

การพัฒนากล่องกระดาษรักษ์โลกจากวัสดุเหลือใช้จากอ้อย

Development of Eco-friendly Paper Boxes from Sugarcane Waste

นันทวัน หัตถมาม^{1*} มลฤดี โอปามาวุฒิกุล² กัญญา ภัทรกุลอมร³ นัฐพงษ์ ทองปาน⁴ ลัดดาวัลย์ จำปา⁵ และ พรอารีย์ ศิริผลกุล⁶
Nanthawan Hadthamard^{1*} Monluedee Opamawutthikul² Kanya Phattarakunamorn³ Natthapong Thongpan⁴
Laddawan Champa⁵ and Pornaree Siriphonkun⁶

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อการจัดการพืช คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

³สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

⁴สาขาวิชาระบบอัตโนมัติและหุ่นยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

⁵สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

⁶สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

¹Modern Technology for Crop Management Program, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

²General Science Program, Faculty of Education, Kanchanaburi Rajabhat University

³Home Economics Education Program, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

⁴Automation and Robotics Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

⁵Industrial Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

⁶Division of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra Campus

*E-mail: nanthawan.aor04@kru.ac.th

Received: Jul 13, 2023

Revised: Sep 19, 2023

Accepted: Oct 02, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากล่องกระดาษรักษ์โลกจากวัสดุเหลือใช้จากอ้อย โดยเริ่มต้นจากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุที่ใช้ทำกระดาษที่ประกอบด้วยเส้นใยใบอ้อย เส้นใยชานอ้อย และขุยกระดาษ ซึ่งพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1:1:1 ร่วมกับการเคลือบผิวด้วยสารละลายกอลลูโคแมนแนนความเข้มข้นร้อยละ 10 กระดาษจากเศษอ้อยที่ได้จากสูตรดังกล่าวมีสีน้ำตาลอ่อน และมีผิวกระดาษขรุขระ มีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่ากระดาษที่ได้จากสูตรอื่น คือ มีความต้านแรงดันทะลุ 281 กิโลปาสกาล ความต้านแรงดึง 4.02 กิโลนิวตันต่อเมตร ความต้านแรงฉีกขาด 4,001 มิลลินิวตัน และการดูดซึมน้ำเท่ากับ 729 วินาที นอกจากนี้ยังมีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์ของกระดาษเส้นใยพืชตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เลขที่ มผช.41/2560 คือ ไม่มีรอยทะเลหือฉีกขาด ไม่มีรา สะอาด มีความชื้นร้อยละ 3.67-4.04 และมีการเคลือบผิวสม่ำเสมอ กระดาษจากเศษอ้อยนี้มีต้นทุนการผลิตกระดาษ 17.87 บาทต่อแผ่น เมื่อนำกระดาษจากเศษอ้อยดังกล่าวไปพัฒนาต้นแบบกล่องกระดาษ พบว่ากล่องกระดาษทรงสามเหลี่ยมที่ปิดฝาด้านบนด้วยการผูกด้วยเชือกมะลิลาได้รับความพึงพอใจโดยรวมจากผู้ใช้งานในระดับมากที่สุดคือ 4.24 กล่องกระดาษดังกล่าวมีต้นทุนการผลิต (ค่ากระดาษและค่าแรง) เท่ากับ 21.06 บาทต่อกล่อง การทำกล่องกระดาษ 1 ใบสามารถลดปริมาณเศษอ้อยได้ประมาณ 76.23 กรัม ดังนั้นการพัฒนากระดาษจากวัสดุเหลือใช้จากอ้อยเพื่อการผลิตกล่องกระดาษรักษ์โลกจึงไม่เพียงแต่ช่วยลดมลพิษจากการเผาเศษอ้อยยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับชุมชน

คำสำคัญ: ใบอ้อย ชานอ้อย กระดาษจากเศษอ้อย กล่องกระดาษรักษ์โลก

Abstract

This research is laboratory-level research aiming to develop eco-friendly paper boxes from sugarcane waste. Initially, the optimum ratio of paper-making materials consisting of sugarcane leaf fiber, bagasse fiber and scrap paper was determined. It was found that the optimum ratio was 1:1:1 combined with 10% glucomannan solution coating. The sugarcane paper from the optimal formula was light brown with rough surface. It had the best mechanical properties compared to those from other formulae including bursting strength of 281 kPa, tensile strength of 4.02 kN/m, tear resistance of 4,001 mN and water drop absorption of 729 seconds. Furthermore, it passed the criteria of plant fiber paper of Community Product Standard No. 41/2560 which were no penetration or tearing, no mold, clean, having moisture content of 3.67-4.04% and having uniform coating. The production cost of the sugarcane paper was 17.87 baht per piece. When the sugarcane paper was used to develop paper box prototypes, it was found that a triangular shaped box closed at the top by tying a Malila string received the highest overall satisfaction score from users with the score of 4.24. The production cost of the paper box (paper cost and labor cost) was 21.06 baht per box. Making one paper box could reduce the amount of sugarcane waste by about 76.23 g. Therefore, the development of paper pulp from sugarcane waste for eco-friendly paper box production not only reduces pollution from the burning of sugarcane waste, but also increases income for the community.

Keywords: Sugarcane leaf, Bagasse, Sugarcane paper, Eco-friendly paper box

1. บทนำ

อ้อย (*Saccharum officinarum* Linn.) ส่วนใหญ่ที่ปลูกในประเทศไทยเป็นอ้อยโรงงานที่ใช้ผลิตน้ำตาลทราย ในปี 2562/2563 มีพื้นที่ปลูกอ้อย 11,959,140 ไร่ หลังการตัดอ้อยจะเหลือเศษใบอ้อยมากถึง 1 ใน 6 ของอ้อยทั้งหมด ที่ถูกทิ้งให้แห้งไว้ในไร่เพื่อรอเผาทิ้ง และบางส่วนติดไปกับลำอ้อยที่นำเข้าโรงงานน้ำตาลทราย ในส่วนนี้ทางโรงงานจะนำไปรวมกับขานอ้อยที่เป็นวัสดุเหลือใช้ของโรงงานเพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า จากนโยบายการปรับเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมมาเป็นการปลูกอ้อยที่ใช้น้ำน้อยของรัฐบาล [1] เป็นไปได้ว่าวัสดุเหลือใช้จากอ้อยทั้ง 2 ส่วนนี้มีแนวโน้มจะเพิ่มปริมาณขึ้น โดยเฉพาะใบอ้อยที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์ที่เป็นรูปธรรม หากยังมีการเผาเข้าซากย่อมก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงยิ่งขึ้น

การเผาเศษวัสดุเกษตรหลังเก็บเกี่ยว เป็นกิจกรรมทางเกษตรที่เป็นสาเหตุสำคัญของการสร้างปัญหามลพิษทางอากาศ การที่จังหวัดกาญจนบุรีมีพื้นที่ปลูกอ้อยมากเป็นอันดับหนึ่งของภาคตะวันตก จึงพบอ้อยที่ถูกเผาก่อนตัด (อ้อยไฟไหม้) ในปี 2566 มากถึงร้อยละ 31.58 ของปริมาณอ้อยเข้าหีบทั้งหมด พื้นที่โดยรอบถูกโอบอุ้มด้วยทิวเขาสูง และอยู่ใกล้พรมแดนพม่าที่มีพฤติกรรมเผาเช่นกัน เมื่ออยู่ในสภาวะที่กำลังลมอ่อนตัว เหม่าและฝุ่นจะระบายออกยาก หากฝุ่นจาก

ประเทศเพื่อนบ้านเข้ามาสมทบด้วย หลายพื้นที่ในจังหวัดอาจมี PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน [2] แสดงว่าการปลูกอ้อยในจังหวัดมีประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ค่อนข้างน้อย จึงเกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม การใช้กลยุทธ์ระดับเศรษฐกิจฐานรากบนพื้นฐานของนิเวศเศรษฐกิจที่ตอบโจทย์ความต้องการของชุมชนได้ จะสร้างความร่วมมือกันในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน [3], [4]

กระแสความนิยมผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นในกลุ่มผู้บริโภคและผู้ประกอบการ [5] และคุณสมบัติของเศษอ้อยและขานอ้อยที่ให้เซลลูโลสได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 [6] เมื่อนำไปต้มในกรดหรือด่างที่ความร้อนสูง จะได้เส้นใยออกมา ซึ่งการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักใบอ้อยสด นาน 90 นาที จะให้เส้นใยใบอ้อยปริมาณมาก [7] สามารถนำมาพัฒนาต่อเป็นเส้นด้ายพลาสติกชีวภาพ กระดาษ และไม่อัดได้ อย่างไรก็ตาม วัสดุชีววมักมีข้อบกพร่องเรื่องคุณสมบัติเชิงกลและความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านน้ำต่ำ ในกระบวนการผลิตเส้นใยธรรมชาติให้มีคุณภาพสูง จึงผสมเส้นใยชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น การผสมในรังไหม เส้นใยใบอ้อย และเส้นใยฝ้าย เพื่อเพิ่มความต้านทานแรงดึงให้กับเส้นด้ายจากเศษใบอ้อย [8] การใช้สารเคลือบผิวที่ทนต่อความชื้น เช่น เทฟลอน (Teflon) กลูโคแมนแนน (Glucomannan) หรือไคโตซาน (Chitosan) มาเคลือบผิว

แผ่นกระดาษจากขานอ้อยเพื่อเพิ่มความหนา [9] และการใช้พาราฟิน (Parafin) เป็นตัวประสานเพื่อผลิตกระดาษขานอ้อยสำหรับทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง [10] เป็นต้น

แม้เทคโนโลยีสารสนเทศจะมีบทบาทสำคัญในการเก็บบันทึกข้อมูล แต่กระดาษยังเป็นสิ่งจำเป็นในการทำงานด้านเอกสารและงานบรรจุภัณฑ์ ซึ่งคนไทยใช้กระดาษเฉลี่ยปีละ 3.9 ล้านตัน ในการผลิตกระดาษ 1 ตัน ต้องตัดต้นไม้มากถึง 17 ตัน [11] จากแนวความคิดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยการทำให้เห็นคุณค่า นักวิจัยจึงต้องการพัฒนากล่องกระดาษรักษ์โลก ซึ่งเป็นกล่องกระดาษประเภทงานฝีมือ ผลิตจากกระดาษที่ขึ้นรูปจากเยื่อเศษใบอ้อยและขานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ร่วมกับการใช้คุณสมบัติการเป็นเส้นใยที่ยาวและเหนียวของเยื่อกระดาษรีไซเคิลมาทำหน้าที่เป็นวัสดุกระจายเส้นใย [12] เพื่อให้ได้กระดาษที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมสำหรับการนำไปต่อยอดเป็นกล่องกระดาษ ซึ่งจะช่วยลดการเผาเศษวัสดุทิ้งอย่างไร้ค่า และลดปริมาณการตัดต้นไม้ลงได้

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานนี้เป็นงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาอัตราส่วนของใบอ้อย ขานอ้อย และขุยกระดาษ รวมถึงสภาวะการเคลือบผิวด้วยกลูโคแมนแนน จากนั้นนำกระดาษไปเพิ่มมูลค่าด้วยการออกแบบกล่องกระดาษประเภทงานฝีมือต่อไป

2.1. การเตรียมเส้นใยจากเศษอ้อย

ตัดใบอ้อยและขานอ้อยแห้งยาวประมาณ 3-4 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักอย่างละ 100 กรัม และนำไปต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ต่อมานำเส้นใยไปล้างในน้ำสะอาดจนครบ 3 ครั้ง จะได้เส้นใยที่ถูกกำจัดลิกนิน (Lignin) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ออกไป จากนั้นนำไปฟอกขาว

ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite) ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตรต่อปริมาตร นาน 30 นาที ล้างน้ำสะอาดจนครบ 3 ครั้ง นำเส้นใยไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และหาปริมาณร้อยละของเส้นใยที่ได้

2.2. การผลิตแผ่นกระดาษจากเศษอ้อย

นำกระดาษเอสี่ (A4) ใช้แล้ว 1 หน้า มาฉีกให้ละเอียด ผสมกับเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยขานอ้อยตามสูตรใน Table 1 (1 ส่วนเท่ากับน้ำหนักแห้ง 70 กรัม) เติมน้ำสะอาด 1,000 มิลลิลิตร ปั่นรวมกันในเครื่องปั่นไฟฟ้า นาน 1 นาที (Figure 1A) จากนั้นนำเยื่อมาเกลี่ยบนตะแกรงขึ้นเยื่อที่ลอยอยู่ในน้ำ (Figure 1B) ผึ่งแดดนาน 2-3 วัน จนแห้ง จึงดึงกระดาษออกจากตะแกรงขึ้นเยื่อเพื่อนำมาตัดแต่งขอบให้ได้ขนาด (กว้าง x ยาว) 25.5x36 เซนติเมตร

การศึกษาปริมาณเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยขานอ้อยทั้ง 12 สูตร มีการควบคุมปริมาณเส้นใยทั้งคู่ให้มือน้ำหนักรวมเท่ากับ 140 กรัม (2 ส่วน) ส่วนสูตรที่เติมขุยกระดาษ 1 ส่วน จะมีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 210 กรัม ทั้งนี้ UC1 และ GC1 เป็นสูตรอ้างอิงสำหรับสูตรที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบผิว ด้วยงานวิจัยนี้เป็นการขึ้นรูปแบบทำมือ การควบคุมความหนาของกระดาษจึงใช้วิธีเกลี่ยให้สม่ำเสมอบนตะแกรงขึ้นเยื่อขนาดเดียวกันคือ 26x36.5 เซนติเมตร สุดท้ายกระดาษสูตรละ 12 แผ่น จะถูกเก็บไว้ในกล่องสุญญากาศเพื่อส่งวิเคราะห์คุณภาพเชิงกลที่ห้องปฏิบัติการที่ได้รับรองมาตรฐาน ISO 17025

กรณีเป็นสูตรเคลือบผิว จะควบคุมสภาวะการเคลือบด้วยการกำหนดความเข้มข้นของสารละลายกลูโคแมนแนนไว้ที่ร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร และระยะเวลาเคลือบที่เท่ากันคือ 10 นาที การเคลือบเริ่มต้นด้วยการนำกระดาษแช่ในสารละลายกลูโคแมนแนนจนครบ 10 นาที จากนั้นตากแดดจนแห้ง แล้วนำมาเคลือบซ้ำอีกครั้งด้วยสภาวะเดิม แล้วตากแดดจนกระดาษแห้ง



Figure 1 (A) Mixing of sugarcane paper pulp; (B) Sugarcane paper forming

Table 1 Ratios of materials for different formulas of sugarcane paper production

Formula	Ratio of materials (part)			Coating
	Sugarcane leaf fiber	Bagasse fiber	Scrap paper	
UC1	1.0	1.0	-	No
UC2	1.5	0.5	-	No
UC3	0.5	1.5	-	No
UC4	1.0	1.0	1.0	No
UC5	1.5	0.5	1.0	No
UC6	0.5	1.5	1.0	No
GC1	1.0	1.0	-	Yes
GC2	1.5	0.5	-	Yes
GC3	0.5	1.5	-	Yes
GC4	1.0	1.0	1.0	Yes
GC5	1.5	0.5	1.0	Yes
GC6	0.5	1.5	1.0	Yes

2.3. การประเมินคุณภาพเบื้องต้นของกระดาษ

พิจารณาคุณภาพเบื้องต้นของกระดาษทั้ง 12 สูตร และคัดเลือกกระดาษที่มีสี ความเรียบ และการกระจายตัวของเส้นใยบนกระดาษเมื่อส่องแสงแดด สม่ำเสมอที่สุด จำนวน 6 สูตร

2.4. การประเมินลักษณะภายนอกและคุณภาพเชิงกลของกระดาษ

แบ่งกระดาษทั้ง 6 สูตรที่ผ่านการคัดเลือกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำมาศึกษาค่าความหนา และคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเลขที่ มผช.41/2560 อีกส่วนหนึ่งนำไปประเมินลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่ห้องปฏิบัติการในกรุงเทพฯ มีรายละเอียดดังนี้

(1) ความหนา ด้วยการนำกระดาษมาชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการแช่น้ำ ซึ่งใช้เวลาแช่น้ำนาน 20 นาที จากนั้นหาร้อยละของการดูดซับน้ำ โดยตัดแปลงจากวิธีทดสอบจาก T441 om-9 [13]

(2) คุณภาพของกระดาษเส้นใยพืช ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เลขที่ มผช.41/2560 ด้วยการพินิจคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ การไม่มีรอยทะลุหรือฉีกขาด ไม่มีรา ไม่มีสิ่งสกปรก หากมีการเคลือบผิวต้องเคลือบผิวได้สม่ำเสมอ สำหรับค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 จะใช้ผลวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ

(3) การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

- ความชื้น มาตรฐาน AOAC, 2000
- น้ำหนัก มาตรฐาน ISO 536: 2012
- ความเรียบผิว มาตรฐาน ISO 5627: 1995
- ความขาวสว่าง มาตรฐาน ISO 2470-1: 2016
- ความหนามาตรฐาน มาตรฐาน ISO 534: 2011
- ความต้านแรงดันทะลุ มาตรฐาน ISO 2759: 2014
- ความต้านแรงดึง มาตรฐาน ISO 1924-2: 2008
- ความต้านแรงฉีกขาด มาตรฐาน ISO 1974: 2012
- การดูดซึมน้ำแบบหยดน้ำ มาตรฐาน TAPPI T 835

om-14

2.5. การคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษเศษอ้อย

เปรียบเทียบคุณภาพของกระดาษแต่ละสูตร จากนั้นคัดเลือกสูตรที่มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเลขที่ มผช.41/2560 และมีคุณภาพเชิงกลดีที่สุด เพื่อนำมาคำนวณต้นทุนการผลิตกระดาษ และนำไปใช้ผลิตกล่องกระดาษรักษ์โลกในขั้นตอนต่อไป

2.6. การออกแบบต้นแบบกล่องกระดาษ

การออกแบบต้นแบบกล่องกระดาษ มีขั้นตอนดังนี้

- (1) ประชุมย่อยเพื่อสอบถามความต้องการของคนในชุมชน อำเภอปอพลอย จังหวัดกาญจนบุรี และกำหนดกรอบแนวคิดการออกแบบกล่องกระดาษทั้ง 4 แบบ คือ เป็นกล่อง

รูปทรงเรขาคณิต ใช้วัสดุประกอบจากธรรมชาติ ประโยชน์ใช้สอยเพื่อใส่ของขนาดเล็กประเภทเครื่องประดับ

(2) ร่างแบบ เพื่อกำหนดขนาดและความละเอียดของชิ้นงาน

(3) สร้างต้นแบบกล่องกระดาษ และนำไปปรึกษาผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญหรือมีประสบการณ์การออกแบบ การตลาด หรืองานฝีมือ จำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อคำถาม วัตถุประสงค์ และชิ้นงาน จากนั้นปรับปรุงข้อคำถาม จนกว่าแต่ละข้อจะมีความสอดคล้อง (IOC) ไม่น้อยกว่า 0.5 ซึ่งแบบสอบถามเป็นการวัดระดับความพึงพอใจตามมาตรวัด 5 ระดับของลิเคิร์ต (Likert scale) [14]

(4) นำต้นแบบกล่องกระดาษทั้ง 4 แบบ ไปทดสอบความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ชุมชนและผู้สนใจทั่วไป จำนวนรวม 100 คน โดยใช้แบบสอบถามที่ผ่านการประเมินแล้ว

(5) หาค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจ และแปลความหมายของมาตรวัด 5 ระดับคะแนน

(6) คัดเลือกต้นแบบกล่องกระดาษที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจมาก 3 อันดับแรก มาวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

2.7. จริยธรรมการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้รับการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี เอกสารรับรองเลขที่ COA.No.019/2565

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. ผลการเตรียมเส้นใยจากเศษอ้อย

กระบวนการเตรียมเส้นใย เริ่มต้นจากการย่อยเชิงกลด้วยการหั่นเศษอ้อยให้มีขนาดเล็ก จากนั้นเข้าสู่กระบวนการย่อยทางเคมีด้วยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สุดท้ายได้เส้นใยสีน้ำตาลที่มีขนาดเล็กและสั้น จับกันเป็นกลุ่มเส้นใย [7] จากปริมาณเศษออย้น้ำหนักเท่ากัน (100 กรัม) ได้เส้นใยชานอ้อยคิดเป็นร้อยละ 77.83 ± 1.94 และเส้นใยใบอ้อยคิดเป็นร้อยละ 61.22 ± 2.19 การที่เส้นใยชานอ้อยมีน้ำหนักมากกว่าเส้นใยใบอ้อย เป็นผลจากเซลลูโลส (Cellulose) ในชานอ้อยมีมากถึงร้อยละ 41.26 และโครงสร้างของเส้นใย

