การดัดแปรกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแห้งในกระดาษลอนลูกฟูก

นางสาวปาริชาติ พิบูลหิรัญธำรง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODIFICATION OF CASSAVA RESIDUE FOR USE AS DRY STRENGTH AGENT IN CORRUGATING MEDIUM

Miss Parichat Piboonhirunthmrong

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 University

512151

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดัดแปรกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแห้งในกระดาษลอนลูกฟูก
โดย	นางสาวปาริชาติ พิบูลหิรัญธำรง
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.ณัฐญา ดียิ่ง)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สิริวรรณ พัฒนาฤดี)

ปาริชาติ พิบูลหิรัญธำรง : การดัดแปรกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแห้งในกระดาษลอนลูกฟูก. (MODIFICATION OF CASSAVA RESIDUE FOR USE AS DRY STRENGTH AGENT IN CORRUGATING MEDIUM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ.ดร. กุนทินี สุวรรณกิจ, 110 หน้า.

ในการผลิตกระดาษลอนลูกฟูก ส่วนใหญ่เยื่อที่ใช้ในการผลิตคือเยื่อรีไซเคิลจากกระดาษกล่องลูกฟูกเก่า ดังนั้นกระดาษที่ได้จะมีความแข็งแรงลดลง ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงจำพวกแป้ง ได้แก่ แป้งประจุบวก และแป้งแอมโฟเทอริก เพื่อส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น ในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง พบว่ากากมันสำปะหลังที่ได้ออกมาจากการผลิตแป้ง ยังคงมีแป้งหลงเหลือติดอยู่กับกากอยู่ประมาณร้อยละ 56 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำกากมันสำปะหลังมาทำการดัดแปรทางเคมีเป็นกากประจุบวกและกากแอมโฟเทอริกเช่นเดียวกับการดัดแปรแป้ง แล้วทดลองใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในกระดาษ โดยในการทดลองจะทำการดัดแปรกากมันสำปะหลังด้วยสารละลาย (3-คลอโร-2-ไฮดรอกซี-โพรพิล)ไตรเมทิล แอมโมเนียม ที่ปริมาณร้อยละ 1, 2, 5 และ 8 ของกาก เพื่อให้ได้กากประจุบวกและส่วนประจุบวกของกากแอมโฟเทอริก และใช้สารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ปริมาณร้อยละ 3 ของกาก เพื่อให้ได้ส่วนประจุลบของกากแอมโฟเทอริก นำมาผสมกับเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่า โดยให้มีสัดส่วนของแป้งต่อน้ำหนักกระดาษในปริมาณต่างๆ พบว่า กระดาษที่ผสมด้วยกากแอมโฟเทอริกจะให้ความแข็งแรงเชิงกลของกระดาษ ได้แก่ ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกสูงกว่ากระดาษที่ผสมด้วยกากประจุบวก แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้แป้งดัดแปรและกากดัดแปรเป็นสารเพิ่มความแข็งแรง พบว่าการใช้แป้งดัดแปรจะส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงมากกว่าการใช้กากดัดแปร อย่างไรก็ตามยังพบว่าการใช้กากดัดแปรจะส่งผลให้กระดาษมีค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกสูงกว่ากระดาษภาวะควบคุม คือ กระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความแข็งแรง

สาขาวิชา : เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ ลายมือชื่อนิสิต : .....

ปีการศึกษา : 2551 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิยานิพนธ์หลัก : .....

4972376823 : MAJOR PULP AND PAPER TECHNOLOGY
KEY WORD: CASSAVA RESIDUE / DRY STRENGTH AGENT/ CATIONIC CASSAVA RESIDUE / AMPHOTERIC CASSAVA RESIDUE /MECHANICAL STRENGTH

PARICHAT PIBOONHIRUNTHUMRONG : MODIFICATION OF CASSAVA RESIDUE FOR USE AS DRY STRENGTH AGENT IN CORRUGATING MEDIUM. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : KUNTINEE SUVARNAKICH, Ph.D.,110 pp.

Generally, the pulp that is used to produce corrugating medium was recycled pulp from old corrugated container (OCC). This results in lower paper strength. Dry strength agents such as cationic starch and amphoteric starch were thus added to improve the strength of the sheet. In cassava starch industry, the cassava residue from the process still has about 56% starch. This research aimed to modify the cassava residue to cationic cassava residue and amphoteric cassava residue using the same method as the modified starch. In this experiment, (3-chloro-2-hydroxypropyl) trimethyl ammonium was used to provide cationic group on modified cassava residue. The chemical concentration used was 1, 2, 5 and 8 % based on solid weight. Sodiumtripolyphosphate was used to provide anionic group on amphoteric cassava residue in the concentration of 3% based on solid weight. The residue was then mixed with old corrugated container in various ratios. It was found that the paper with amphoteric cassava residue had higher mechanical strength (tensile index, tear index, burst index and flat crush resistance) than the paper with cationic cassava residue. The study also compared the use of modified starch and modified cassava residue as a dry strength agent. The result showed that the paper containing modified starch had higher strength than the paper containing modified cassava residue. However, the paper with modified cassava residue had higher flat crush resistance than the control paper which contained no dry strength agent.

Field of study: Pulp and Paper Technology Student's signature: Parichat Piboonhirunthumrong

Academic year: 2008 Thesis Principal Advisor's signature: Kuntinee Suvarnakich

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.กุนทินี สุวรรณกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ คำสั่งสอน ให้คำปรึกษา ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ สนับสนุนและให้กำลังใจตลอดจนชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. ปรีดา บุญ-หลง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. สิริวรรณ พัฒนาฤดี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลามาให้คำแนะนำ และทำการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร.ณัฐิยา ดียิ่ง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย อีกทั้งยังสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ คำสั่งสอน ให้คำปรึกษา ตลอดการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ สมพร ชัยอารีย์กิจ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บริษัทเยนเนรัลสตาร์ช จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์และทุนสนับสนุนตลอดงานวิจัย

ขอบคุณ เพื่อน พี่ และน้อง ๆ ในสาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ และบริษัทเยนเนรัลสตาร์ช จำกัด ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติ ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนทางด้านการเรียนและการวิจัยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... 3

2.1.1 กระบวนการผลิตกระดาษ..... 3

2.1.2 กระดาษกล่องลูกฟูก..... 7

2.1.3 แป้งมันสำปะหลัง..... 11

2.1.4 แป้งดัดแปร..... 20

2.1.5 การใช้แป้งในอุตสาหกรรมกระดาษ..... 27

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 29

3 วิธีการดำเนินวิจัย..... 30

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี..... 30

3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 32

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 41

4.1 ผลการหาขนาดและการเตรียมกากมันสำปะหลัง..... 41

4.2 ผลการดัดแปรกากมันสำปะหลัง..... 45

5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 80

หน้า

รายการอ้างอิง..... 84

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก..... 88

ภาคผนวก ข..... 97

ภาคผนวก ค..... 107

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....110

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความสูงและความกว้างของลอนแต่ละชนิด..... 9

ตารางที่ 2.2 ผลผลิตมันสำปะหลังที่จากภาคต่างๆ ของประเทศไทย..... 12

ตารางที่ 2.3 สมบัติของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน..... 13

ตารางที่ 4.1 ปริมาณแป้งในกากมันสำปะหลัง..... 41

ตารางที่ 4.2 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index, N·m/g) ของกระดาษที่ผสมด้วย
กากมันสำปะหลังแบบต่างๆ..... 42

ตารางที่ 4.3 ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษ (tear index, mN·m^2/g) ที่ผสมด้วย
กากมันสำปะหลังแบบต่างๆ..... 44

ตารางที่ 4.4 สมบัติของแป้งมันสำปะหลัง แป้งดัดแปร กากมันสำปะหลังและกากดัดแปร..... 47

ตารางที่ 4.5 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index, N·m/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งประจุบวกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ..... 53

ตารางที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index, N·m/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ..... 54

ตารางที่ 4.7 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index, N·m/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยกากประจุบวกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ..... 56

ตารางที่ 4.8 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index, N·m/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยกากแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ..... 57

ตารางที่ 4.9 ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index, mN·m^2/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งประจุบวกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ..... 59

หน้า

ตารางที่ 4.10 ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index, $mN \cdot m^2/g$) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ..... 60

ตารางที่ 4.11 ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index, $mN \cdot m^2/g$) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยกากประจุบวกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ..... 62

ตารางที่ 4.12 ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index, $mN \cdot m^2/g$) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยกากแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ..... 63

ตารางที่ 4.13 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst index, $kPa \cdot m^2/g$) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งประจุบวกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ..... 65

ตารางที่ 4.14 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst index, $kPa \cdot m^2/g$) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ.....66

ตารางที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst index, $kPa \cdot m^2/g$) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยกากประจุบวกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ.....68

ตารางที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst index, $kPa \cdot m^2/g$) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยกากแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ.....69

ตารางที่ 4.17 ค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก(N) ของกระดาษกล่อง
ลูกฟูกที่ผสมด้วยกากประจุบวกและกากแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ใน
ปริมาณร้อยละต่างๆ.....72

