บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในงานวิจัยที่นำกากมันสำปะหลังมาทดลองผสมกับเยื่อกระดาษเพื่อผลิตกระดาษลอนลูกฟูก ต้องคัดขนาดที่เหมาะสมและปรับสภาพเส้นใยให้เหมาะกับการใช้ประโยชน์ ซึ่งพอจะสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1. การศึกษาหาภาวะการเตรียมและขนาดที่เหมาะสมของกากมันสำปะหลัง

เมื่อทำการคัดแยกขนาดของเส้นใยกากมันสำปะหลังด้วยเครื่อง Bauer McNett Classifier พบว่าสัดส่วนของกากมันสำปะหลังที่แยกได้ส่วนใหญ่อยู่ที่ Unit ที่ 2 ซึ่งมีขนาดอยู่ระหว่าง 30 เมช (ขนาดรูเปิดของตะแกรง เท่ากับ 0.595 มิลลิเมตร) ถึง 50 เมช (ขนาดรูเปิดของตะแกรง 0.297 มิลลิเมตร) เมื่อคำนวณหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อความยาวของเส้นใย (weighted average fiber length) พบว่าค่าเฉลี่ยของเส้นใยกากมันสำปะหลังทุกภาวะ เท่ากับ 0.030 มิลลิเมตร และจากการทดลองพบว่ากากอ่อนเปียกที่ผ่านการตีด้วยเครื่องตีกาก (F-B) จาก Unit ที่ 4 จะให้ดัชนีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษทดสอบสูงที่ที่สุด เมื่อใช้ปริมาณกากมันสำปะหลังในปริมาณไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด ส่วนดัชนีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีก พบว่ากากอ่อนเปียกที่ไม่ผ่านขั้นตอนใด ๆ เลย (F) ให้ค่าความต้านทานแรงฉีกดีที่สุด เมื่อผสมกากมันสำปะหลังในปริมาณร้อยละ 5 ของปริมาณน้ำหนักกระดาษทั้งหมด

5.1.1.1 อิทธิพลของขนาดของกากต่อความแข็งแรงของกระดาษ

เมื่อพิจารณาค่าแข็งแรงต่อแรงดึง พบว่า กากที่มีขนาดเล็กที่สุด (unit 4) จะให้ส่งผลให้ดัชนีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากที่สุด เมื่อใช้ปริมาณกากมันสำปะหลังในปริมาณไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด เนื่องจากกากขนาดเล็กอาจไปช่วยสร้างพันธะกับเยื่อกระดาษได้ดีกว่า

เมื่อพิจารณาค่าแข็งแรงต่อแรงฉีก พบว่า กากอ่อนที่ unit ที่ 1 และกากหยาบจะให้ค่าความต้านทานแรงฉีกมากที่สุด เมื่อผสมกากมันสำปะหลังในปริมาณร้อยละ 5 ของปริมาณน้ำหนักกระดาษทั้งหมด แต่เนื่องจากค่าแข็งแรงต่อแรงฉีกเป็นความแข็งแรงของเส้นใย จึงเป็นไปได้ว่ากระดาษอาจถูกฉีกไปเจอกับกลุ่มก้อน จึงทำให้ค่าแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น เพราะต้องใช้แรงฉีกอ้อมก้อนนั้น

5.1.1.2 อิทธิพลของชนิดของกากต่อความแข็งแรงของกระดาษ

กระดาษทดสอบที่ผสมกากอ่อนจะให้ค่าแข็งแรงต่อแรงดึงและค่าแข็งแรงต่อแรงฉีกมากที่สุด เมื่อผสมกากมันสำปะหลังในปริมาณร้อยละ 5 ของปริมาณน้ำหนักกระดาษทั้งหมด

5.1.1.3 อิทธิพลของปริมาณการเติมกากต่อความแข็งแรงของกระดาษ

เมื่อเพิ่มปริมาณกากมากขึ้นความแข็งแรงของกระดาษมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณเยื่อลดลงไปและเส้นใยของกากเองยังไม่สามารถสร้างพันธะกับเส้นใยได้ดีนัก ทำให้เส้นใยของกากมันสำปะหลังไปขวางการสร้างพันธะของเยื่อใยสั้น ดังนั้นลัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมกากมันสำปะหลังกับเยื่อใยสั้น คือ ผสมกากมันสำปะหลังในปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ของปริมาณน้ำหนักกระดาษทั้งหมด ถ้าหากใช้มากกว่านี้จะทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลงเรื่อย ๆ อย่างชัดเจน

