับกากมันสำปะหลัง......... 34
3.3.3.1 การเตรียมเยื่อรีไซเคิล (recycled pulp). 34
3.3.3.2 การเตรียมน้ำเยื่อ.......................... 35
3.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ.. 36
4.ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.. 37
4.1 ผลของการศึกษาหาภาวการณ์เตรียมและขนาดที่เหมาะสมของกากมันสำปะหลังและปรับปรุงเส้นใยกากมันสำปะหลังให้เหมาะสม.. 37
4.1.1 ผลของการแยกขนาดกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องแยกความยาวเส้นใย (Bauer McNett Classifier).. 37
4.1.1.1 ผลของชนิดและขนาดของกากที่มีผลต่อความแข็งแรงของกระดาษ 44
4.1.1.2 ผลของการตี/บดกากที่มีต่อความแข็งแรงของกระดาษ................ 47
4.1.2 ผลของการแยกขนาดกากมันสำปะหลังโดยใช้ตะแกรงร่อนแยกขนาด (sieve test).. 50
4.1.2.1 ผลของการทำแห้งที่มีต่อความแข็งแรงของกระดาษ.................. 53
4.2.1.2 ผลของการตีกากต่อความแข็งแรงของกระดาษ......................... 56
4.2.1.3 ผลของขนาดของกากต่อความแข็งแรงของกระดาษ.................... 59

หน้า

4.2 ผลของการศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง และปรับปรุงเส้นใยกากมันสำปะหลังให้เหมาะสม.. 63
4.2.1 ผลของการปรับปรุงเส้นใยกากมันสำปะหลัง........ 63
4.2.1.1 ผลของอุณหภูมิที่เหมาะสม.. 63
4.2.1.2 ผลของระดับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม............ 65
4.2.1.2.1 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index).......... 65
4.2.1.2.2 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index) 66
4.2.1.2.3 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst index)....... 67
4.2.1.2.4 ค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (CMT) 67
4.2.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกากมันสำปะหลังโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).. 71
4.2.3 ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกากมันสำปะหลัง......... 74
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ........ 76
5.สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ........ 78
5.1 สรุปผลการทดลอง.. 78
5.1.1. การศึกษาหาภาวการณ์เตรียมและขนาดที่เหมาะสมของกากมันสำปะหลัง... 78
5.1.1.1 อิทธิพลของขนาดของกากต่อความแข็งแรงของกระดาษ........... 78
5.1.1.2 อิทธิพลของชนิดของกากต่อความแข็งแรงของกระดาษ 79
5.1.1.3 อิทธิพลของปริมาณการเติมกากต่อความแข็งแรงของกระดาษ 79
5.1.2. การแยกขนาดกากมันสำปะหลังโดยใช้ตะแกรงร่อนแยกขนาด (test sieve).......79
5.1.2.1 อิทธิพลของการการทำแห้งต่อค่าความแข็งแรงของกระดาษ 80
5.1 2.2 อิทธิพลของการตีกากต่อค่าความแข็งแรงของกระดาษ 80
5.1.2.3 อิทธิพลของขนาดของกากต่อค่าความแข็งแรงของกระดาษ........... ...80
5.1.3. การปรับปรุงเส้นใยให้เหมาะสมกับการใช้งาน..... 80
5.1.3.1 การปรับปรุงเส้นใยกากมันสำปะหลังโดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์... ... 81
5.1.3.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยกากมันสำปะหลัง 81
5.2. ข้อเสนอแนะ........ .... .82

หน้า

รายการอ้างอิง..... ……………..……………………………..…...……….…...………………. 83
ภาคผนวก........ ………………………..…...……………………..…..………….……..….…….. 87
ภาคผนวก ก. วิธีการคำนวณ........ …………………..…...………………………..……………...86
ภาคผนวก ข. ข้อมูลดิบในการทดลอง.. ……………..…………………..…….………………. 95
ภาคผนวก ค. ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด………………………... 102
ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ…………………………….…. 106
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…………………………………...………….…………… 108

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 รายละเอียดของลอนลูกฟูก ชนิดลอน A, B, C, E..13

ตารางที่ 2-2 ส่วนประกอบของหัวมันสำปะหลังสด (กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักหัวมัน)..16

ตารางที่ 2-3 ส่วนประกอบของเนื้อมันสำปะหลังแห้ง (กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง)..16

ตารางที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบในกากมันสำปะหลังแห้ง (g/100g ของน้ำหนักแห้ง)..21

ตารางที่ 3-1 ภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองแยกความยาวเส้นใยด้วยเครื่องแยกความยาวเส้นใย (Bauer McNett Classifier)..28

ตารางที่ 3-2 ภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองแยกขนาดกากมันสำปะหลังโดยใช้ตะแกรงร่อนแยกขนาด (test sieve)..31

ตารางที่ 4-1 ส่วนประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง..74

ตารางที่ 4-2 ส่วนประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังหลังต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15..75

ตารางที่ ข-1 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ unit 1 ในสัดส่วนต่าง ๆ..96

ตารางที่ ข-2 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ unit 2 ในสัดส่วนต่าง ๆ..96

ตารางที่ ข-3 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ unit 4 ในสัดส่วนต่าง ๆ..97

ตารางที่ ข-4 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ unit 1 ในสัดส่วนต่าง ๆ..97

หน้า

ตารางที่ ข-5 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลัง ที่ unit 2 ในสัดส่วนต่าง ๆ.....98

ตารางที่ ข-6 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลัง ที่ unit 4 ในสัดส่วนต่าง ๆ.....98

ตารางที่ ข-7 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลัง ชนิดหยาบในภาวะต่าง ๆ.....99

ตารางที่ ข-8 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลัง ชนิดหยาบในภาวะต่าง.....99

ตารางที่ ข-9 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกและค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใย.....100

ตารางที่ ข-10 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใย.....100

ตารางที่ ข-11 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใย.....101

ตารางที่ ข-12 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใย.....101

ตารางที่ ข-13 ค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใย.....101

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของเซลลูโลส....6
ภาพที่ 2-2 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลสที่มีพันธะไฮโดรเจน ทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุล....6
ภาพที่ 2-3 บริเวณที่เป็นส่วนผลึก (ส่วนที่เป็นระเบียบ) และส่วนอสัณฐาน (ส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ) ของเซลลูโลส....7
ภาพที่ 2-4 สูตรโครงสร้างของลิกนิน....10
ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของกระดาษลอนลูกฟูก....11
ภาพที่ 2-6 ชนิดของกระดาษลูกฟูก....13
ภาพที่ 2-7 ชนิดของลอนลูกฟูก....14
ภาพที่ 2-8 ลักษณะของต้นมันสำปะหลัง....16
ภาพที่ 2-9 ส่วนรากของต้นมันสำปะหลัง....17
ภาพที่ 2-10 ภาพตัดขวางของหัวมันสำปะหลัง....18
ภาพที่ 2-11 ขั้นตอนการผลิตกากมันสำปะหลัง....22
ภาพที่ 2-12 แผนภาพของการปรับสภาพวัตถุดิบ....21
ภาพที่ 3-1 เครื่องบดเยื่อ (valley beater)....26
ภาพที่ 3-2 แผนภาพแสดงภาวการณ์เตรียมกากมันสำปะหลัง....27
ภาพที่ 3-3 เครื่องมือที่ใช้ในการตีกาก (ของบริษัท เยเนรัล สตาร์ช จำกัด)....28
ภาพที่ 3-4 เครื่องแยกความยาวของเส้นใย (Bauer McNett Classifier)....29
ภาพที่ 3-5 ตะแกรงร่อนแยกขนาด (sieve test)....31
ภาพที่ 3-6 แผนภาพแสดงภาวะการเตรียมกากมันสำปะหลัง....35
ภาพที่ 4-1 ลัดส่วนของปริมาณกากมันสำปะหลังที่แยกความยาวเส้นใยได้ในแต่ละ unit....37
ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังของ uniit ที่ 1, 2 และ 4 ในลัดส่วนต่าง ๆ กับปริมาณกากมันสำปะหลังที่เติม....40
ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังของ uniit ที่ 1, 2 และ 4 ในลัดส่วนต่าง ๆ กับปริมาณกากมันสำปะหลังที่เติม....41

หน้า

ภาพที่ 4-4 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ดีที่สุดของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก 42
ภาพที่ 4-5 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกที่ดีที่สุดของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก................42
ภาพที่ 4–6 อิทธิพลของชนิดของกากที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง......................45
ภาพที่ 4–7 อิทธิพลของชนิดของกากที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก......................46
ภาพที่ 4–8 อิทธิพลของการตี/บดกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง................................48
ภาพที่ 4–9 อิทธิพลของการตี/บดกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก................................49
ภาพที่ 4-10 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก..........................51
ภาพที่ 4-11 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก........................51
ภาพที่ 4-12 อิทธิพลของการทำแห้งที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง........................54
ภาพที่ 4-13 อิทธิพลของการทำแห้งที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก........................55
ภาพที่ 4-14 อิทธิพลของการตีกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง...................................57
ภาพที่ 4-15 อิทธิพลของการตีกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก..................................58
ภาพที่ 4-16 อิทธิพลของขนาดกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง.................................61
ภาพที่ 4-17 อิทธิพลของขนาดกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก.................................67
ภาพที่ 4-18 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง..............62
ภาพที่ 4-19 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลัง 64
ภาพที่ 4-20 ลักษณะพื้นผิวและภาพตัดขวางของกระดาษทดสอบชุดควบคุม.....................64
ภาพที่ 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกและอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มกากมันสำปะหลัง..69
ภาพที่ 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มกากมันสำปะหลัง..69
ภาพที่ 4-23 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก...........................70
ภาพที่ 4-24 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก..........................70
ภาพที่ 4-25 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก.....................74
ภาพที่ 4-26 ค่าความต้านทานลอนลูกฟูกของภาวะต่าง ๆ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม............74