ตารางที่ 4.18 ค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (N) ของกระดาษที่ผสมด้วยแป้งประจุบวก
และแป้งแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละ 2..... 73

ตารางที่ 4.19 ค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก(N) ของกระดาษที่ผสมด้วย
แป้งประจุบวก แป้งแอมโฟเทอริก กากประจุบวกและกากแอมโฟเทอริก..... 74

ตารางที่ 4.20 ค่า p-value สำหรับค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง..... 75

หน้า

ตารางที่ 4.21 ค่า p-value สำหรับค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก..... 76

ตารางที่ 4.22 ค่า p-value สำหรับค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ..... 77

ตารางที่ 4.23 ค่า p-value สำหรับค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก..... 79

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ..... 7
ภาพที่ 2.2 ลักษณะลอนกระดาษลูกฟูก..... 8
ภาพที่ 2.3 การวัดความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก..... 10
ภาพที่ 2.4 กระบวนการผลิตกระดาษกล่องลูกฟูก..... 10
ภาพที่ 2.5 ประเภทของกระดาษกล่องลูกฟูก..... 11
ภาพที่ 2.6 ลักษณะเม็ดแป้งมันสำปะหลัง..... 12
ภาพที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างของอะมิโลส..... 14
ภาพที่ 2.8 ลักษณะของอะมิโลสภายใต้แสงโพลาไรซ์..... 14
ภาพที่ 2.9 ลักษณะโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน..... 15
ภาพที่ 2.10 การเกิดรีโทรเกรเดชัน..... 17
ภาพที่ 2.11 กระบวนการผลิตมันสำปะหลังในโรงงานอุตสาหกรรม..... 19
ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของแป้งประจุบวกที่ดัดแปรด้วยสาร CHPT..... 25
ภาพที่ 2.13 โครงสร้างของแป้งแอมโฟเทอริก..... 27
ภาพที่ 3.1 เครื่องตีกาก..... 32
ภาพที่ 3.2 ตะแกรงที่ใช้ร่อนกากมันสำปะหลัง..... 33
ภาพที่ 3.3 เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษ..... 35
ภาพที่ 3.4 เครื่องคั่วแป้ง..... 37
ภาพที่ 4.1 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (N·m/g) กับปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้..... 43
ภาพที่ 4.2 ลักษณะของกากมันสำปะหลัง..... 43
ภาพที่ 4.3 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก ($mN \cdot m^2/g$) กับปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้..... 45
ภาพที่ 4.4 ลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลัง..... 48
ภาพที่ 4.5 ลักษณะของกากมันสำปะหลัง..... 50

หน้า

ภาพที่ 4.6 ลักษณะของกระดาษเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน..... 51

ภาพที่ 4.7 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index, N·m/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งประจุบวก ที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้..... 53

ภาพที่ 4.8 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index, N·m/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้.....54

ภาพที่ 4.9 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index, N·m/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งประจุบวกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้.....57

ภาพที่ 4.10 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile index, N·m/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยกากแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้.....58

ภาพที่ 4.11 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index, $mN \cdot m^2/g$) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งประจุบวก ที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้..... 60

ภาพที่ 4.12 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index, $mN \cdot m^2/g$) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้.....61

ภาพที่ 4.13 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index, $mN \cdot m^2/g$) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งประจุบวกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้.....63

หน้า

ภาพที่ 4.14 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear index, mN·m^2/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยกากแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้..... 64

ภาพที่ 4.15 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst index, kPa·m^2/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งประจุบวก ที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้..... 66

ภาพที่ 4.16 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst index, kPa·m^2/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้.....67

ภาพที่ 4.17 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst index, kPa·m^2/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยแป้งประจุบวกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้.....69

ภาพที่ 4.18 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst index, kPa·m^2/g) ของกระดาษ
ที่ผสมด้วยกากแอมโฟเทอริกที่มี CHPT ในปริมาณร้อยละต่างๆ กับปริมาณ
แป้ง (ร้อยละ) ที่ใช้..... 70

ภาพที่ 4.19 ค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก(N) ของกระดาษที่ผสมด้วย
กากประจุบวกและกากแอมโฟเทอริก..... 72

ภาพที่ 4.20 ค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก(N) ของกระดาษที่ผสมด้วย
แป้งประจุบวกและแป้งแอมโฟเทอริก..... 73

ภาพที่ 4.21 ค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก(N) ของกระดาษที่ผสมด้วย
แป้งประจุบวก แป้งแอมโฟเทอริก กากประจุบวกและกากแอมโฟเทอริก..... 74