5.1.2. การแยกขนาดกากมันสำปะหลังโดยใช้ตะแกรงร่อนแยกขนาด (sieve test)

กากมันสำปะหลังชนิดหยาบที่ผ่านการอบแห้งเพียงอย่างเดียว (OD) ให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงดีที่สุด เมื่อใช้ปริมาณกากมันสำปะหลังในปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษ กระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งจะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงดีกว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการตากแห้ง อาจเป็นเพราะแป้งที่เหลืออยู่ในกากมันสำปะหลังและตัวของเส้นใย ส่วนค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกพบว่ากากมันสำปะหลังตากแห้งที่ผ่านการตีกาก และมีขนาดใหญ่กว่า 25 เมช (B-U-AD) มีค่าความแข็งแรงต่อแรงฉีกดีที่สุด เมื่อใช้ปริมาณกากมันสำปะหลังในปริมาณไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด

5.1.2.1 อิทธิพลของการการทำแห้งต่อค่าความแข็งแรงของกระดาษ

กระดาษที่ผ่านการอบแห้งจะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีก สูงกว่ากากมันสำปะหลังที่ผ่านการตากแห้ง เนื่องจากการทำแห้ง จะส่งผลให้เส้นใยแข็งตัวมากขึ้น แต่ความแข็งแรงของกระดาษก็ยังต่ำกว่าชุดควบคุม

5.1 2.2 อิทธิพลของการตีกากต่อค่าความแข็งแรงของกระดาษ

กระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการตีกาก จะมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่ากระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตีกาก ส่วนดัชนีค่าแข็งแรงต่อแรงฉีก พบว่า กระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการตีกาก ดัชนีค่าแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่า กระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ผ่านการตากแห้งเช่นเดียวกับดัชนีค่าแข็งแรงต่อแรงดึง

5.1.2.3 อิทธิพลของขนาดของกากต่อค่าความแข็งแรงของกระดาษ

กระดาษที่ผสมกากที่มีขนาดเล็กกว่า 25 เมช จะให้ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงกว่ากระดาษที่ผสมด้วยกากขนาดใหญ่ เนื่องจากกากมันสำปะหลังขนาดเล็กอาจแนบตัวกับเส้นใยได้ดีกว่า ช่วยเสริมความแข็งแรงของกระดาษ ส่วนดัชนีค่าแข็งแรงต่อแรงฉีก พบว่ากระดาษทดสอบที่ผสมกากมันสำปะหลังที่มีขนาดใหญ่ มีแนวโน้มดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงกว่า เนื่องจากกากที่มีขนาดใหญ่กว่า ต้องออกแรงฉีกเพิ่มขึ้น

5.1.3. การปรับปรุงเส้นใยให้เหมาะสมกับการใช้งาน

5.1.3.1 การปรับปรุงเส้นใยกากมันสำปะหลังโดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า มีอิทธิพลที่ส่งผลต่อการต้ม 2 อิทธิพล ได้แก่

5.1.3.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียสจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษสูงที่สุด แต่อาจเกิดจากการสุกของแป้ง ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในการทดลอง ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม เพราะสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถแพร่เข้าสู่เส้นใยได้ง่าย ทำให้เส้นใยแป้งบวมตัวเร็ว เส้นใยนิ่ม และแป้งยังไม่สุก เมื่อผสมกับกระดาษ เส้นใยจึงทำพันธะกับกระดาษได้ดีขึ้น

5.1.3.1.2 อิทธิพลของระดับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ากระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ของปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้ เมื่อผสมกับกระดาษจะส่งผลให้ความแข็งแรง ได้แก่ ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกสูงที่สุด ส่วนกระดาษที่ผสมกากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20 จะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงฉีกสูงที่สุด เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นกิ่งหายไปบางส่วน ทำให้โครงสร้างที่เป็นเส้นตรงเพิ่มมากขึ้น เส้นใยจึงแข็งแรงสูงที่สุด ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงฉีกของกระดาษ

5.1.3.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยกากมันสำปะหลัง

พบว่าเส้นใยกากมันสำปะหลังก่อนปรับสภาพเส้นใยมีส่วนที่เป็นโฮโลเซลลูโลสอยู่ถึงร้อยละ 39.1 แสดงว่าเส้นใยกากมันสำปะหลังสามารถนำมาผลิตกระดาษได้ และหลังจากการปรับสภาพเส้นใยจะมีส่วนของโฮโลเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 38.81 ซึ่งเป็นเพราะเบต้าเซลลูโลสและแกมม่าเซลลูโลสหายไปบางส่วน แต่ส่วนที่เป็นอัลฟาเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น และส่วนอัลฟาเซลลูโลสเป็นส่วนที่แข็งแรงที่สุด อีกทั้งการใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถแพร่เข้าสู่เส้นใยได้ง่าย ทำให้เส้นใยแป้งบวมตัวเร็ว และแป้งยังไม่สุก

จากการทดลองผสมเยื่อรีไซเคิลกับกากมันสำปะหลังภาวะต่าง ๆ เพื่อผลิตกระดาษลอนลูกฟูก 125 กรัมต่อตารางเมตร พบว่า กากที่ผ่านการต้มด้วยน้ำกลั่นเพียงอย่างเดียวจะให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษสูงที่สุด เมื่อใช้กากมันสำปะหลังร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด ได้แก่ ความแข็งแรงต่อแรงดึง ความแข็งแรงต่อแรงฉีก ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ และความด้านทานแรงกดลอนลูกฟูก อาจเป็นเพราะว่าตัวของเส้นใยมีความหยาบ การต้มจะทำให้กากมันสำปะหลังนิ่มขึ้น และองค์ประกอบภายในและลักษณะของกากมันสำปะหลังหลังต้มไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อนำมาผสมกับเยื่อรีไซเคิลจึงทำให้สามารถสร้างพันธะกันได้มากขึ้น และเส้นใยถูกกดตัวลงได้มากขึ้น (compressible) ซึ่งสอดคล้องกับการใช้กากมันสำปะหลังเปียกที่ไม่ผ่านภาวะใด ๆ เลยในการแยกขนาดด้วยเครื่องแยกความยาวเส้นใย

ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่เหมาะสมในการนำกากมันสำปะหลังไปผสมกับเยื่อรีไซเคิลเพื่อผลิตกระดาษลอนลูกฟูก คือ กากมันสำปะหลังที่ต้มด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และใช้ในปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษทั้งหมด อีกทั้งยังมีความคุ้มทุนในทางอุตสาหกรรม และช่วยลดขั้นตอนในการเตรียมกากมันสำปะหลัง

5.2. ข้อเสนอแนะ

การใช้กากมันสำปะหลังผสมกับเยื่อรีไซเคิลเพื่อผลิตกระดาษลอนลูกฟูก เป็นการใช้ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เป็นประโยชน์มากขึ้น ข้อดีของการใช้กากมันสำปะหลังจากภาวะที่ต้มด้วยน้ำกลั่นคือ ไม่เปลืองสารเคมี และพลังงาน สามารถใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้สะดวก ไม่เปลืองขั้นตอน เนื่องจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ในถังผสมเยื่อจะมีอุณหภูมิสูงอยู่แล้ว หากนำกากมันสำปะหลังแห้งใส่ลงไปผสม จะเป็นการตีกระจายแยกเส้นใยได้ และเส้นใยก็นิ่มตัวด้วย

จากลักษณะของกระดาษที่ผสมเส้นใยกากมันสำปะหลัง จะทำให้กระดาษมีลักษณะหยาบ ไม่เรียบ จึงเหมาะที่จะผลิตกระดาษลอนลูกฟูก เนื่องจากอาจช่วยในการรับกาวได้ดีด้วย หากต้องการใช้กับกระดาษประเภทอื่น ต้องมีการศึกษาและปรับปรุงเพิ่มเติมมากขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน