สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลของการศึกษาหาภาวะการเตรียมและขนาดที่เหมาะสมของกากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดกากหยาบ และชนิดกากอ่อน เนื่องจากยังไม่ทราบขนาดที่แน่นอน และภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง ดังนั้นก่อนที่จะนำกากมันสำปะหลังไปผสมกับเยื่อบริสุทธิ์ จึงทำการแยกความยาวเส้นใยของกากมันสำปะหลังก่อน โดยในขั้นแรกจะแยกความยาวของเส้นใยด้วยเครื่องแยกความยาวเส้นใย (Bauer McNett Classifier) ตามมาตรฐาน TAPPI T 233 cm-95 และแบ่งภาวะในการทดลองออกเป็น 8 ภาวะ ดังตารางที่ 3-1

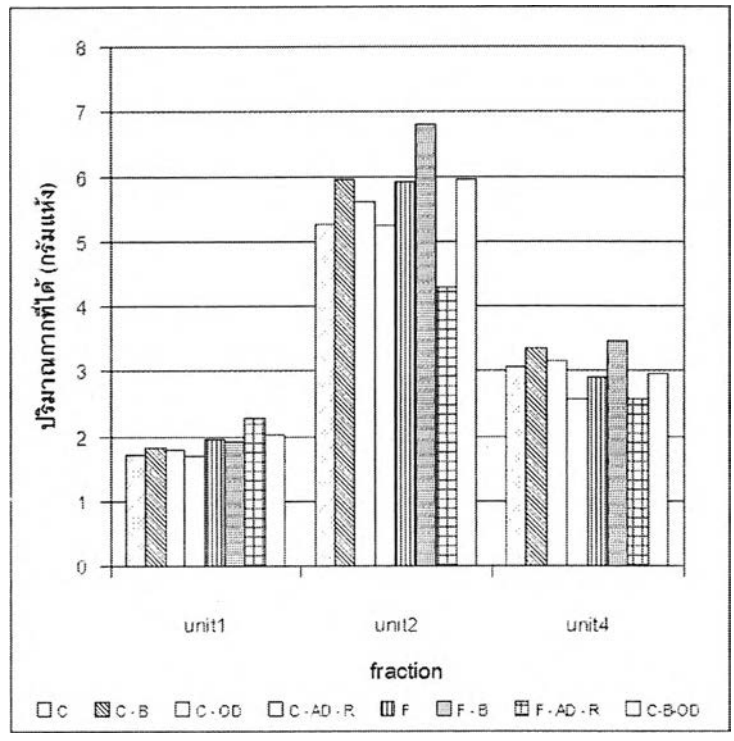
ลักษณะของกากมันสำปะหลังที่นำมาใช้ในการทดลอง กากมันสำปะหลังภาวะที่ผ่านการตากแห้งหรืออบแห้ง แป้งจะจับกับเส้นใยทำให้เป็นก้อนแข็ง แยกออกจากกันค่อนข้างยาก ส่งผลต่อการแยกความยาวเส้นใย ส่วนกากมันสำปะหลังในภาวะเปียก จะแยกความยาวเส้นใยได้ง่ายกว่า

4.1.1 ผลของการแยกขนาดกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องแยกความยาวเส้นใย (Bauer McNett Classifier)

จากการทดลองแยกขนาดกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องแยกขนาดความยาวเส้นใย แต่ละภาวะจะแยกความยาวของเส้นใยกากมันสำปะหลังได้อีก 4 ขนาด จาก 4 unit แต่จากการทดลองพบว่าที่ Unit ที่ 3 มีปริมาณกากมันสำปะหลังออกมาน้อยมากเมื่อเทียบกับที่ unit อื่น ๆ จึงมิได้นำมาทำการทดลองต่อ

จากการคำนวณน้ำหนักที่หายไปหลังจากการแยกขนาดเส้นใย (ภาคผนวก ก.) พบว่าปริมาณเยื่อที่หายไปเฉลี่ยประมาณร้อยละ 88 ของน้ำหนักทั้งหมด ซึ่งเป็นปริมาณที่เยอะมาก สิ่งที่หายไปอาจเป็นแป้งมันสำปะหลังที่ติดมากับกากมันสำปะหลัง เนื่องจากแป้งมีขนาดเล็กกว่า 200 เมช จึงสามารถลอดผ่านตะแกรงของ unit ที่ 4 ไปได้ และอาจจะมีเส้นใยกากมันสำปะหลังที่มีขนาดเล็ก ๆ ที่ลอดผ่านตะแกรง ซึ่งเส้นใยที่ลอดผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช ซึ่งจะเรียกว่า fine [29]

เมื่อพิจารณาอีก 3 unit ที่เหลือ พบว่าทุกภาวะที่นำมาทดลองมีสัดส่วนของขนาดเส้นใยที่ Unit ที่ 1 : Unit ที่ 2 : Unit ที่ 4 โดยประมาณเท่ากับร้อยละ 2 : 6 : 3 ดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 สัดส่วนของปริมาณกากมันสำปะหลังที่คัดแยกตามความยาวของเส้นใยในแต่ละ Unit

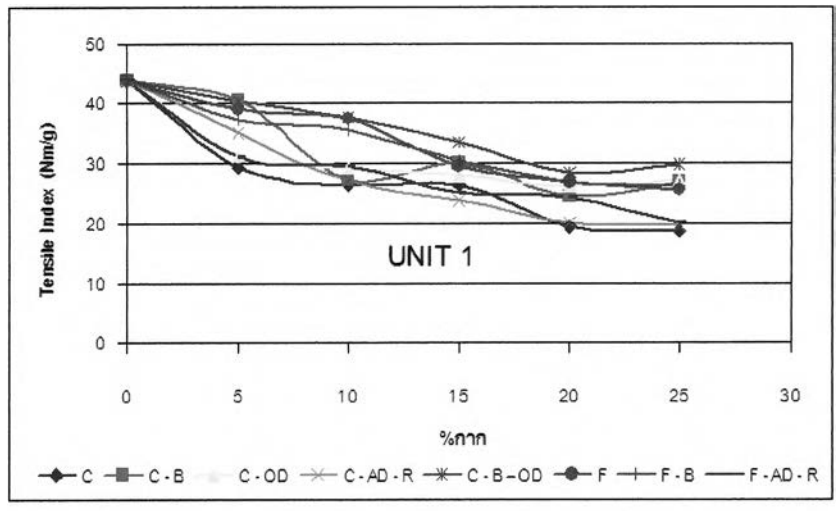
จากภาพที่ 4-1 จะเห็นว่ากากมันสำปะหลังทุกภาวะที่นำมาทดลอง ขนาดความยาวของเส้นใยส่วนใหญ่อยู่ที่ unit ที่ 2 ซึ่งมีขนาดประมาณ 30-50 เมช (รูเปิดตะแกรงเท่ากับ 0.297 - 0.595 มิลลิเมตร) และจากการคำนวณค่าความยาวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของเส้นใย (weighted average fiber length) พบว่าค่าเฉลี่ยของเส้นใยกากมันสำปะหลังทุกภาวะ เท่ากับ 0.030 มิลลิเมตร

ลักษณะของกากมันสำปะหลังที่แยกขนาดได้ในแต่ละ unit จะมีความแตกต่างกันดังนี้คือ ใน unit ที่ 1 จะมีส่วนของเปลือกมันสำปะหลังที่ติดมากับกากผสมอยู่กับเส้นใยกากมันสำปะหลัง ซึ่งมีขนาดใหญ่ และในภาวะที่ใช้กากมันสำปะหลังแห้ง (C-AD-R, F-AD-R) มาแยกความยาวเส้นใย ส่วนที่เป็นก้อนแข็งของกากมันสำปะหลังและแป้ง เมื่อแช่อยู่ในน้ำก็จะแยกจากกันได้ ส่วนลักษณะของกากมันสำปะหลังใน unit ที่ 2 จะมีเส้นใยมากกว่า และเห็นได้ชัดเจนว่าเส้นใยที่ได้จะมีลักษณะสั้น และปลายตัด ส่วนใน unit ที่ 4 เส้นใยกากมันสำปะหลังจะมีขนาดเล็ก และละเอียดที่สุด

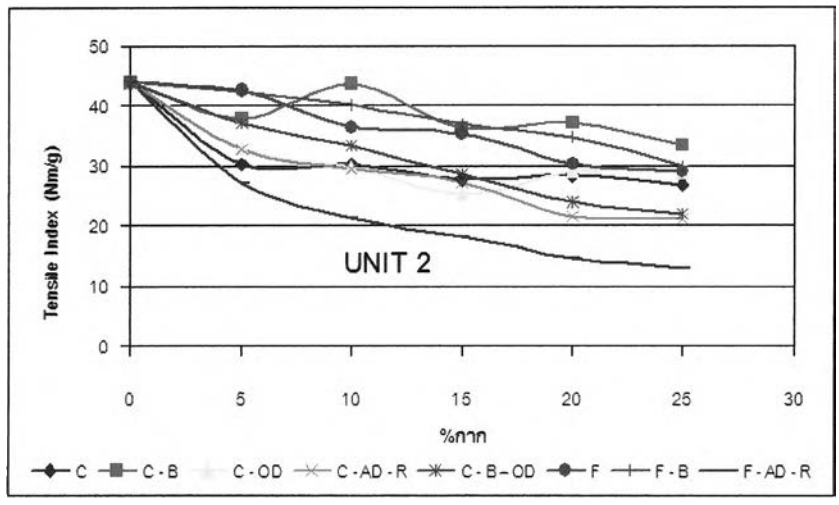
เมื่อนำเส้นใยกากมันสำปะหลังจากแต่ละ unit มาผสมกับเยื่อใยสั้นที่เตรียมไว้ในสัดส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด แล้วนำมาทดสอบความแข็งแรงของกระดาษ ได้แก่ ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) และความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength) จะได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4-2 (ก) – (ค) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังของ unit ที่ 1, 2 และ 4 ในสัดส่วนต่าง ๆ กับปริมาณกากมันสำปะหลังที่เติม ส่วนภาพที่ 4-3 (ก) – (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังจาก unit ที่ 1, 2 และ 4 ในสัดส่วนต่าง ๆ กับปริมาณกากมันสำปะหลังที่เติม

จากภาพที่ 4-2 (ก) – (ค) และภาพที่ 4-3 (ก) – (ค) จะเห็นว่าความแข็งแรงของกระดาษที่ทดสอบมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกากมันสำปะหลังซึ่งเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 ไปจนถึงร้อยละ 25 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด และจะเห็นว่าส่วนใหญ่ความแข็งแรงของกระดาษทุกภาวะจะมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม (control) คือกระดาษที่ไม่ผสมกากมันสำปะหลังเลย (ใช้เยื่อใยสั้นเพียงอย่างเดียว) และเนื่องจากเยื่อใยสั้นที่ใช้เป็นเยื่อบริสุทธิ์ จึงมีความแข็งแรงสูง อาจเป็นไปได้ว่าผลการทดลองที่ลดต่ำลงเรื่อย ๆ อาจเป็นผลจากกากมันสำปะหลังที่ผสม เพราะเส้นใยกากมันสำปะหลังมีลักษณะแข็งและมีขนาดใหญ่ เมื่อผสมในปริมาณที่มากขึ้นความแข็งแรงจึงลดต่ำลง และในการทดลองพบว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังในภาวะแห้ง (ตากแห้ง และอบแห้ง) จะให้ค่าความแข็งแรงทั้งความแข็งแรงต่อแรงดึง และความแข็งแรงต่อแรงฉีกต่ำกว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังในภาวะเปียก

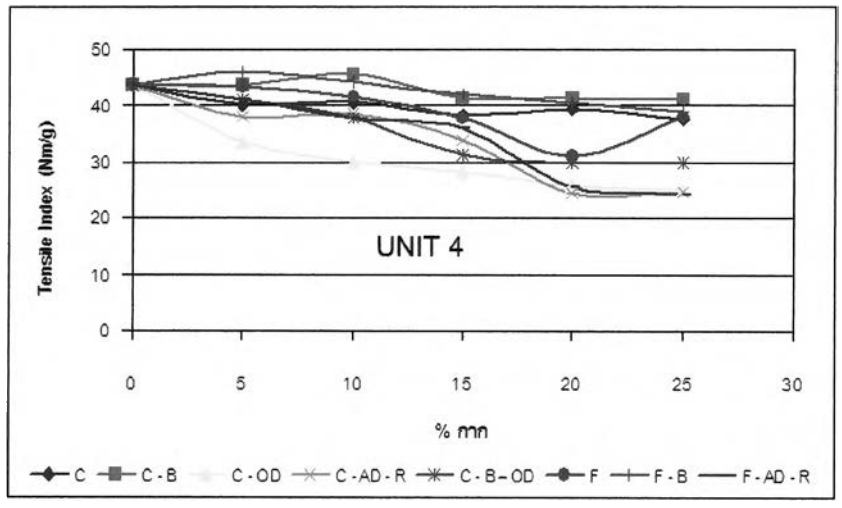
ภาพที่ 4-4 และภาพที่ 4-5 เป็นกราฟแสดงดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ดีที่สุดของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก และแสดงดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกที่ดีที่สุดของแต่ละภาวะต่อปริมาณกากตามลำดับ



(ก)

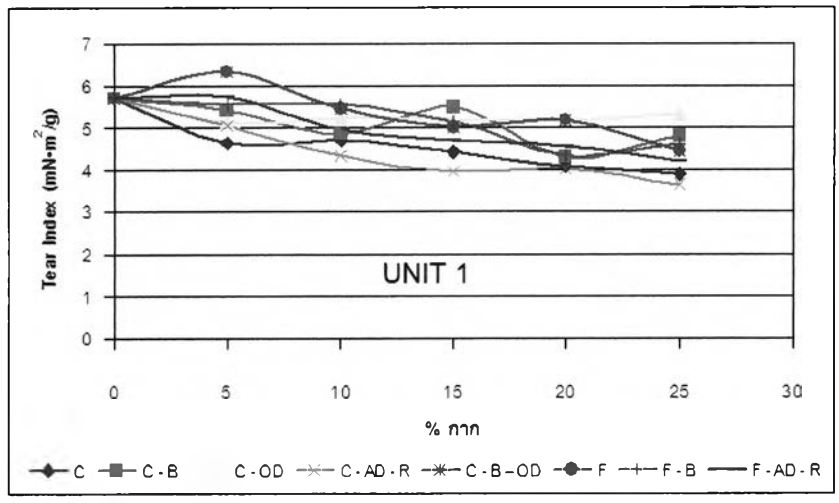


(ข)

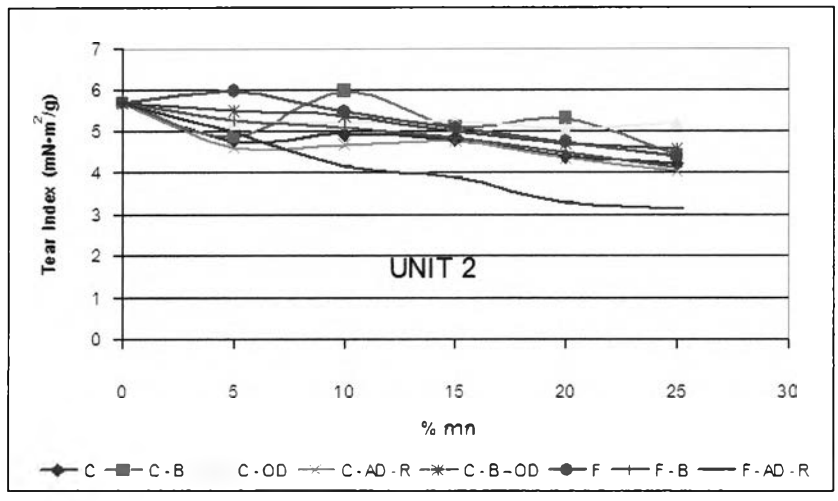


(ค)

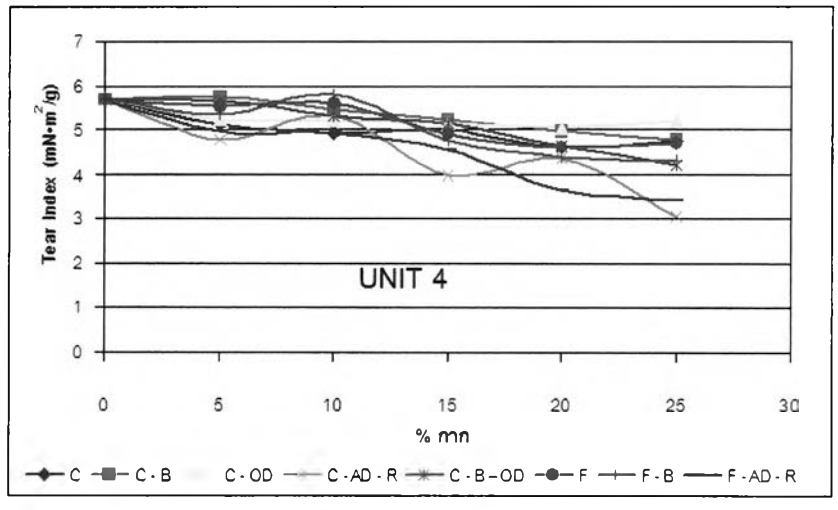
<u>ภาพที่ 4-2</u> ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังของ uniit ที่ 1, 2 และ 4 ในสัดส่วนต่าง ๆ กับปริมาณกากมันสำปะหลังที่เติมโดย (ก), (ข) และ (ค) คือดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังจาก UNIT 1, UNIT 2 และ UNIT 4 ตามลำดับ



(ก)

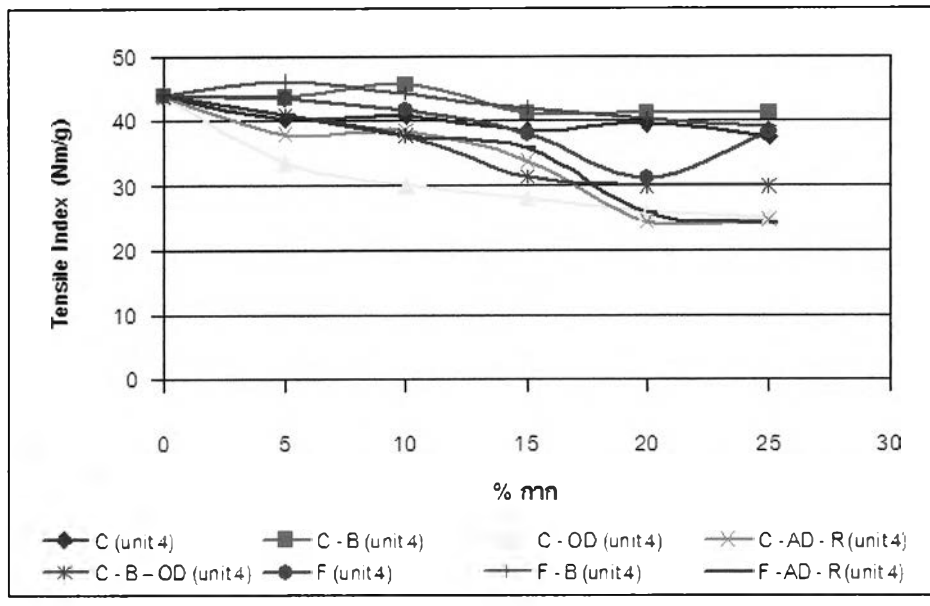


(ข)

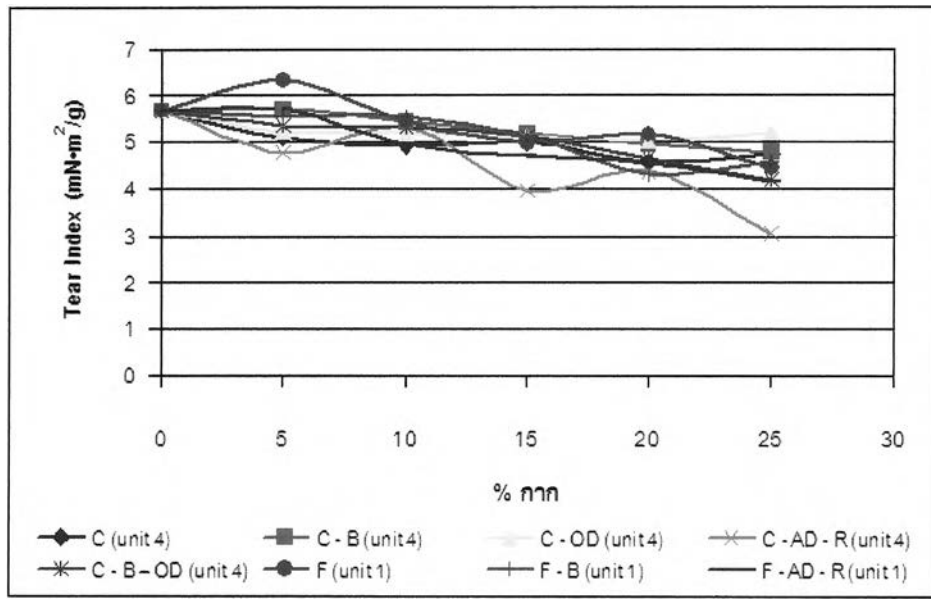


(ค)

ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังของ uniit ที่ 1, 2 และ 4 ในสัดส่วนต่าง ๆ กับปริมาณกากมันสำปะหลังที่เติมโดย (ก), (ข) และ (ค) คือดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังจาก UNIT 1, UNIT 2 และ UNIT 4 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-4 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ดีที่สุดของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก



ภาพที่ 4-5 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกที่ดีที่สุดของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก

จากภาพที่ 4-4 จะเห็นว่าภาวะที่ให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงที่สุด คือ กากอ่อนเปียกที่ผ่านการตีด้วยเครื่องตีกาก มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงเท่ากับ 46.207 Nm/g และในทุกภาวะที่ทดลองพบว่า unit ที่ 4 จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษทดสอบดีที่สุดทั้งกากชนิดหยาบและกากชนิดอ่อน เมื่อใช้ปริมาณกากมันสำปะหลังในปริมาณไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด

เนื่องจากค่าความต้านทานแรงดึงเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของพันธะ ที่ unit ที่ 4 กากมันสำปะหลังมีขนาดเล็กที่สุด เส้นใยจะมีขนาดเล็กและละเอียดกว่า อาจจะกระจายตัวไปในแผ่นกระดาษได้ดี อีกทั้งเส้นใยขนาดเล็กสามารถแนบตัวกับเส้นใยบริสุทธิ์ได้ดีกว่าเส้นใยขนาดใหญ่ ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษที่ผสมกากหยาบจาก unit 4 จึงสูงที่สุด

จากภาพที่ 4-5 ภาวะที่ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกสูงที่สุด คือ กากอ่อนเปียกที่ไม่ผ่านขั้นตอนใด ๆ เลย เท่ากับ 6.354 $mN \times m^2/g$ เมื่อผสมกากมันสำปะหลังในปริมาณร้อยละ 5 ของปริมาณน้ำหนักกระดาษทั้งหมด

เนื่องจากค่าความต้านทานแรงฉีกเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของเส้นใยเดี่ยว ๆ สำหรับกากอ่อนนั้น ที่ unit ที่ 1 มีขนาดเส้นใยใหญ่ที่สุดจะให้ค่าความต้านทานแรงฉีกสูงสุด อย่างไรก็ตามพบว่าที่ unit ที่ 4 ของกากหยาบให้ผลดีกว่า unit ที่ 1 ซึ่งมีเส้นใยที่ใหญ่กว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเส้นใยของกากหยาบมีลักษณะอ้วน หยาบ และชิ้นใหญ่ ทำให้เมื่อนำมาขึ้นแผ่น แล้วนำไปฉีกจะทำให้รับแรงได้ไม่ดีนัก

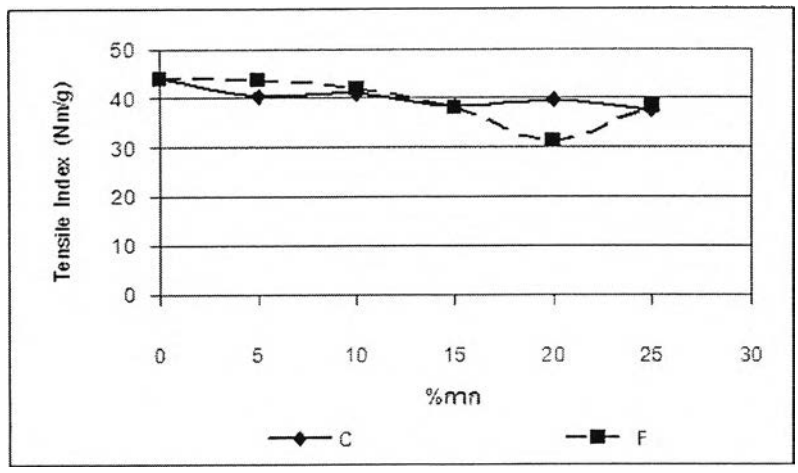
เมื่อพิจารณาลักษณะพื้นผิวของกระดาษทดสอบ เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลัง พบว่า พื้นผิวของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังจะหยาบ และมีความขรุขระมากกว่า บางแผ่นจะมีก้อนเล็ก ๆ ของกากมันสำปะหลัง ในกรณีที่เป็นภาวะที่กากมันสำปะหลังผ่านการตากแห้งหรืออบแห้ง ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของกระดาษทดสอบ

4.1.1.1 ผลของชนิดและขนาดของกากที่มีผลต่อความแข็งแรงของกระดาษ

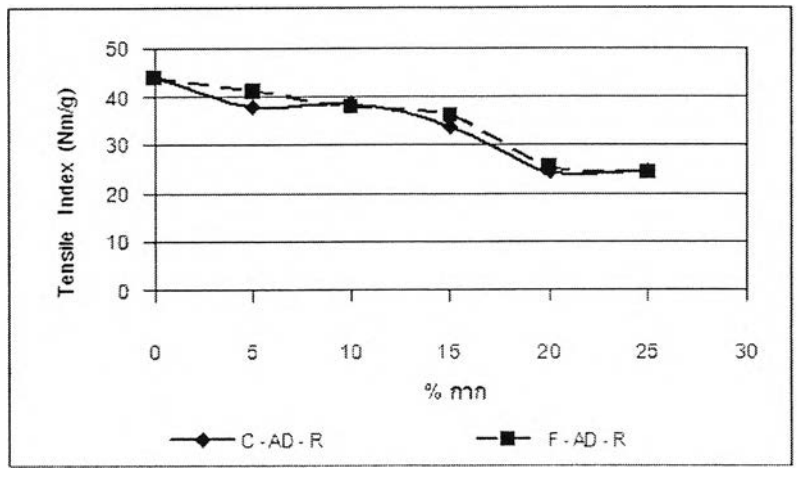
เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง พบว่ากากมันสำปะหลังชนิดกากอ่อนจะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงดีกว่ากากมันสำปะหลังชนิดกากหยาบ อาจเป็นเพราะกากมันสำปะหลังชนิดกากอ่อนมีเส้นใยที่เล็กและละเอียดกว่า อีกทั้งกากมันสำปะหลังชนิดกากอ่อน จะมีแป้งที่หลงเหลืออยู่ในเส้นใยมากกว่า เมื่อนำไปผสมกับเยื่อแล้วขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบ จึงกระจายตัวได้ดีกว่า แป้งอาจช่วยในการสร้างพันธะได้ ซึ่งจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบชนิดของกากดังภาพที่ 4 – 6 (ก) – (ค) และพื้นผิวของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังชนิดกากอ่อนจะมีความหยาบน้อยกว่าพื้นผิวของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังชนิดกากหยาบ จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่า

จากการทดลองแยกขนาดความยาวเส้นใย จะเห็นว่ากากที่มีขนาดเล็ก (unit 4) จะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงดีกว่ากากที่มีขนาดใหญ่ (unit 1) อาจเป็นเพราะกากที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวได้ดีกว่ากากขนาดใหญ่ เนื่องจากกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่ใน unit ที่ 1 จะมีชิ้นส่วนขนาดใหญ่ติดมาด้วย เช่น เปลือกของกากมันสำปะหลัง ดังนั้นเมื่อนำมาผสมน้ำเยื่อแล้วขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบ จะทำให้พื้นผิวของกระดาษมีความขรุขระมากกว่า จึงอาจกลายเป็นจุดที่ทำให้กระดาษขาดได้ง่าย กระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังขนาดใหญ่จึงมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงน้อยกว่า

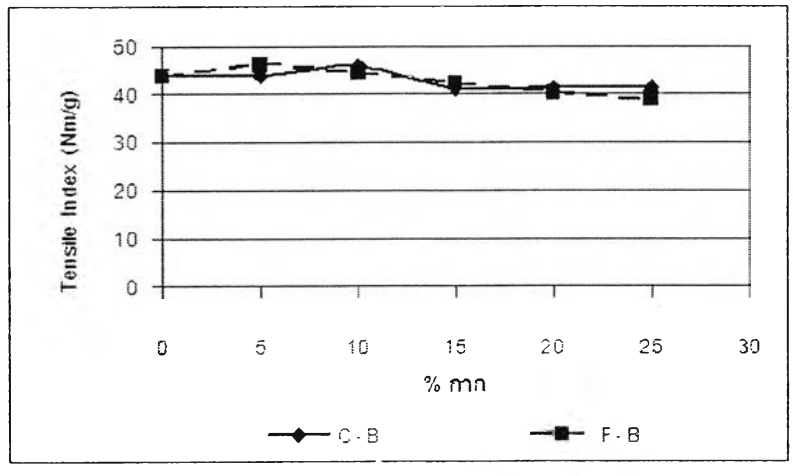
เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด พบว่ากากมันสำปะหลังชนิดกากอ่อนจะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาดสูงกว่ากากมันสำปะหลังชนิดกากหยาบ เช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษ จะเห็นได้จากการเปรียบเทียบชนิดของกากดังภาพที่ 4 – 7 (ก) – (ค) ซึ่งได้นำค่าที่ดีที่สุดของกากแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน คือ unit ที่ 4 ของกากหยาบ และunit ที่ 1 ของกากอ่อน จากการทดลองพบว่ากากมันสำปะหลังชนิดกากหยาบที่มีขนาดเล็ก (unit 4) จะ ให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกมากกว่า ซึ่งตรงกันข้ามกับกากมันสำปะหลังชนิดกากอ่อน ที่พบว่ากากมันสำปะหลังชนิดกากอ่อนที่มีขนาดใหญ่กว่า (unit 1) จะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาดมากกว่า ซึ่งจากการแยกความยาวเส้นใย กากอ่อนที่ unit ที่ 1 เส้นใยที่แยกได้จะมีขนาดใหญ่กว่า และไม่มีส่วนของเปลือกติดมาด้วย เมื่อนำกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังชนิดกากอ่อนจาก unit ที่ 1 มาทดสอบ จะรับแรงได้ดีกว่า จึงได้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่า



(ก)



(ข)



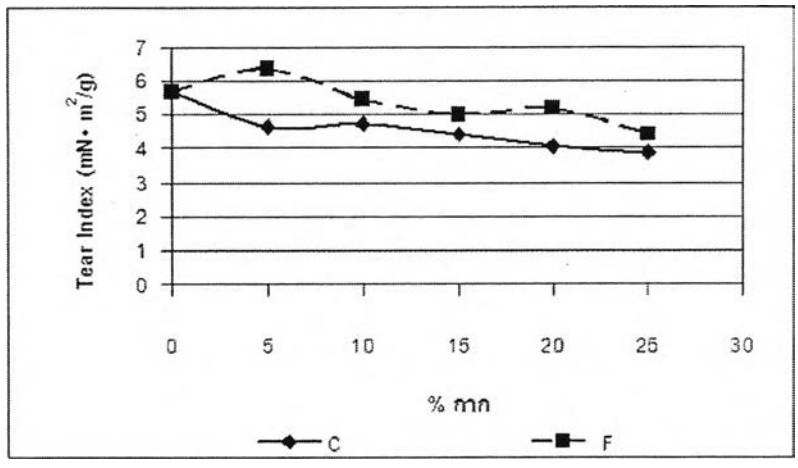
(ค)

ภาพที่ 4 – 6 อิทธิพลของชนิดของกากที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง โดย

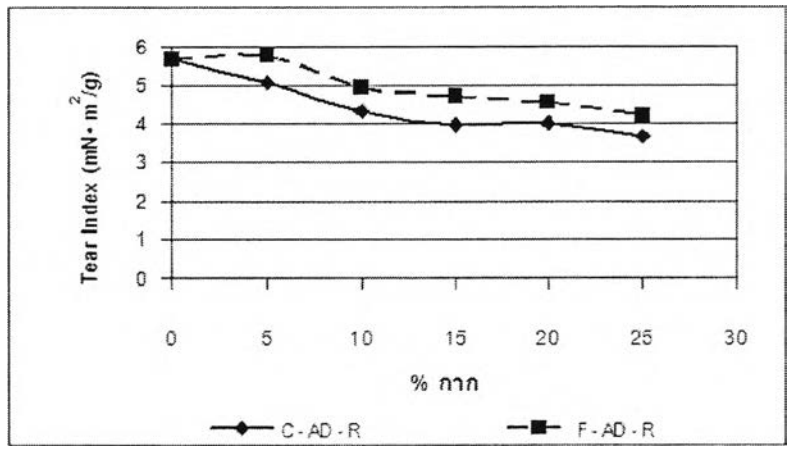
(ก) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบเปียกที่ unit 4 กับกากอ่อนเปียกที่ unit 4

(ข) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบตากแห้งที่ unit 4 กับกากอ่อนตากแห้งที่ unit 4

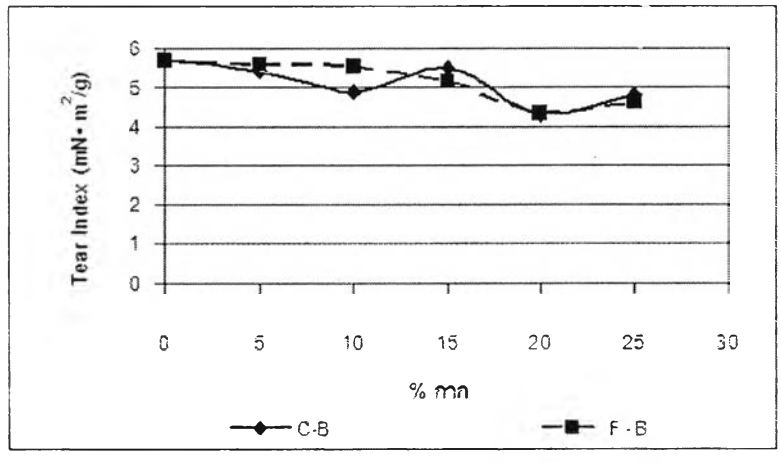
(ค) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบเปียกดีที่ unit 4 กับกากอ่อนเปียกดีที่ unit 4



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4 – 7 อิทธิพลของชนิดของกากที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก โดย

(ก) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบเปียกที่ unit 4 กับกากอ่อนเปียกที่ unit 1

(ข) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบตากแห้งที่ unit 4 กับกากอ่อนตากแห้งที่ unit 1

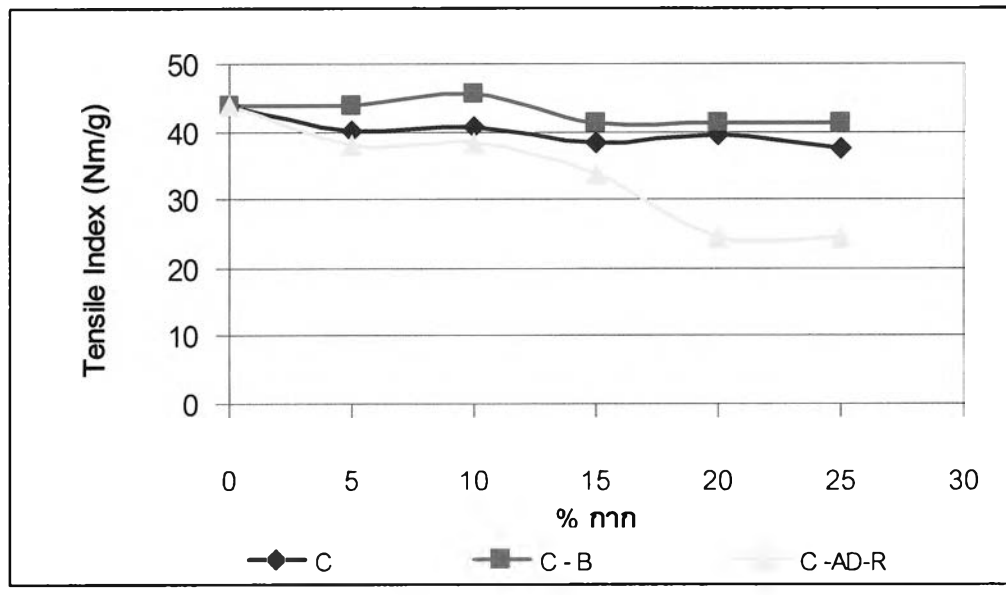
(ค) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบเปียกดีที่ unit 4 กับกากอ่อนเปียกดีที่ unit 1

ส่วนกากมันสำปะหลังชนิดกากหยาบ ใน unit ที่ 1 เส้นใยที่แยกได้จะมีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งจะมีส่วนของเปลือกติดมาด้วย และตัวเส้นใยกากมันสำปะหลัง ก็มีความหยาบกว่า และใหญ่กว่า เมื่อนำมาผสมกับน้ำเยื่อ แล้วขึ้นแผ่นทดสอบ จะทำให้กระดาษไม่เรียบ เกิดเป็นกลุ่มก้อน เส้นใยมีการกระจายตัวได้ไม่ดี เมื่อนำไปทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก จึงทำให้รับแรงได้ไม่ดีเท่ากับกากมันสำปะหลังชนิดกากหยาบ ใน unit ที่ 4 ซึ่งให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่า เนื่องจากเส้นใยมีขนาดเล็กกว่า ไม่มีชิ้นส่วนใหญ่ ๆ ที่จะทำให้กระดาษเกิดจุดอ่อนแอ จึงรับแรงฉีกได้ดีกว่า

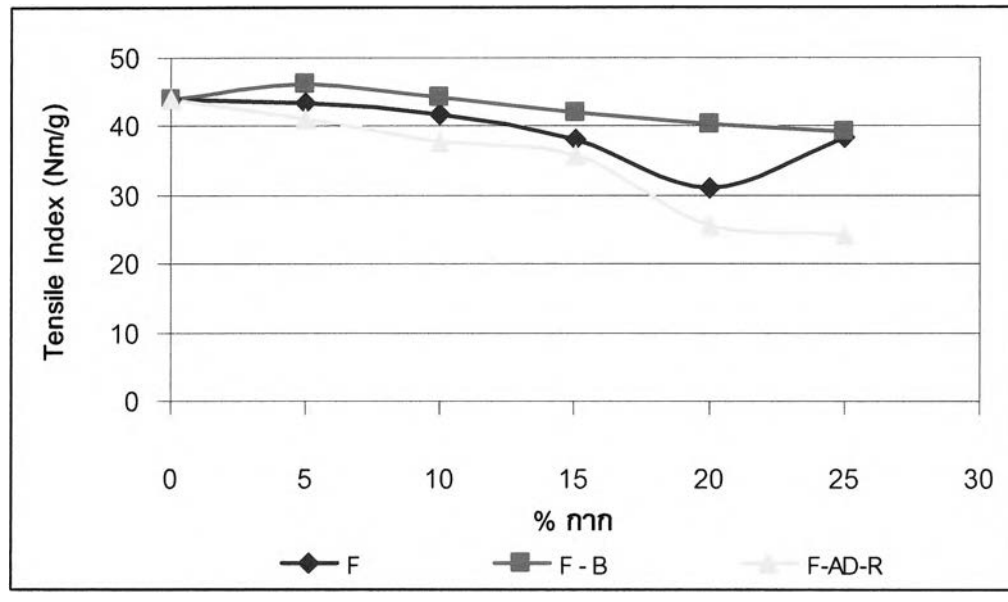
4.1.1.2 ผลของการตี/บดกากที่มีต่อความแข็งแรงของกระดาษ

การตีกาก จะนำกากมันสำปะหลังเปียก ไปตีด้วยเครื่องตีกาก ซึ่งจะทำให้แป้งหลุดออกจากตัวของเส้นใยไปบ้าง และตัวของเส้นใยเอง ก็จะแยกออกจากกันได้ดีขึ้น ส่วนการบดกาก จะนำกากมันสำปะหลังไปตากให้แห้งก่อน แล้วจึงนำมาบดด้วยเครื่องบดกาก ทำให้เส้นใยกากมันสำปะหลังกับแป้งไม่แยกออกจากกัน จับตัวกันเป็นก้อนแน่น ส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาษ

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง จากการทดลองพบว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการตีกาก มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่ากากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตีกาก เนื่องจากการตีกาก ทำให้แป้งหลุดออกมา จึงอาจช่วยเพิ่มความแข็งแรงของพันธะในกระดาษได้ จะเห็นได้จากกราฟภาพที่ 4 – 8 (ก) – (ข) ส่วนการบดกากให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงต่ำกว่าการตีกาก เนื่องจากก่อนการนำไปบดจำเป็นต้องทำให้กากแห้งเสียก่อน ซึ่งการทำแห้งจะทำให้กากมันสำปะหลังจับตัวเป็นก้อนแน่น เมื่อนำมาแยกความยาวเส้นใยจึงพบว่า ที่ unit ที่ 1 ยังมีส่วนของกากมันสำปะหลังที่เป็นก้อนเล็ก ๆ อยู่ เมื่อนำมาผสมน้ำเยื่อแล้วขึ้นแผ่นทดสอบ พื้นผิวของกระดาษทดสอบจึงมีความขรุขระมาก เส้นใยของกากมันสำปะหลังไม่สร้างพันธะกับเยื่อใยสั้น ทำให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษจึงต่ำมาก เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกขาด พบว่าการตีกากส่งผลให้กระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังชนิดหยาบที่ผ่านการตีกาก มีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงขึ้น เนื่องจากการตีกากทำให้แป้งหลุดออกมาเส้นใยจึงยึดติดกันเป็นกระจุกมากขึ้น ส่วนกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังชนิดกากอ่อน การตีกากไม่ได้ส่งผลมากนัก แต่ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกที่มากขึ้นหรือลดลงอาจเนื่องมาจากกลุ่มก้อนที่อยู่บนกระดาษทดสอบ ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษ จะเห็นได้จากกราฟภาพที่ 4 – 9 (ก) – (ข)



(ก)

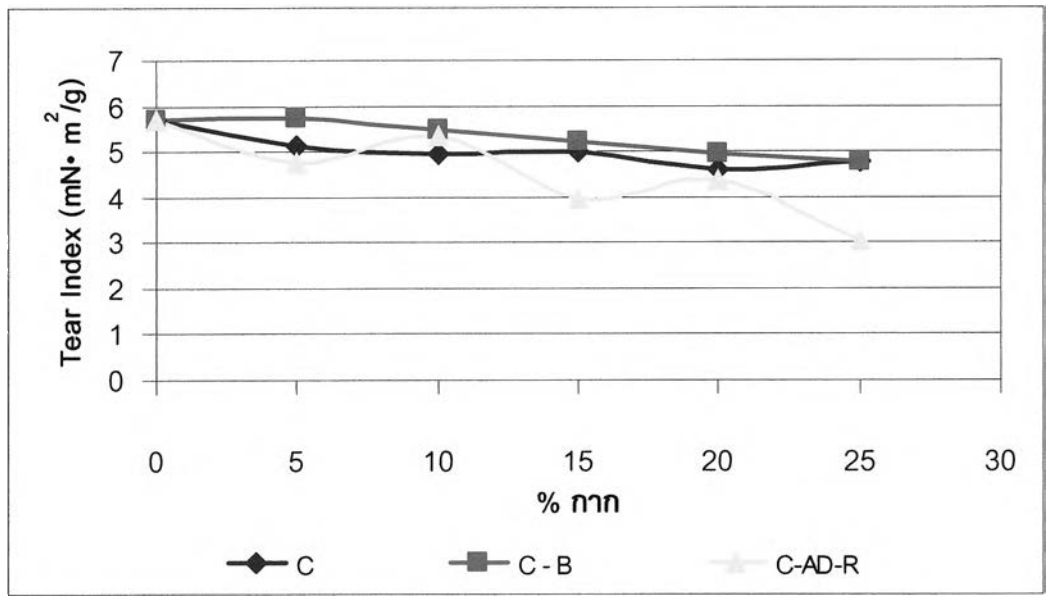


(ข)

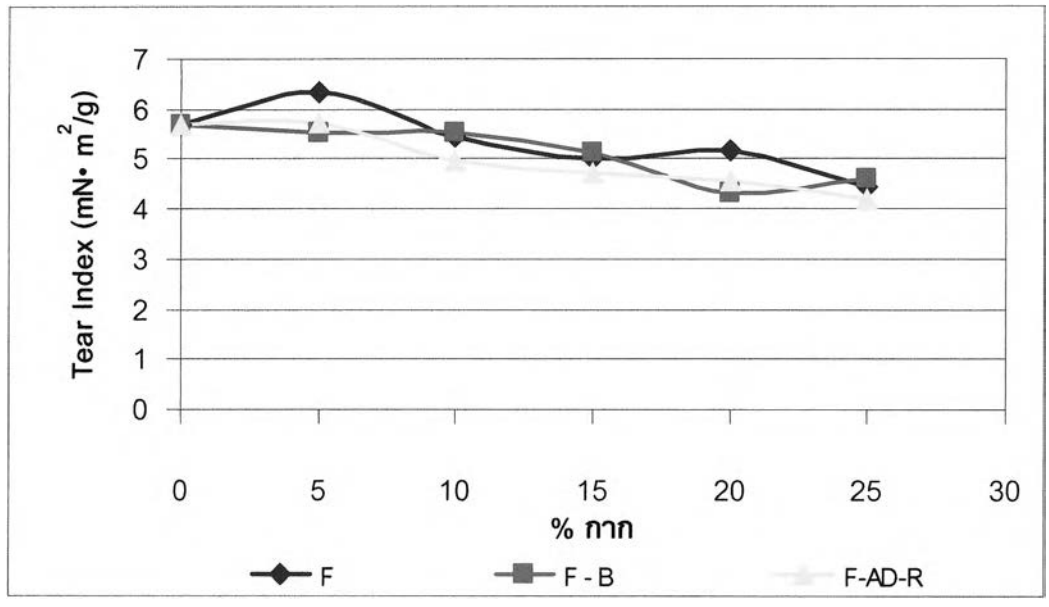
ภาพที่ 4 – 8 อิทธิพลของการตี/บดกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง โดย

(ก) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบเปียก (C) กากหยาบเปียกตี (C-B) และกากหยาบตากแห้ง (C-AD-R)

(ข) เปรียบเทียบระหว่างกากอ่อนเปียก (F) กากอ่อนเปียกตี (F-B) และกากหยาบตากแห้ง (F-AD-R)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 – 9 อิทธิพลของการตี/บดกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก โดย

(ก) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบเปียก (C) กากหยาบเปียกตี (C-B) และกากหยาบตากแห้ง (C-AD-R)

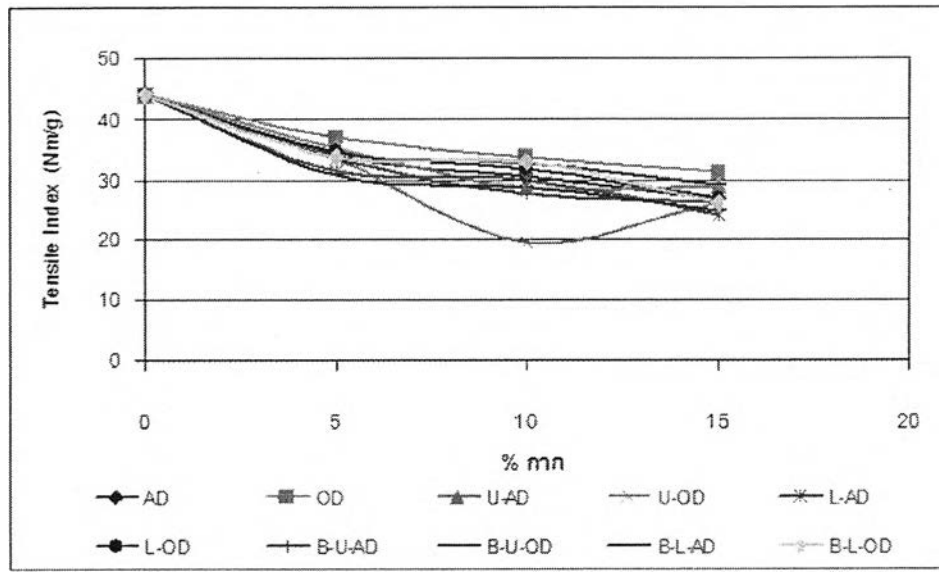
(ข) เปรียบเทียบระหว่างกากอ่อนเปียก (F) กากอ่อนเปียกตี (F-B) และกากหยาบตากแห้ง (F-AD-R)

4.1.2 ผลของการแยกขนาดกากมันสำปะหลังโดยใช้ตะแกรงร่อนแยกขนาด (test sieve)

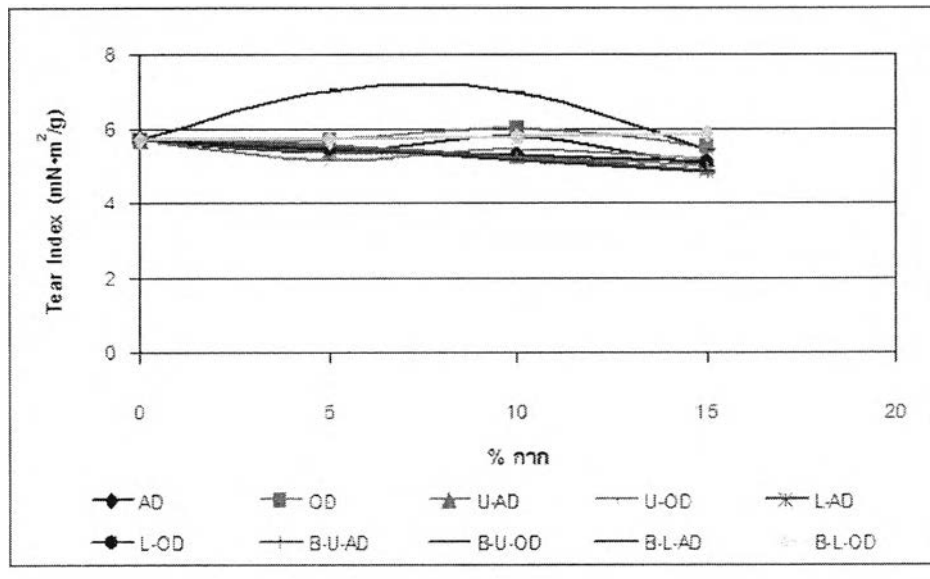
ในการเลือกใช้ตะแกรงร่อนแยกขนาด (test sieve) ได้เลือกตะแกรงร่อนที่มีขนาดเหมาะสมที่สุดเพียงขนาดเดียว คือขนาด 25 เมช (ขนาดรูเปิด เท่ากับ 0.71 มิลลิเมตร) ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดตะแกรงของเครื่องแยกความยาวเส้นใย (Bauer McNett Classifier) ที่แยกแล้วได้สัดส่วนที่มากที่สุด สามารถแยกขนาดของกากมันสำปะหลังออกเป็น 2 ส่วนได้อย่างชัดเจน คือ ส่วนบนซึ่งค้างอยู่บนตะแกรง มีขนาดใหญ่กว่า 25 เมช และส่วนล่างที่ลอดผ่านตะแกรง มีขนาดเล็กกว่า 25 เมช และในขั้นตอนนี้กากมันสำปะหลังที่นำมาใช้จะอยู่ในภาวะแห้งทั้งหมด เนื่องจากต้องคำนึงถึงการขนส่งด้วย ในขั้นตอนนี้จะเลือกใช้กากมันสำปะหลังชนิดหยาบเพียงอย่างเดียว เนื่องจากในกระบวนการผลิต กากชนิดหยาบจะผลิตได้ปริมาณมากกว่ากากชนิดอ่อน อีกทั้งหลังจากแยกกากมันสำปะหลังด้วยตะแกรงร่อน ลักษณะของกากมันสำปะหลังที่มีขนาดเล็กกว่า 25 เมช จะมีส่วนที่เป็นเส้นใยสั้น ๆ มากกว่า และมีปริมาณแป้งมากกว่า ซึ่งคล้ายกับกากชนิดอ่อนที่นำมาทดลองในข้อ 4.1.1

จากการทดลองผสมเยื่อใยสั้นกับกากมันสำปะหลังแห้งในสัดส่วนต่าง ๆ แล้วนำมาขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบ จากนั้นจึงทดสอบความแข็งแรงของกระดาษ ได้แก่ ความแข็งแรงต่อแรงดึงและความแข็งแรงต่อแรงฉีก ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4-10 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของทุกภาวะและภาพที่ 4-11 แสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของทุกภาวะ

จากกราฟภาพที่ 4-10 และภาพที่ 4-11 จะเห็นว่าแนวโน้มของกราฟจะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณกากมันสำปะหลัง ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษก็จะลดลงตามไปด้วยและส่วนใหญ่ยังมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม (control)



ภาพที่ 4-10 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก



ภาพที่ 4-11 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก

นอกจากนี้ยังพบว่า กากมันสำปะหลังชนิดหยาบที่ผ่านการอบแห้งเพียงอย่างเดียว (OD) มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงดีที่สุด เท่ากับ 36.908 Nm/g เมื่อใช้ปริมาณกากมันสำปะหลังในปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด แต่ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงก็ยังต่ำกว่าชุดควบคุม เนื่องจากความแข็งแรงต่อแรงดึงเป็นความแข็งแรงของพันธะ กากมันสำปะหลังอบแห้งยังคงมีทั้งส่วนของเส้นใยยาวๆ และส่วนของเส้นใยสั้น ๆ จากการสกัดในเครื่องสกัด อีกทั้งยังมีแป้งอยู่ในปริมาณมาก ดังนั้นเส้นใยเล็ก ๆ อาจแนบตัวได้ดีกับเยื่อบริสุทธิ์ และแป้งอาจช่วยเสริมความแข็งแรงโดยยึดระหว่างเส้นใย ความแข็งแรงต่อแรงดึงจึงสูงกว่ากากมันสำปะหลังจากภาวะอื่น แต่เนื่องจากการอบแห้งจะทำให้เส้นใยมีความแข็งตัว โค้งงอ เมื่อนำมาผสมกับเยื่อใยสั้นจึงอาจจะสร้างพันธะได้ไม่ดี อีกทั้งยังขัดขวางการสร้างพันธะของเส้นใย เมื่อเพิ่มปริมาณกากมันสำปะหลังมากขึ้น ความแข็งแรงต่อแรงดึงจึงลดลง และมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม

ส่วนภาพที่ 4 – 11 ซึ่งแสดงค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังแห้งในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่า กากมันสำปะหลังตากแห้งที่ผ่านการตีกาก และมีขนาดใหญ่กว่า 25 เมช (B-U-AD) มีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกดีที่สุด เท่ากับ 5.569 $mN \times m^2/g$ เมื่อใช้ปริมาณกากมันสำปะหลังในปริมาณไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด เนื่องจากความแข็งแรงต่อแรงฉีกขึ้นกับความแข็งแรงของเส้นใยเป็นส่วนใหญ่ โดยปกติเส้นใยขนาดใหญ่จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูง จากการทดลองการตีกากอาจช่วยตีกระจายเส้นใยกับแป้งให้แยกออกจากกันได้มากขึ้น เมื่อนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 25 เมช แป้งจึงอาจหลุดไปกับน้ำบ้างแล้ว เหลือแต่ส่วนที่เป็นเส้นใยขนาดใหญ่ของกากมันสำปะหลัง เมื่อนำไปตากแห้งเส้นใยจึงแข็งกระด้าง ตัวเส้นใยจึงมีความแข็งแรงสูง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่ากากมันสำปะหลังภาวะอื่น ๆ และมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอีกด้วย

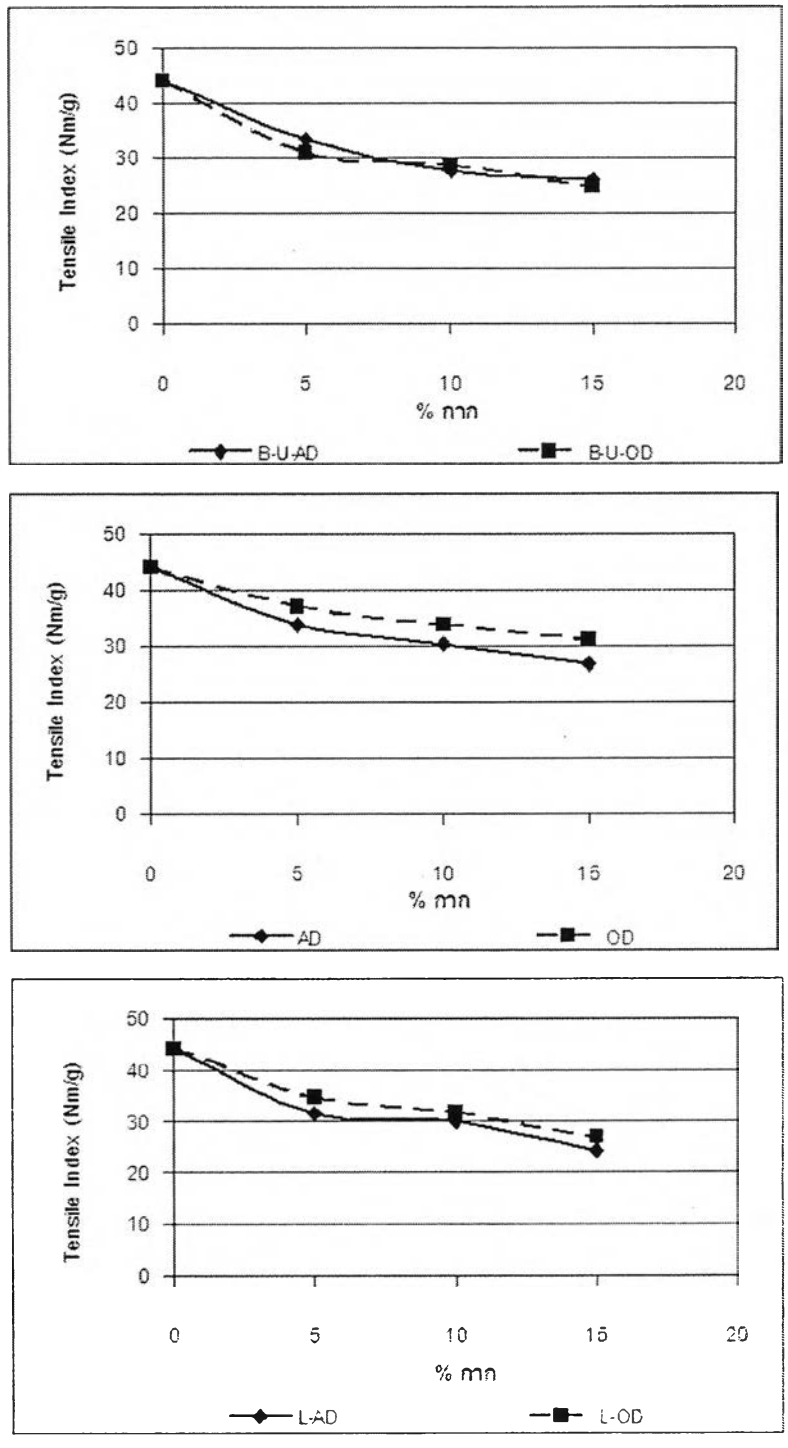
ลักษณะพื้นผิวของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังของแต่ภาวะ จะมีความขรุขระ และมีความหยาบของผิวกระดาษจากการสัมผัส แต่ไม่มากนัก ลักษณะที่เป็นก้อนแข็งที่เกิดจากการรวมตัวกันของเส้นใยกากมันสำปะหลังและแป้งในเส้นใย ซึ่งจะส่งผลให้กระดาษทดสอบมีจุดอ่อนแอ ซึ่งก้อนแข็งจะเกิดจากกระบวนการขึ้นแผ่น เนื่องจากในขั้นการดึงน้ำออกเพื่อให้เส้นใยเชื่อมติดกันเป็นแผ่น จะมีกากมันสำปะหลังบางส่วนที่ถูกดึงลงมากองรวมกันเป็นก้อนเล็ก ๆ เมื่อนำไปอบแห้ง จะทำให้ก้อนเล็ก ๆ มีความแข็งมาก ส่งผลให้แผ่นกระดาษทดสอบไม่เรียบ และมีความแข็งแรงต่ำ

4.1.2.1 ผลของการทำแห้งที่มีต่อความแข็งแรงของกระดาษ

ในการทดลองจะเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งกากมันสำปะหลัง 2 แบบ คือ การตากแห้ง (AD) และการอบแห้ง (OD) หลังจากการทำแห้ง จะได้กากมันสำปะหลังที่มีความชื้น ประมาณร้อยละ 10 ± 2 เท่ากัน

ในการตากแห้ง กากมันสำปะหลังจะถูกตากในห้อง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไม่โดนแดด ใช้เวลาประมาณ 2- 3 วัน กากมันสำปะหลังก็จะเหลือความชื้น ประมาณร้อยละ 10 ± 2 การตากแห้งจะทำให้เส้นใยแต่ละเส้นหดตัวไม่เท่ากัน และเส้นใยจะเกาะกลุ่มรวมกันกับแป้งเป็นก้อน แต่ก้อนไม่แข็งมากนัก เมื่อนำไปแช่น้ำก็จะหลุดออกจากกันได้ง่าย ส่วนการอบแห้ง จะนำกากมันสำปะหลังไปอบในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบประมาณ 12 ชั่วโมง กากมันสำปะหลังจึงเหลือความชื้น ประมาณร้อยละ 10 ± 2 การอบแห้งจะทำให้เส้นใยเกาะกันเป็นกลุ่มกับแป้งเช่นเดียวกันกับการตากแห้ง แต่กลุ่มก้อนจะแข็งกว่า เมื่อนำไปแช่น้ำจะยังไม่แยกออกจากกันง่าย ต้องใช้ใบพัดกวนจึงแยกออกจากกัน สาเหตุที่ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากความร้อนในระดับนี้ตัวแป้งยังไม่สุก เส้นใยจะไม่งอ หรือแข็งจนเกินไป ซึ่งจะทำให้หลุดออกจากกันยากขึ้น จากการทดลองจะได้ผลดังภาพที่ 4-12 (ก) – (ค) ซึ่งแสดงอิทธิพลของวิธีการทำแห้งต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง และภาพที่ 4-13 (ก) – (ค) ซึ่งแสดงอิทธิพลของวิธีการทำแห้งต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก

จากภาพที่ 4 - 12 (ก) – (ค) เป็นกราฟตัวอย่างที่แสดงการเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งของกากมันสำปะหลังต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษทดสอบ จะเห็นว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงดีกว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการตากแห้ง และความต้านทานแรงดึงจะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณกากมันสำปะหลังมากขึ้น นอกจากนี้ จะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม อาจเป็นเพราะว่าเยื่อใยสั้นที่ใช้เป็นเยื่อบริสุทธิ์ เมื่อใช้เยื่อบริสุทธิ์ทั้งหมด 100% ขึ้นแผ่นกระดาษ กระดาษจึงมีความแข็งแรงสูงกว่า แต่เมื่อผสมกากมันสำปะหลังกับเยื่อใยสั้นในสัดส่วนต่าง ๆ จะทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลงเนื่องจากปริมาณเยื่อลดลงไป จึงเป็นไปได้ว่าความแข็งแรงของกระดาษส่วนใหญ่น่าจะมาจากเยื่อบริสุทธิ์ ตัวเส้นใยกากมันสำปะหลังอาจไม่ช่วยในการสร้างพันธะกับเยื่อใยสั้น อีกทั้งอาจมีการรวมตัวของเส้นใยกากมันสำปะหลังและแป้งทำให้กระดาษไม่เรียบ

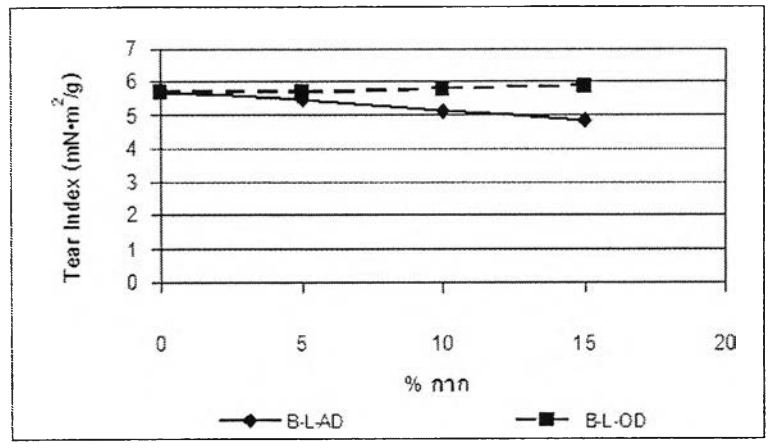


ภาพที่ 4-12 อิทธิพลของการทำแห้งที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง โดย

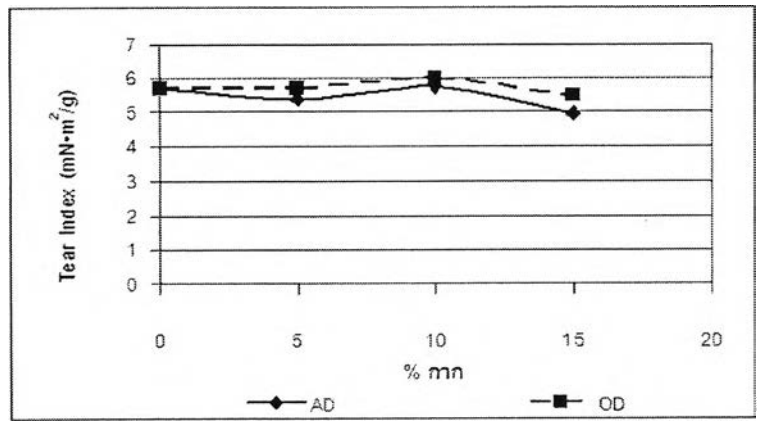
(ก) เปรียบเทียบระหว่างกากที่ผ่านการตีกากและขนาดใหญ่กว่า 25 เมช ที่ผ่านการอบแห้งกับตากแห้ง

(ข) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบตากแห้งกับกากหยาบอบแห้ง

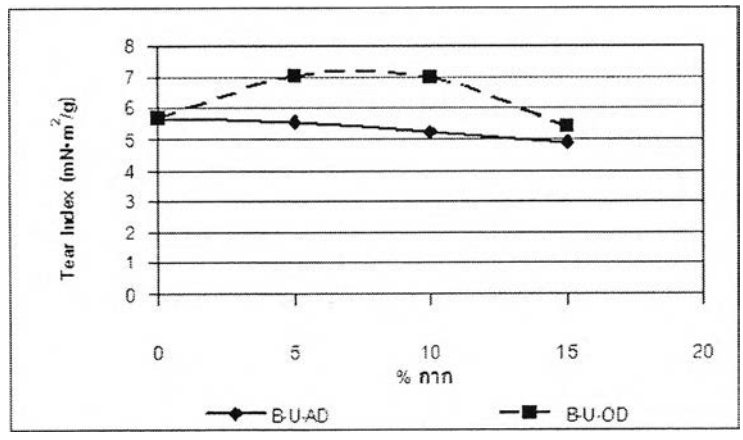
(ค) เปรียบเทียบระหว่างกากขนาดเล็กกว่า 25 เมช ที่ผ่านการตากแห้งและอบแห้ง



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4-13 อิทธิพลของการทำแห้งต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก โดย

(ก) เปรียบเทียบระหว่างกากที่ผ่านการตีกากและขนาดเล็กกว่า 25 เมชที่ผ่านการอบแห้งกับตากแห้ง

(ข) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบตากแห้งกับกากหยาบอบแห้ง

(ค) เปรียบเทียบระหว่างกากที่ผ่านการตีกากและขนาดใหญ่กว่า 25 เมชที่ผ่านการอบแห้งกับตากแห้ง

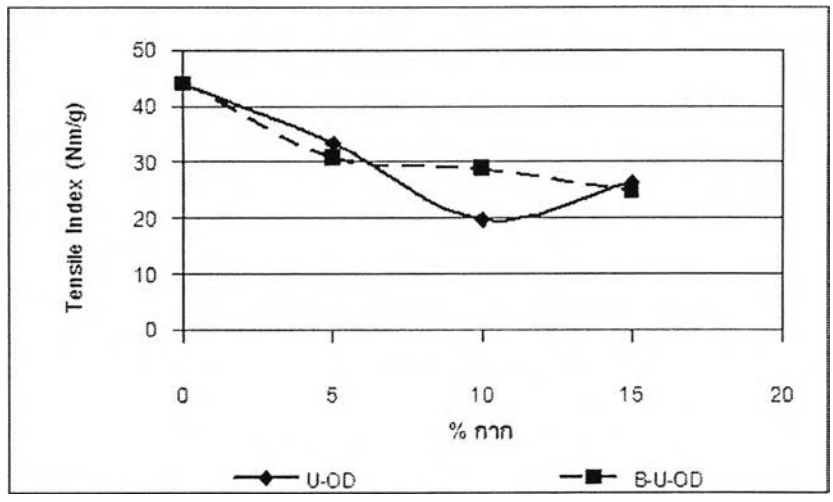
จากภาพที่ 4 - 13 (ก) – (ค) เป็นกราฟตัวอย่างที่แสดงการเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งของกากมันสำปะหลังต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษทดสอบ ผลการทดลองพบว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้ง จะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการตากแห้งเช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง และจะเห็นว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้ง จะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงมีค่ากว่าชุดควบคุม เมื่อผสมกากมันสำปะหลังอบแห้งในปริมาณไม่เกินร้อยละ 10 ของปริมาณน้ำหนักกระดาษทั้งหมด อาจเป็นเพราะว่าตัวของเส้นใยเองผ่านการอบแห้งมาก่อน การอบแห้งจะทำให้เส้นใยมีความแข็งตัว จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูง

4.1.2.2 ผลของการตีกากต่อความแข็งแรงของกระดาษ

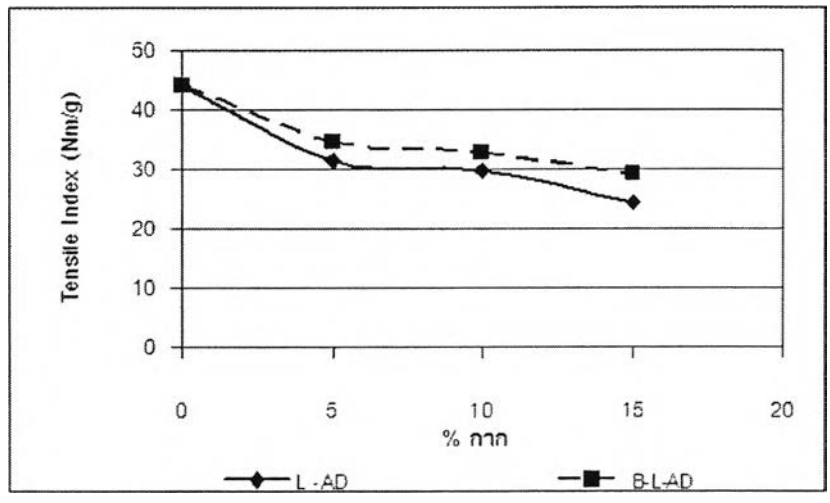
ในการตีกากจะใช้เครื่องตีกาก ซึ่งใช้ใบมีดที่ไม่มีความคม 3 ใบ หมุนด้วยความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการตีกาก 5 นาที ทำให้เส้นใยของกากมันสำปะหลังแยกออกจากกัน แต่เส้นใยไม่ได้ถูกตัดให้สั้นลง ส่วนแป้งก็หลุดออกไปจากเส้นใยมาก เมื่อนำมาร่อนเพื่อแยกขนาด แป้งจึงหลุดออกจากเส้นใย ดังนั้นเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า 25 เมช จึงมีปริมาณแป้งเหลือน้อยกว่า ส่วนกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตีกาก ตัวของเส้นใยจะมีแป้งมากกว่า ทั้งภายในตัวเส้นใยเองและที่อยู่นอกเส้นใย ลักษณะพื้นผิวของกระดาษทดสอบ มีความขรุขระเล็กน้อย ไม่เรียบ ซึ่งเกิดจากลักษณะของเส้นใยกากมันสำปะหลังที่ไม่ทำพันธะกับเส้นใยบริสุทธิ์ และแป้งก็อยู่เป็นกลุ่มก้อนเช่นเดียวกัน เป็นไปได้ว่าความแข็งแรงที่แตกต่างกันอาจเป็นผลมาจากตัวของกากมันสำปะหลัง

จากการทดลองจะได้ผลดังภาพที่ 4 - 14 (ก) – (ค) แสดงอิทธิพลของการตีกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง และภาพที่ 4 - 15 (ก) – (ค) แสดงอิทธิพลของการตีกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก

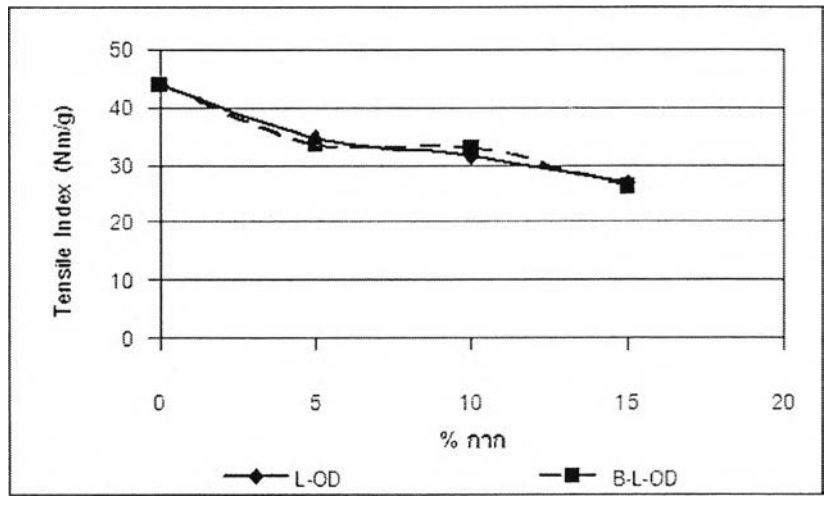
ภาพที่ 4 - 14 (ก) – (ค) เป็นกราฟตัวอย่างที่แสดงการเปรียบเทียบวิธีการตีกากของกากมันสำปะหลังต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษทดสอบ จะเห็นว่ากระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการตีกาก จะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่ากระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตีกาก แต่ก็ยังต่ำกว่าชุดควบคุม และเมื่อพิจารณาแนวโน้มของกราฟจะเห็นว่าความแข็งแรงของกระดาษมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณกากเพิ่มขึ้น



(ก)



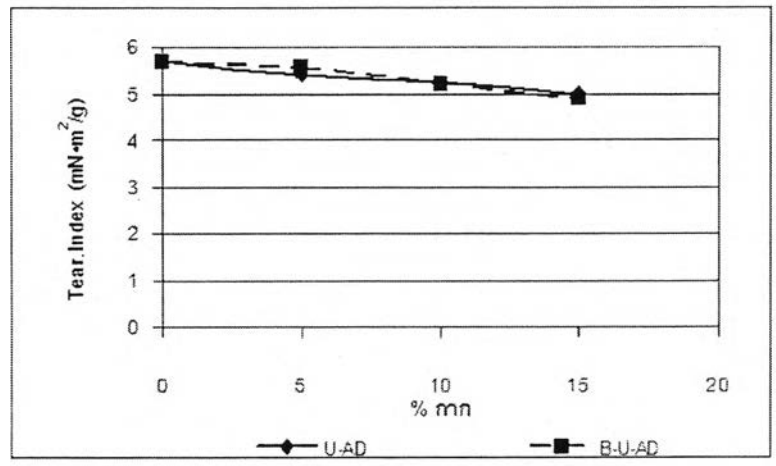
(ข)



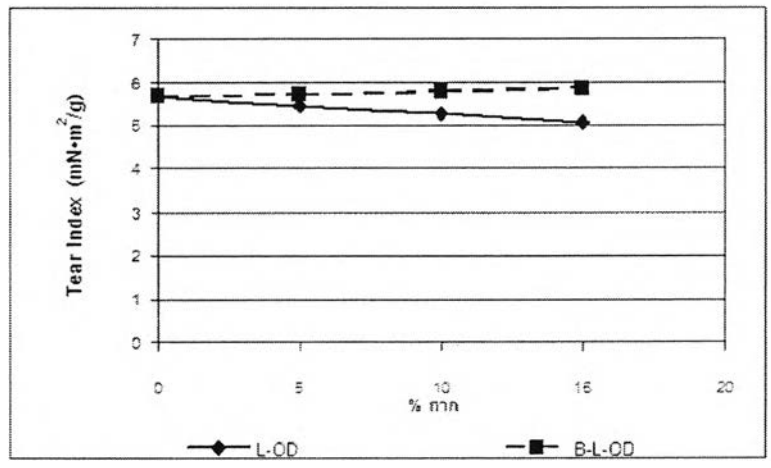
(ค)

ภาพที่ 4-14 อิทธิพลของการตีกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง โดย

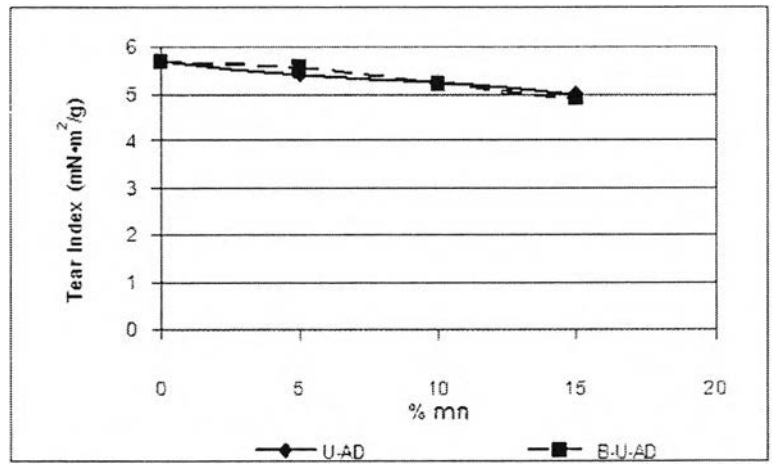
(ก) เปรียบเทียบระหว่างกากขนาดใหญ่กว่า 25 เมชที่ไม่ผ่านการตีกากและผ่านการตีกาก (ข) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบตากแห้งที่ไม่ผ่านการตีกากและผ่านการตีกาก (ค) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบอบแห้งที่ไม่ผ่านการตีกากและผ่านการตีกาก



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4-15 อิทธิพลของการตีกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก

(ก) เปรียบเทียบระหว่างกากขนาดใหญ่กว่า 25 เมช อบแห้งที่ไม่ผ่านการตีกากและผ่านการตีกาก (ข) เปรียบเทียบระหว่างกากหยาบอบแห้งที่ไม่ผ่านการตีกากและผ่านการตีกาก (ค) เปรียบเทียบระหว่างกากขนาดใหญ่กว่า 25 เมช ตากแห้งที่ไม่ผ่านการตีกากและผ่านการตีกาก

ค่าความต้านทานแรงดึงที่ลดต่ำลงมา อาจเป็นผลจากการใส่กากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น มีแป้งเป็นก้อนอยู่ในกระดาษ เส้นใยกากมันสำปะหลังสร้างพันธะกับเยื่อใยสั้นได้ไม่ดี และปริมาณเยื่อบริสุทธิ์ก็ลดลง จึงส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง

ภาพที่ 4 - 15 (ก) – (ค) เป็นกราฟตัวอย่างที่แสดงการเปรียบเทียบวิธีการตีกากของกากมันสำปะหลังต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษทดสอบ ผลการทดลองพบว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการตีกาก จะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่า กระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการตากแห้งเช่นเดียวกับค่าความต้านทานแรงดึง แต่ค่าความต้านทานแรงฉีก จะมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเมื่อผสมกากมันสำปะหลังในปริมาณไม่เกินร้อยละ 10 ของปริมาณน้ำหนักกระดาษทั้งหมด และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณกากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น

การตีกาก ส่งผลให้เส้นใยของกากมันสำปะหลังในกระดาษจะกระจายตัวดีขึ้น ไม่ว่าเส้นใยผ่านการตากแห้งหรืออบแห้ง เส้นใยจะแข็ง ไม่ทำพันธะกับเยื่อบริสุทธิ์ เมื่อทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก ค่าความแข็งแรงจึงสูงกว่าชุดควบคุม แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการตากแห้งและอบแห้ง พบว่าเส้นใยกากมันสำปะหลังอบแห้งจะให้กระดาษที่มีค่าความต้านทานแรงฉีกสูงกว่า

4.1.2.3 ผลของขนาดของกากต่อความแข็งแรงของกระดาษ

ขนาดของกากมันสำปะหลัง เป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากหลังจากการแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาดแล้วจะแบ่งกากมันสำปะหลังออกเป็น 2 ส่วน ที่มีลักษณะแตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่วนที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ คือส่วนที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงร่อนขนาด 25 เมช ซึ่งจะมีเส้นใยยาว ๆ เป็นส่วนใหญ่ อาจจะใช้ทดแทนปริมาณเยื่อในอุตสาหกรรมกระดาษได้ แต่กากมันสำปะหลังที่มีขนาดเล็กกว่า 25 เมช เส้นใยจะเป็นเส้นใยขนาดเล็ก ๆ และมีปริมาณแป้งมากกว่า และพบว่าลักษณะเส้นใยของกากมันสำปะหลังจะมีความแข็งและที่อ อาจส่งผลให้สร้างพันธะกับเยื่อใยสั้นได้ไม่ดี

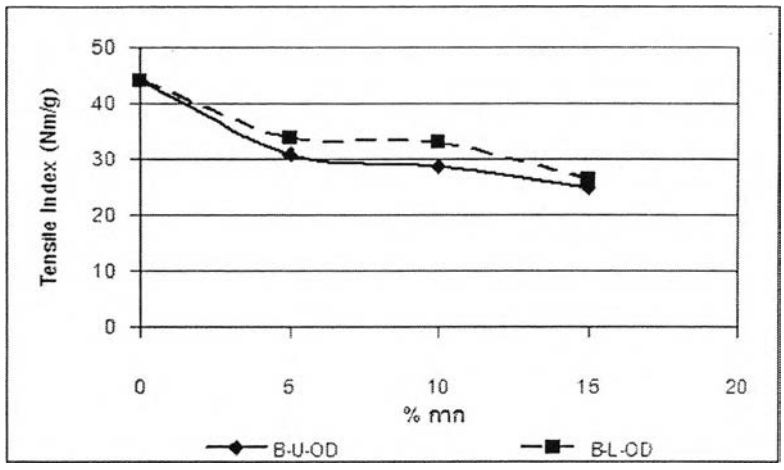
จากการทดลอง ได้ผลดังภาพที่ 4 - 16 (ก) – (ค) แสดงอิทธิพลของขนาดกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง และภาพที่ 4 - 17 (ก) – (ค) แสดงอิทธิพลของขนาดกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก

ภาพที่ 4 - 16 (ก) – (ค) เป็นกราฟตัวอย่างที่แสดงการเปรียบเทียบขนาดของกากมันสำปะหลังต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษทดสอบ จะเห็นว่ากระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่มีขนาดเล็ก (L 25) จะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่ากระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่มีขนาดใหญ่ (U 25) เนื่องจากกากมันสำปะหลังขนาดเล็ก อาจมีความอ่อนนุ่มกว่าและสามารถแนบตัวกับเส้นใยอื่นได้ดีกว่า นอกจากนั้นยังคงมีปริมาณแป้งอยู่มากกว่า อาจทำให้เสริมความแข็งแรงของกระดาษ ส่วนเส้นใยขนาดใหญ่อาจจะไม่สร้างพันธะกับเยื่อใยสั้นแต่ไปขัดขวางการสร้างพันธะ ความแข็งแรงของกระดาษจึงต่ำกว่าและจากกราฟจะเห็นว่าเมื่อปริมาณกากเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของกระดาษมีแนวโน้มลดลง อีกทั้งยังมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งอาจเป็นเพราะความแข็งแรงส่วนใหญ่เป็นผลมาจากเยื่อบริสุทธิ์เช่นเดียวกัน

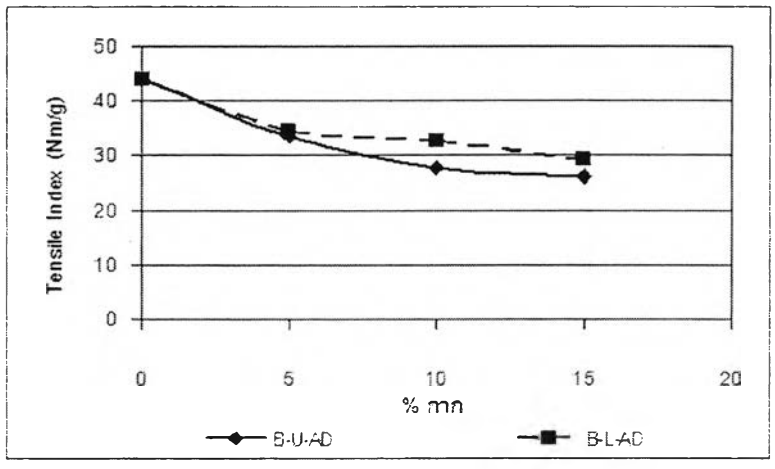
ภาพที่ 4 - 17 (ก) – (ค) เป็นกราฟตัวอย่างที่แสดงการเปรียบเทียบขนาดของกากมันสำปะหลังต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษทดสอบ จะเห็นว่ากระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่มีขนาดเล็ก (L 25) จะมีค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกับกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่มีขนาดใหญ่ (U 25) และจะเห็นว่าความแข็งแรงของกระดาษจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณกากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น อีกทั้งค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกยังต่ำกว่าชุดควบคุม

จะเห็นว่าการแยกขนาดเส้นใยกากมันสำปะหลังทั้ง 2 วิธี คือ ใช้เครื่องแยกความยาวเส้นใย (Bauer McNett Classifier) และตะแกรงร่อน (Sieve test) จะให้ผลความแข็งแรงของกระดาษทั้งค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง และค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกไปในแนวทางเดียวกัน คือ กากที่มีขนาดเล็กจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่ากากที่มีขนาดใหญ่ และการตีกากจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่าเช่นกัน ส่วนค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกจะมีความแปรปรวนมากกว่าค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง แต่จะพบว่ากากที่มีขนาดใหญ่จะมีแนวโน้มของค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่ากากที่มีขนาดเล็ก

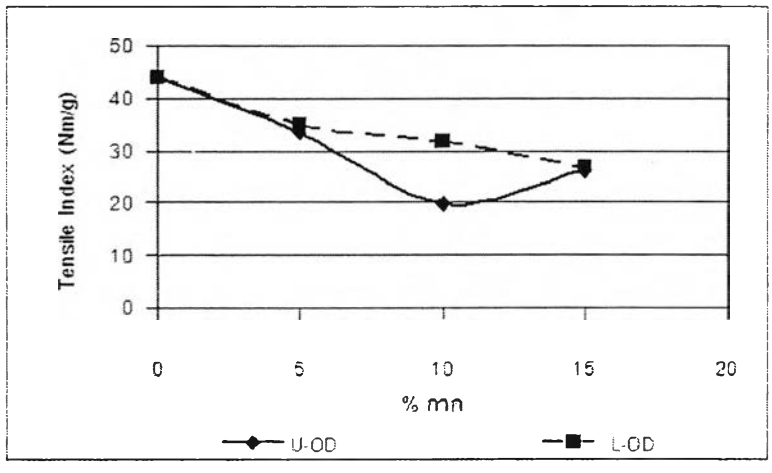
ในการเลือกภาวะที่จะใช้ในการทดลองขั้นต่อไป จะเลือกจากค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงเป็นสำคัญ เนื่องจากเป็นความแข็งแรงของพันธะของกระดาษ และจากการทดลองแยกขนาดความยาวเส้นใยด้วยตะแกรงร่อนพบว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งเพียงอย่างเดียวให้จะค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงดีที่สุด จึงเลือกไปทดลองต่อในขั้นตอนต่อไป และไม่ใช้การตีกาก เนื่องจากลดขั้นตอนการทำงาน ซึ่งจะสะดวกในทางอุตสาหกรรม



(ก)



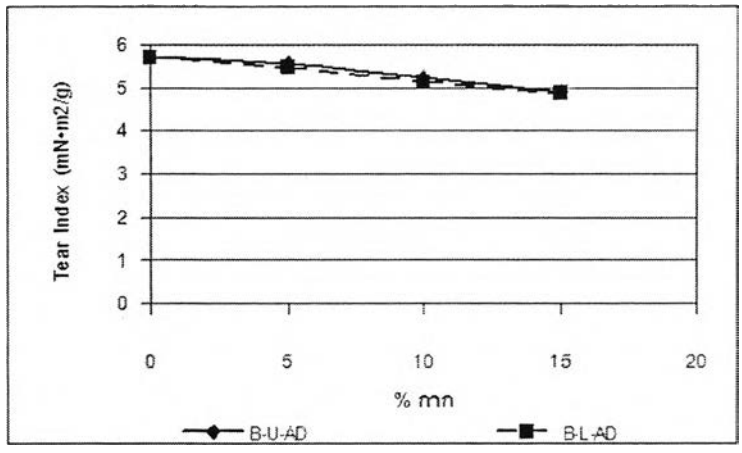
(ข)



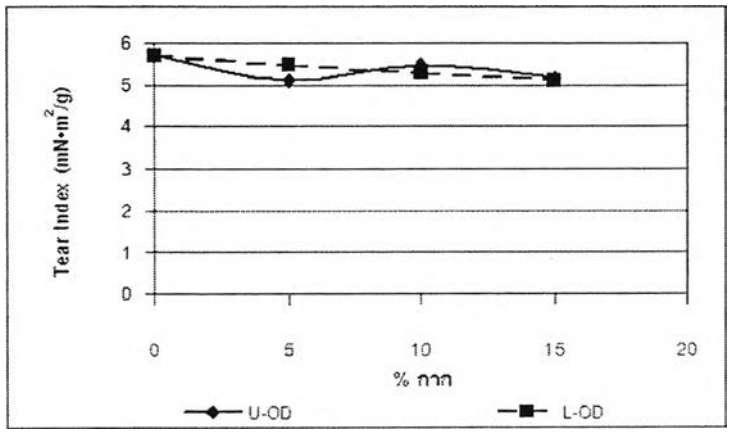
(ค)

ภาพที่ 4-16 อิทธิพลของขนาดกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง

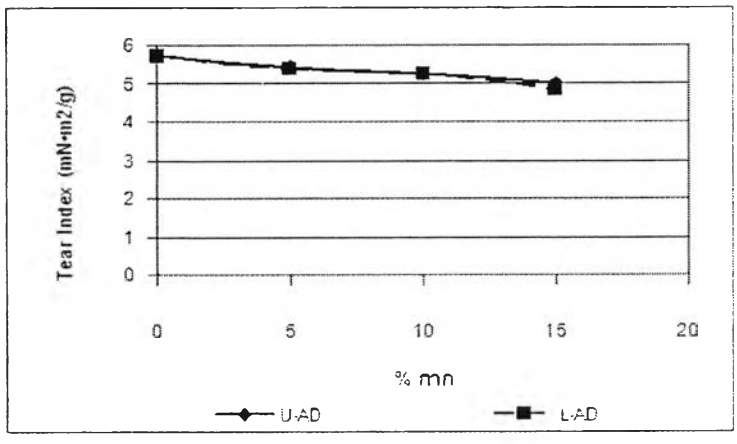
(ก) เปรียบเทียบระหว่างกากขนาดใหญ่กว่า 25 เมช อบแห้งกับกากขนาดเล็กกว่า 25 เมช อบแห้งที่ผ่านการตีกาก (ข) เปรียบเทียบระหว่างกากขนาดใหญ่กว่า 25 เมช ตากแห้งกับกากขนาดเล็กกว่า 25 เมช ตากแห้งที่ผ่านการตีกาก (ค) เปรียบเทียบระหว่างกากขนาดใหญ่กว่า 25 เมช อบแห้งกับกากขนาดเล็กกว่า 25 เมช อบแห้ง



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4-17 อิทธิพลของขนาดกากต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก

(ก) เปรียบเทียบระหว่างกากขนาดใหญ่กว่า 25 เมช ตากแห้งกับกากขนาดเล็กกว่า 25 เมช ตากแห้งที่ผ่านการตีกาก (ข) เปรียบเทียบระหว่างกากขนาดใหญ่กว่า 25 เมช อบแห้งกับกากขนาดเล็กกว่า 25 เมช อบแห้ง (ค) เปรียบเทียบระหว่างกากขนาดใหญ่กว่า 25 เมช ตากแห้งกับกากขนาดเล็กกว่า 25 เมช ที่ผ่านการตากแห้ง

4.2 ผลของการศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังและปรับปรุงเส้นใยกากมันสำปะหลังให้เหมาะสม

จากผลการทดลองข้อ 4.1 จะได้ภาวะที่เหมาะสมที่จะนำมาทดลองต่อในขั้นตอนนี้ คือ ต้มกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

4.2.1 ผลของการปรับปรุงเส้นใยกากมันสำปะหลัง

ในการปรับปรุงเส้นใยจะมีหลายวิธี เพื่อทำให้เส้นใยที่ต้องการมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ในการทดลองนี้จะเลือกใช้การต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ไม่เปลือง และไม่เพิ่มขั้นตอนมากนักในอุตสาหกรรม

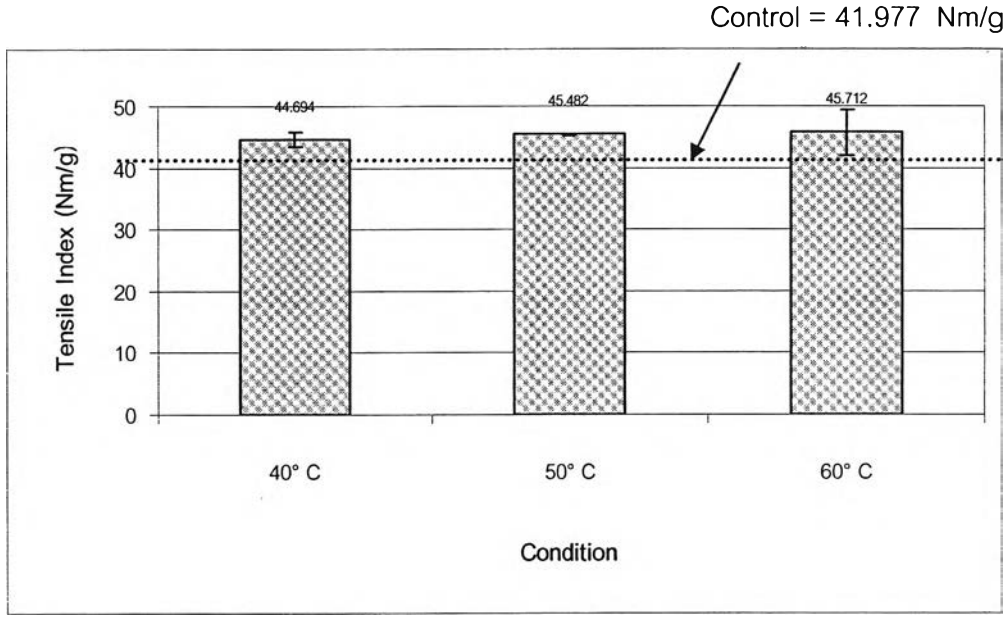
4.2.1.1 ผลของอุณหภูมิที่เหมาะสม

จากการทดลองต้มกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ 3 ระดับ โดยใช้ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักกากมันสำปะหลังที่ใช้ และผสมกากมันสำปะหลังกับเยื่อรีไซเคิล ในอัตส่วน 100 : 0, 95 : 5 จะได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4-19 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มกากมันสำปะหลัง และภาพที่ 4-20 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกและอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มกากมันสำปะหลังตามลำดับ เส้นประแสดงค่าความแข็งแรงของชุดควบคุม คือ กระดาษทดสอบที่ไม่ผสมกากมันสำปะหลัง

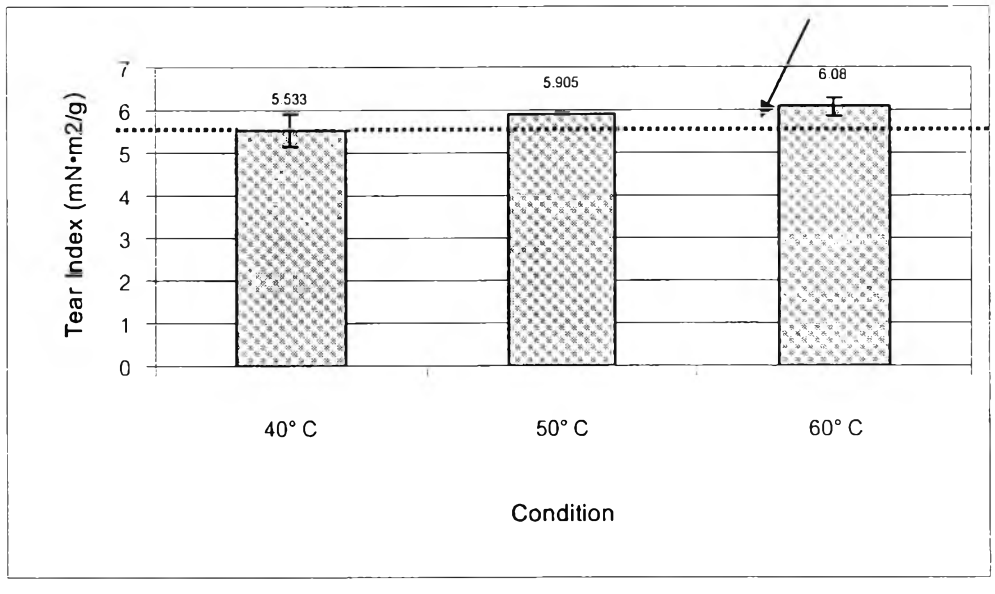
จากภาพที่ 4-19 จะเห็นว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงที่สุด เท่ากับ 45.712 Nm/g ซึ่งส่งผลจากความร้อนและสารเคมีที่ใช้ อีกทั้งตัวเส้นใยของกากมันสำปะหลังเองอาจมีความแข็งสูงอยู่แล้ว หลังจากการอบแห้งเส้นใยจึงแข็งแรงยิ่งขึ้น

จากภาพที่ 4-20 จะเห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น หลังจากต้มกากมันสำปะหลังด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ กระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงที่สุด เท่ากับ 6.08 $mN \times m^2/g$ แต่ความร้อนในระดับนี้อาจมีผลทำให้แป้งที่อยู่ในกากมันสำปะหลังสุก เนื่องจากอุณหภูมิที่

ทำให้แป้งสุกคือ 65 องศาเซลเซียส และการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้แป้งบวมตัวและเส้นใยจะนิ่มตัวมากขึ้น ทำให้เส้นใยกากมันสำปะหลังสามารถแนบตัวกับเส้นใยรีไซเคิลได้มากขึ้น จึงสร้างพันธะกับเยื่อกระดาษได้มากขึ้น



ภาพที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มกากมันสำปะหลัง



ภาพที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกและอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มกากมันสำปะหลัง

จากการทดลองถึงแม้ว่าผลของอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด แต่ก็ไม่แตกต่างกับผลของอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมากนัก อีกทั้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อาจมีผลจากตัวแป้งในกากมันสำปะหลัง ดังนั้นในขั้นต่อไป จึงเลือกใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในการต้มกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และใช้เวลา 1 ชั่วโมง

4.2.1.2 ผลของระดับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

4.2.1.2.1 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile index)

จากภาพที่ 4-21 จะเห็นว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการต้มด้วยน้ำกลั่น จะให้ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงที่สุด เท่ากับ 35.915 Nm/g เมื่อผสมกับเยื่อรีไซเคิลในปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษ และมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม (ชุดควบคุม คือ กระดาษทดสอบที่ไม่ผสมกากมันสำปะหลัง) ส่วนกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ของน้ำหนักกากมันสำปะหลัง จะให้ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงรองลงมา เท่ากับ 35.028 Nm/g เมื่อผสมกับเยื่อรีไซเคิลในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด และพบว่าแนวโน้มของกราฟจะลดลงเมื่อปริมาณกากเพิ่มขึ้น จะเห็นว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังอบแห้ง มีดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงต่ำที่สุด เนื่องจากใช้ผสมในภาวะแห้ง ทำให้กากมันสำปะหลังเป็นก้อนของกากมันสำปะหลังกับกับแป้ง ส่งผลให้กระดาษไม่เรียบ ความแข็งแรงจึงต่ำ

จากการทดลองพบว่าการต้มกากมันสำปะหลังด้วยน้ำกลั่น ช่วยให้ความแข็งแรงของกระดาษเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองการใช้กากเปียกในข้อ 4.1.1 เนื่องจากการต้มกากมันสำปะหลังด้วยน้ำกลั่น ทำให้ความกระด้างของเส้นใยลดลง เส้นใยจะบวมตัวด้วยน้ำ อีกทั้งองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของเซลลูโลสไม่เปลี่ยนแปลง [7] เมื่อผสมกับเยื่อรีไซเคิลจึงสร้างพันธะกันได้ดีขึ้น เส้นใยกระจายตัวดี ไม่มีก้อนของแป้งและกากมันสำปะหลัง ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงจึงสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งเป็นข้อดีในอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้ความร้อนต่ำและไม่ต้องใช้สารเคมีเพราะจะสิ้นเปลือง

การต้มกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ก็ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและสูงกว่าชุดควบคุมเช่นกัน เนื่องจากโดยทั่วไปสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเข้าไปสลายพันธะระหว่างลิกนินและเซลลูโลส เมื่อล้างน้ำ ลิกนินจึงหลุดออก เซลลูโลสจะลดลงและเฮมิเซลลูโลสก็หายไปบางส่วน องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังทั้งก่อนและหลังการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นจึงอาจเกิดจาก การบวมตัวของเซลลูโลส ทำให้สร้างพันธะได้มากขึ้น เมื่อกระดาษแห้งตัว การจับกันของพันธะจึงแน่นขึ้น ส่วนการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20 และ 25 ทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลง อาจเกิดจากปฏิกิริยา peeling reaction [7] ซึ่งเกิดจากการต้มด้วยด่างในปริมาณมากเกินไป สายเซลลูโลสจะถูกตัดให้สั้นลง ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง วิธีนี้จึงอาจเปลืองสารเคมี และไม่คุ้มทุนทางอุตสาหกรรม

4.2.1.2.2 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tear index)

จากภาพที่ 4.22 จะเห็นว่าจากภาพจะเห็นว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยน้ำกลั่น จะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกดีที่สุด เท่ากับ 8.6306 $mN \times m^2/g$ เมื่อผสมกับเยื่อรีไซเคิลในปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด และมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม ส่วนกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักกากมันสำปะหลัง จะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกรองลงมา เท่ากับ 8.1918 $mN \times m^2/g$ เมื่อผสมกับเยื่อรีไซเคิลในปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด และจะเห็นว่าแนวโน้มของกราฟมีความแปรปรวนมาก โดยความแข็งแรงจะลดลงถึงจุดหนึ่งก่อนแล้วจึงสูงขึ้น

จากการทดลองที่พบว่าการต้มกากมันสำปะหลังด้วยน้ำกลั่นช่วยให้ความแข็งแรงของกระดาษเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลของค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษทดสอบ เป็นไปได้ว่าตัวของเส้นใยเองมีความแข็งตัวอยู่แล้ว เมื่อนำไปต้มด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปผสมเยื่อรีไซเคิล หลังจากอบกระดาษจนแห้ง ความแข็งแรงของกระดาษจะสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเส้นใยเกิด hornification อีกทั้งตัวของเส้นใยเองมีขนาดใหญ่กว่าเยื่อรีไซเคิล เมื่อนำไปทดสอบจึงให้ค่าความต้านทานแรงฉีกสูง

การต้มกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20 ก็ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและสูงกว่าชุดควบคุมเช่นกัน โดยทั่วไปการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสก็หายไปบางส่วนแต่ปริมาณ

ของเซลลูโลสจะสูงขึ้น ความแข็งแรงของเส้นใยจึงสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อต้มกากมันสำปะหลังหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และผสมกับเยื่อรีไซเคิลแล้วขึ้นแผ่นกระดาษ เมื่อกระดาษแห้งตัวจากการอบแห้ง จึงทำให้กระดาษที่ผสมกากมันนำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นสูง ๆ มีความแข็งแรงสูงกว่า

4.2.1.2.3 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst index)

จากภาพที่ 4-23 จะเห็นว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยน้ำกลั่น จะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุดีที่สุด คือเท่ากับ 2.026 kPa×m^2g เมื่อผสมกับเยื่อรีไซเคิลในปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด และมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม ส่วนกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ของน้ำหนักกากมันสำปะหลัง จะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุรองลงมา เท่ากับ 1.942 kPa×m^2g เมื่อผสมกับเยื่อรีไซเคิลในปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด และกราฟมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณกากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น

การต้มกากมันสำปะหลังด้วยน้ำกลั่นแล้วช่วยให้ความแข็งแรงของกระดาษเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลของค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง เป็นไปได้ว่ากากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยน้ำกลั่น จะบวมตัวด้วยน้ำ เส้นใยอ่อนนุ่มขึ้น เมื่อผสมกับเยื่อรีไซเคิลจึงสร้างพันธะกันได้มากขึ้น และเนื่องจากความต้านทานแรงดันทะลุ เป็นความแข็งแรงของพันธะเช่นเดียวกับความต้านทานแรงดึงเมื่อกระดาษแห้งตัวหลังการอบ ความแข็งแรงจึงสูงขึ้น

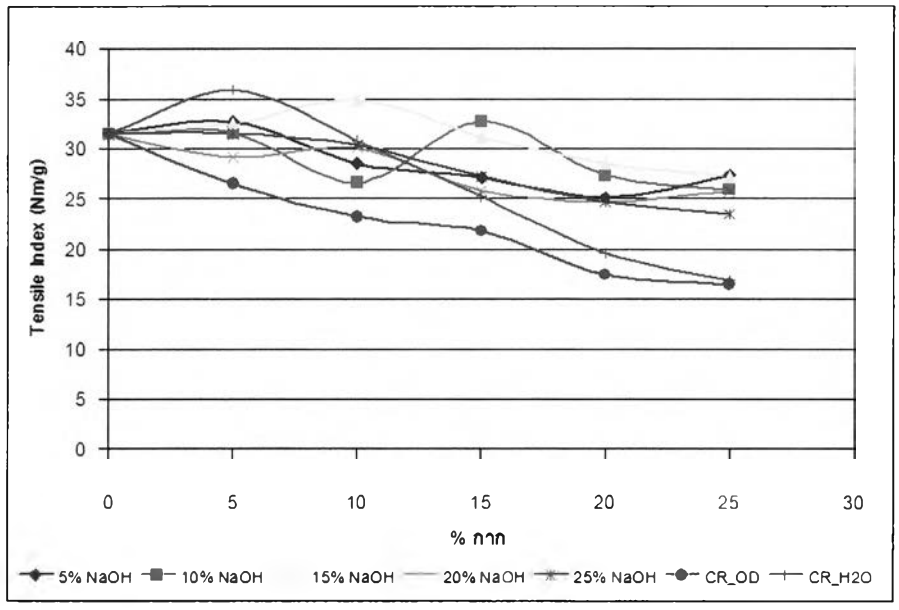
การต้มกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ก็ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและสูงกว่าชุดควบคุมเช่นกัน ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกันกับค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง

4.2.1.2.4 ค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (CMT)

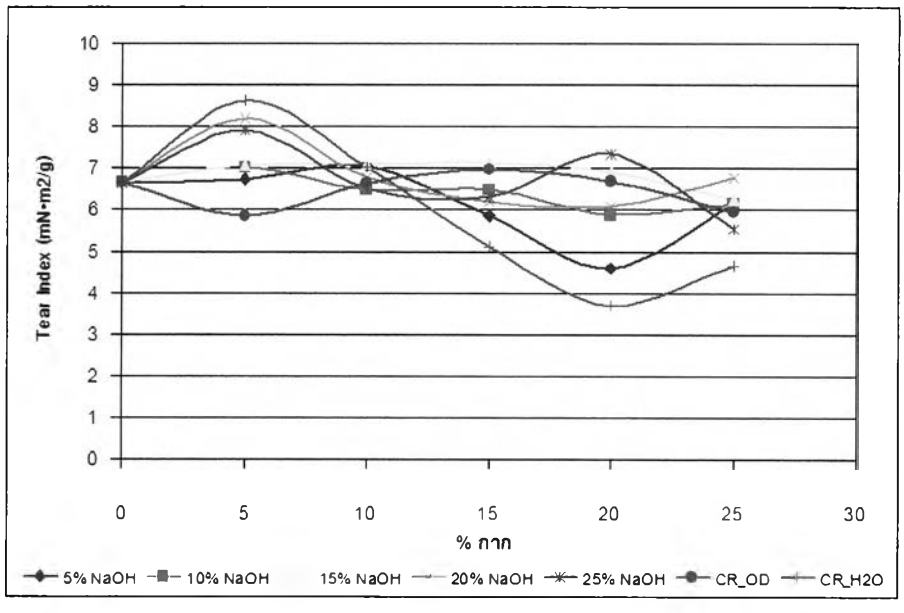
ในการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก จะเลือกทดสอบเป็นบางภาวะ โดยเลือกจากภาวะที่มีความต้านทานแรงดึงและแรงดันทะลุสูง ๆ จากผลการทดลองจากข้อ 4.2.1.2.1 - 4.2.1.2.3 จะเห็นว่ากระดาษทดสอบที่มีความแข็งแรงสูง จะเป็นกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยน่ำกลั่น ในสัดส่วน เยื่อรีไซเคิล : กากมันสำปะหลัง เท่ากับ 95 : 5

ดังนั้นจึงเลือกกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการต้มด้วยด่างระดับต่าง ๆ ในสัดส่วน 95 : 5 แล้วทดสอบความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4-24 ซึ่งแสดงค่าความต้านทานลอนลูกฟูกเปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ได้ใส่กากมันสำปะหลัง (ชุดควบคุม) ซึ่งแสดงเป็นเส้นประซึ่งมีค่าเท่ากับ 194.333 นิวตัน

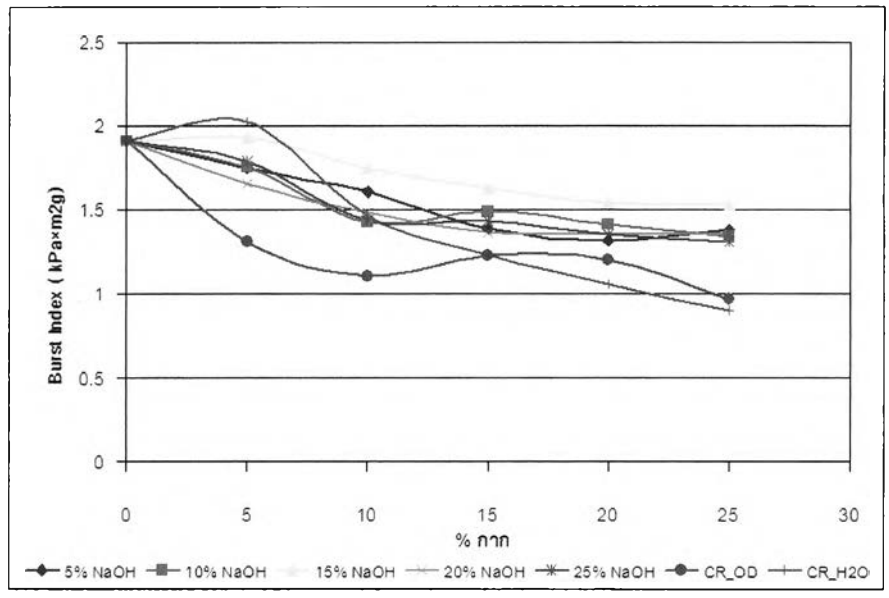
แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละภาวะที่นำมาทดสอบนั้น พบว่ากระดาษที่ผสมกากที่ต้มด้วยน้ำกลั่น จะให้ค่าความต้านทานแรงกดลอนลุกฟูกสูงที่สุด คือเท่ากับ 186.667 นิวตัน ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง ความแข็งแรงต่อแรงฉีก และความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ เนื่องจากความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใยและความหนาของกระดาษ ส่วนการต้มกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 ของน้ำหนักกากมันสำปะหลังที่ใช้นั้น เมื่อผสมกากมันสำปะหลังในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักกระดาษ จะให้ค่าความต้านทานแรงกดรองลงมาเท่ากับ 163.667 นิวตัน จากกราฟจะเห็นว่ากระดาษทดสอบในภาวะต่าง ๆ มีค่าความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกต่ำกว่าชุดควบคุม



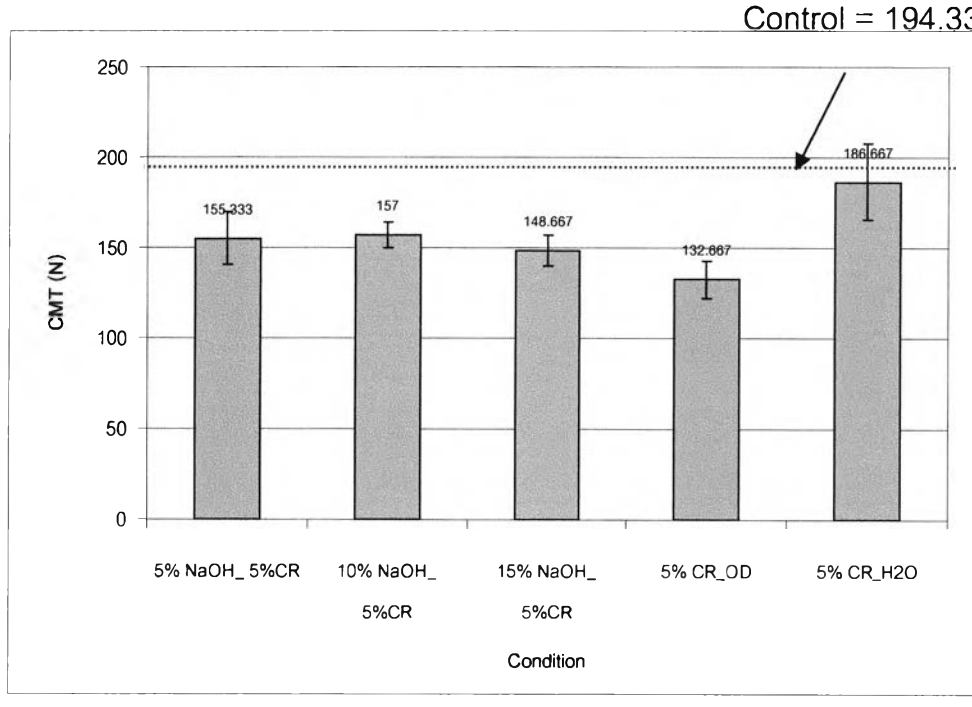
ภาพที่ 4-21 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก



ภาพที่ 4-22 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก



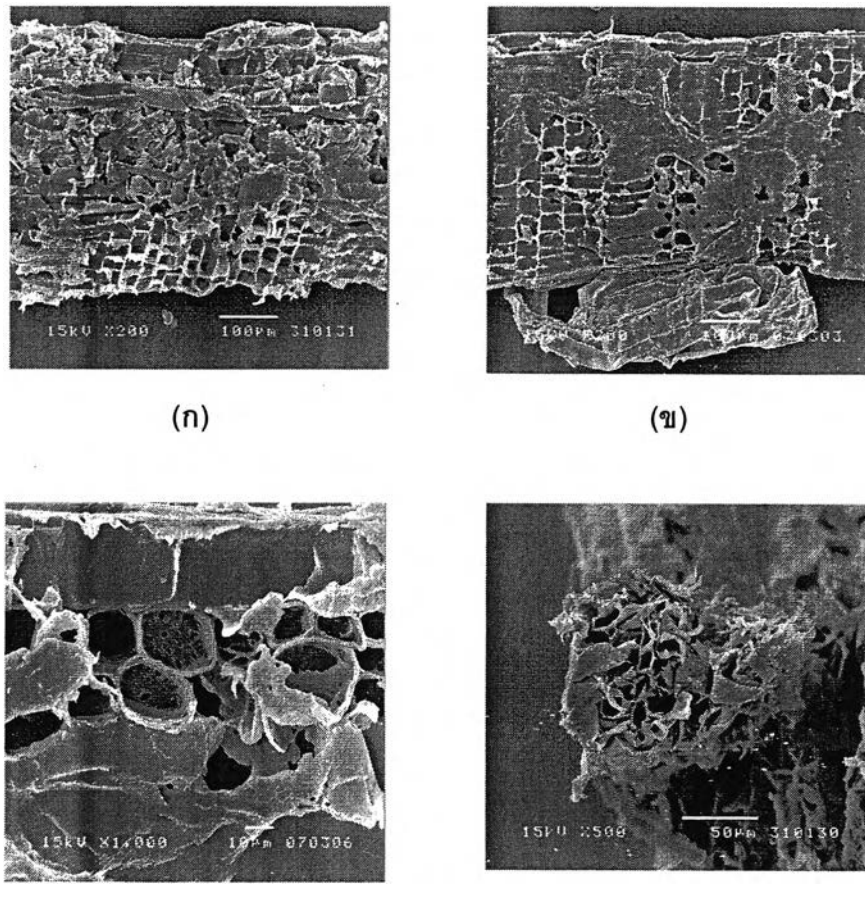
ภาพที่ 4-23 ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของแต่ละภาวะต่อปริมาณกาก



ภาพที่ 4-24 ค่าความต้านทานลอนลูกฟูกของภาวะต่าง ๆ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (เส้นประ)

4.2.2 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยกากมันสำปะหลัง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ขั้นตอนนี้จะศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใย จากการส่องโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4 – 25 (ก) – (ง) ซึ่งแสดงลักษณะของเส้นใยกากมันสำปะหลังภายนอก และภาพตัดขวางของเส้นใย



(ก) (ข)

(ค) (ง)

ภาพที่ 4 - 25 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง

(ก) เส้นใยกากมันสำปะหลังอบแห้ง (OD) ที่กำลังขยาย 200 เท่า

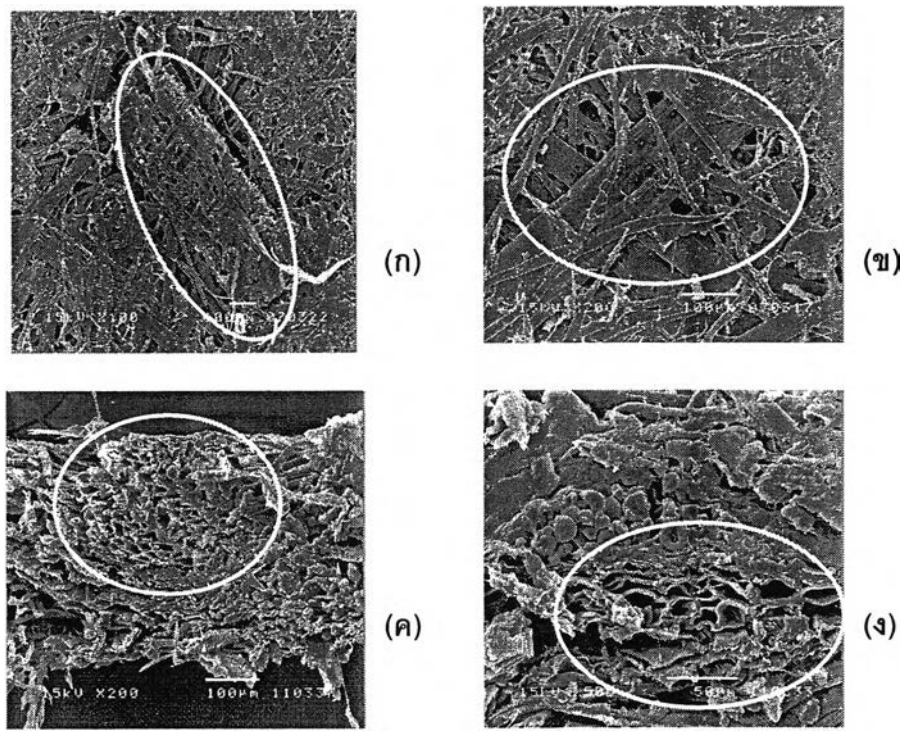
(ข) เส้นใยกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ที่กำลังขยาย 200 เท่า

(ค) ภาคตัดขวางของเส้นใยกากมันสำปะหลัง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

(ง) ภาคตัดขวางของเส้นใยกากมันสำปะหลัง ที่กำลังขยาย 500 เท่า

จากภาพที่ 4.25 (ก) เป็นลักษณะภายนอกของเส้นใยกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะเห็นว่าเส้นใยมีลักษณะหยาบ ส่วนภาพ 4-25 (ข) เป็นลักษณะภายนอกของเส้นใยกากมันสำปะหลัง ที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 จะเห็นว่าผนังชั้นนอกของเส้นใยจะหลุดออก เนื่องจากโดนสารเคมีทำลาย ส่วนภาพ 4.25 (ค) และ 4-25 (ง) เป็นภาพตัดขวางของเส้นใยกากมันสำปะหลัง

เมื่อนำกากมันสำปะหลังผสมกับเยื่อรีไซเคิล แล้วขึ้นแผ่นกระดาษ หลังจากนั้น นำมาตรวจดูลักษณะพื้นผิวของกระดาษ การเชื่อมกันของเส้นใย และภาพตัดขวางของกระดาษทดสอบจะได้ผลดังภาพที่ 4.26 (ก) – (ง) เปรียบเทียบกับกระดาษชุดควบคุม ภาพที่ 4.27 (ก) – (ข)



ภาพที่ 4.26 ลักษณะพื้นผิวของกระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลัง

(ก) กระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังอบแห้ง (OD) ที่กำลังขยาย 200 เท่า

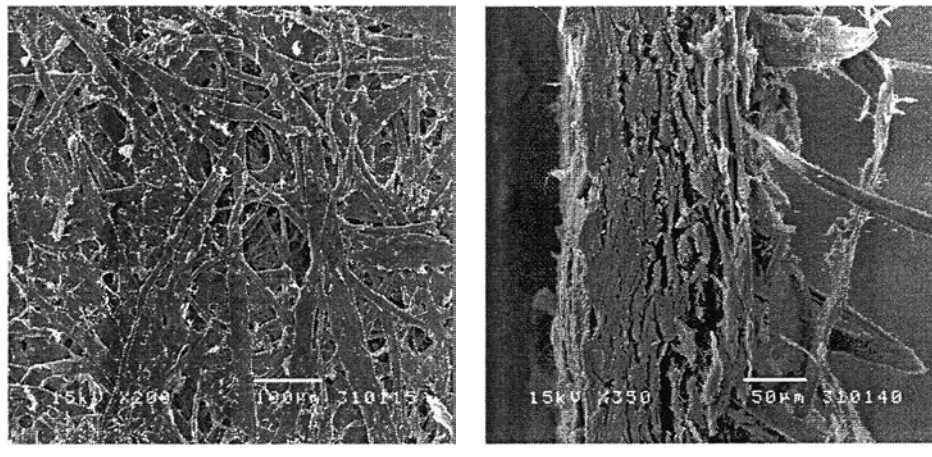
(ข) กระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ที่กำลังขยาย 200 เท่า

(ค) ภาคตัดขวางของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังอบแห้ง (OD)ที่กำลังขยาย 200 เท่า

(ง) ภาคตัดขวางของกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ภาพที่ 4.26 (ก) เป็นลักษณะพื้นผิวของกระดาษทดสอบที่ผสมเยื่อรีไซเคิลและเส้นใยกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งเพียงอย่างเดียว ส่วนภาพ 4.26 (ข) เป็นพื้นผิวของกระดาษทดสอบที่ผสมเยื่อ รีไซเคิลและเส้นใยกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ภาพ 4.26 (ค) เป็นภาพตัดขวางของกระดาษทดสอบที่ผสมเยื่อรีไซเคิลและเส้นใยกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้ง และ 4.26 (ง) เป็นภาพตัดขวางของกระดาษทดสอบที่ผสมเยื่อรีไซเคิลและเส้นใยกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15

จากภาพ 4.26 (ก) และ (ค) เป็นกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้ง เส้นใยจะมีความแข็งตัวมาก จึงไม่สร้างพันธะกับเยื่อรีไซเคิล แต่ภาพที่ 4.26 (ข) และ (ง) เป็นกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 15 จะเห็นว่าเส้นใยสามารถเชื่อมกับเยื่อรีไซเคิลได้ดีขึ้นถึงแม้ว่าจะมีขนาดใหญ่กว่า และเมื่อสังเกตจากภาพตัดขวางภาพที่ 4.26 (ง) จะเห็นว่าเส้นใยกากมันสำปะหลังยุบตัวลงได้มากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงสูงขึ้นมากกว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้ง



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.27 (ก) – (ข) ลักษณะพื้นผิวและภาพตัดขวางของกระดาษทดสอบชุดควบคุม

ภาพที่ 4.20 (ก) เป็นลักษณะพื้นผิวของกระดาษทดสอบซึ่งเป็นชุดควบคุม ส่วนภาพ (ข) เป็นภาพตัดขวางของกระดาษทดสอบซึ่งเป็นชุดควบคุม จะเห็นว่าพื้นผิวของกระดาษมีความเรียบ เส้นใยสานกันดี และเส้นใยแนบชิดติดกันเนื่องจากอิทธิพลของการบดเยื่อ การบดเยื่อจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการสร้างพันธะของเส้นใย [30] แต่ผิวของเยื่อรีไซเคิลจะยุ่ย เพราะเยื่อรีไซเคิลได้ผ่านการบดเยื่อซ้ำหลายรอบ

เมื่อเปรียบเทียบภาพที่ 4.19 และ ภาพ 4.20 จะเห็นว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังจะมีเส้นใยกากมันสำปะหลังแทรกอยู่ระหว่างเส้นใย แต่เนื่องจากมีขนาดใหญ่และมีความแข็งตัวสูง จึงไม่สามารถสร้างพันธะกับเยื่อรีไซเคิลได้ดี การวางตัวลักษณะนี้อาจส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกให้มีค่าสูง เพราะต้องใช้แรงฉีกเพิ่มขึ้นเพื่อฉีกเส้นใยนี้ ส่วนค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงจะส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงเมื่อมีเส้นใยกากมันสำปะหลังมากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด รวมทั้งจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ และแรงกดลอนลูกฟูกให้ความแข็งแรงลดลงเมื่อมีเส้นใยกากมันสำปะหลังมากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมดเช่นกัน โดยปกติเส้นใยจะเป็นตัวช่วยเสริมแรงของวัสดุให้มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น ช่วยรับแรงได้มากขึ้น แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะเป็นการขัดขวางส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง

4.2.3 ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกากมันสำปะหลัง

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพเส้นใย ได้ผลดังตารางที่ 4-1 ซึ่งแสดงปริมาณของส่วนประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังอบแห้ง

ตารางที่ 4-1 ส่วนประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

ส่วนประกอบ	**ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง**
ลิกนิน	3.5
โฮโลเซลลูโลส	39.1
อัลฟาเซลลูโลส	24.6
เบต้าเซลลูโลส	3.1
แกมมาเซลลูโลส	11.5

จากตาราง โฮโลเซลลูโลส คือ ส่วนของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่มีในเนื้อไม้ ได้แก่ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส [1] อัลฟาเซลลูโลส เป็นส่วนที่สำคัญในอุตสาหกรรมกระดาษ เพราะมีความแข็งแรงมากที่สุด ส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย ส่วนเบต้าเซลลูโลสและแกมมาเซลลูโลส ซึ่งเป็นเฮมิเซลลูโลส จะส่งผลต่อความแข็งแรงของพันธะในกระดาษ

ผลการวิเคราะห์พบว่ามีปริมาณอัลฟาเซลลูโลสร้อยละ 24.6 ส่วนปริมาณเบต้าเซลลูโลสและแกมมาเซลลูโลสมีปริมาณน้อยมาก แต่จะเห็นว่ามีปริมาณโฮโลเซลลูโลสร้อยละ 39.1 จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ผสมกับเยื่อรีไซเคิลเพื่อผลิตกระดาษลอนลูกฟูก เนื่องจากเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตกระดาษ ดังนั้นกากมันสำปะหลังจึงสามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ผสมเยื่อกระดาษเพื่อผลิตกระดาษได้

แต่เนื่องจากกากมันสำปะหลังอบแห้ง เมื่อนำมาผสมกับเยื่อรีไซเคิลแล้วขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบ จะได้ลักษณะผิวหน้าของกระดาษขรุขระ ไม่เรียบ เส้นใยยังไม่เชื่อมพันธะกัน และลักษณะของเส้นใยกากมันสำปะหลังเอง มีความแข็งตัว จึงทดลองปรับสภาพเส้นใยของกากมันสำปะหลังโดยต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 ระดับ ได้แก่ร้อยละ 5, 10,15, 20 และ 25 ของน้ำหนักกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการต้ม วัตถุประสงค์คือต้องการให้เส้นใยนิ่มตัวมากขึ้น สามารถสร้างพันธะกับเยื่อได้ ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น และกำจัดลิกนินออก จากนั้นวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ของน้ำหนักกากมันสำปะหลังที่ใช้ จะได้ผลดังตารางที่ 4-2 สาเหตุที่เลือกที่ความเข้มข้นระดับนี้เนื่องจาก % ผลผลิตลดน้อยลงมาก และองค์ประกอบทางเคมีอาจมีการเปลี่ยนแปลงไป จึงนำมาวิเคราะห์

<u>ตารางที่ 4-2</u> ส่วนประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังหลังต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15

ส่วนประกอบ	ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง
ลิกนิน	5.5
โฮโลเซลลูโลส	34.6
อัลฟาเซลลูโลส	24.3
เบต้าเซลลูโลส	2.3
แกมมาเซลลูโลส	8.4

ส่วนประกอบทางเคมีหลังต้มพบว่า ปริมาณเซลลูโลสลดลง เมื่อคำนวณ % ผลผลิต จะคิดเป็นร้อยละ 56 จากตารางที่ 4-2 ซึ่งแสดงองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังหลังต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะเห็นว่าปริมาณอัลฟาเซลลูโลสจะลดลง เนื่องจากสารเคมีได้เข้าทำปฏิกิริยากับกิ่งของเส้นใย เส้นใยจึงเหลือแต่บริเวณที่แข็งแรง ทำให้ส่งผลต่อทั้งความแข็งแรงของกระดาษและเส้นใย ปริมาณเบต้าเซลลูโลสและแกมมาเซลลูโลสหลังต้มมีค่าลดลง เนื่องจาก

เฮมิเซลลูโลสจะถูกกำจัดออก แต่จะเห็นว่าปริมาณเฮมิเซลลูโลสลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกากมันสำปะหลังก่อนต้ม และจากการทดลองปริมาณลิกนินหลังจากการต้มมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เป็นไปได้ว่าการต้มช่วยให้ลิกนินหลุดออกมา

การใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในกากมันสำปะหลังไม่สูญเสียไปมาก แป้งที่อยู่ในกากมันสำปะหลังทั้งภายนอกและภายในเส้นใยแค่บวมตัว แต่จะยังไม่สุก เนื่องจากอุณหภูมิที่ทำให้แป้งสุกคือ 65 องศาเซลเซียส และเซลลูโลสจะบวมตัวเนื่องจากสารเคมีที่แพร่เข้าไปสู่ภายในเส้นใย ทำให้เส้นใยกากมันสำปะหลังนิ่มตัวมากขึ้น เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเส้นใยอาจช่วยให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

นำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์โดยใช้ One-way ANOVA และ Two-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.4.1 การต้มกากมันสำปะหลังที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ผลของการทดลองต้มกากมันสำปะหลังที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้ One- way ANOVA พบว่าเมื่อใช้ปริมาณกากมันสำปะหลังที่ร้อยละ 5 จะส่งผลให้กระดาษมีค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง และค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของดัชนีค่าความค่าความแข็งแรงของแรงดึงและค่าความแข็งแรงของแรงฉีกเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มกากมันสำปะหลังที่ร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษ

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
tear	Between Groups	.858	2	.429	1.926	.226
	Within Groups	1.336	6	.223		
	Total	2.194	8			
tensile	Between Groups	10.618	2	5.309	.489	.636
	Within Groups	65.177	6	10.863		
	Total	75.795	8			

4.2.4.2 การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากการวิเคราะห์ผลของระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการต้มและปริมาณการเติมกาก โดยใช้ Two- way ANOVA พบว่าทั้งความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณการเติมกากจะส่งผลให้กระดาษมีค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4-4 และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเติมและปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.21 – 4.23 ยังไม่สามารถบอกแนวโน้มได้ชัดเจนว่าความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้และปริมาณกากที่เติมส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาษ และจากการวิเคราะห์ผลการทดลองต้มกากมันสำปะหลังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเติมกากปริมาณร้อยละ 5 ของปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้ จะส่งผลให้กระดาษมีค่าดัชนีความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P-value = 0.008)

ตารางที่ 4-4 ค่า P- value ของดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก และความต่านทานแรงดันทะลุ

ความแข็งแรง	ปริมาณการเติมกาก	ปริมาณ NaOH ที่ใช้ต้ม	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเติมและปริมาณ NaOH ที่ใช้ต้ม
Tear Index	8.23E-10	o.ooo423	2.02E-08
Tensile Index	1.08E-10	1.21E-24	9.91E-09
Burst Index	1.13E-3	2.65E-4	6.61E-13