ชานอ้อยมีลิกนินหรือเพคติน (Pectin) ติดอยู่กับเซลลูโลสมากกว่าในใบอ้อย จึงมีขนาดใหญ่และเนื้อสัมผัสหยาบกว่า [15] ในขณะที่เส้นใยใบอ้อยมีขนาดเล็กและสั้นกว่าเส้นใยชานอ้อย (Figure 2A, 2B) แม้เส้นใยทั้งคู่จะมีสีน้ำตาลเหมือนกัน แต่เส้นใยชานอ้อยมีสีน้ำตาลอ่อนกว่า เนื่องจากผ่านกระบวนการทางเคมีจากการหีบอ้อยมาแล้ว

หลังจากฟอกขาวด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ สารลิกนินในเส้นใยจะถูกกำจัดออกไป เยื่อเซลลูโลสของใบอ้อยและชานอ้อยมีสีสว่างมากขึ้น [16] ขนาดเส้นใยของทั้งคู่จะเล็กลงอีก แต่บวมขึ้น ด้วยเหตุนี้เส้นใยใบอ้อยที่มีขนาดเล็กกว่า จึงจับเป็นก้อนแน่นกว่าเส้นใยชานอ้อย (Figure 2C, 2D)

3.2. ผลการประเมินคุณภาพเบื้องต้นของกระดาษ

จากปริมาณเยื่อกระดาษที่เท่ากัน การประเมินคุณภาพกระดาษทั้ง 12 สูตร ด้วยตาเปล่า พบว่าสูตรที่เติมขุยกระดาษมีสีน้ำตาลอ่อนกว่าสูตรที่ไม่เติมขุยกระดาษ (Figure 3) เนื่องจากขุยกระดาษมีสีขาว จึงทำให้สีของกระดาษอ่อนลง

เมื่อพิจารณาความเรียบของผิวกระดาษ พบว่าสูตรที่ไม่เติมขุยกระดาษมีผิวขรุขระมากกว่าสูตรที่เติมขุยกระดาษ (Figure 3) เนื่องจากเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยชานอ้อยมีขนาดสั้นมาก ประมาณ 2-4 มิลลิเมตร และมีการยึดตัวต่ำ จึงจับตัวกันเองเป็นก้อนและกระจายตัวน้อย [17] เมื่อเติมขุยกระดาษลงไปในแต่ละสูตรด้วยปริมาณที่เท่ากัน ขุยกระดาษจะลดการจับกันเองของเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยชานอ้อย และโอบอุ้มเส้นใยไว้ ทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้นในสูตรที่เติมขุยกระดาษ

เมื่อส่องกระดาษกับแสงแดด ไม่พบความแตกต่างของการกระจายตัวของเยื่อกระดาษระหว่างสูตรที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว แต่พบความแตกต่างระหว่างการเติมและไม่เติมขุยกระดาษ คือ กระดาษสูตรที่ไม่เติมขุยกระดาษมีจุดโปร่งแสงมากกว่าร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งหมด และพบรูขนาดเล็กประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แต่สูตรที่เติมขุยกระดาษมีการกระจายตัวของเยื่อกระดาษดีกว่า จึงไม่พบจุดโปร่งแสง

ดังนั้นกระดาษที่ผ่านการคัดเลือก และนำไปตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล ในห้องปฏิบัติการ คือ UC4, UC5, UC6, GC4, GC5 และ GC6 พร้อมกับ UC1 และ GC1 ที่เป็นสูตรอ้างอิง

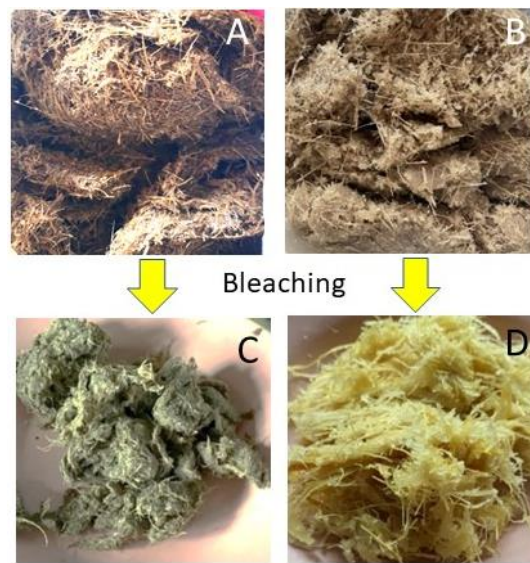


Figure 2 Sugarcane leaf fiber (A, C) and bagasse fiber (B, D) before and after bleaching

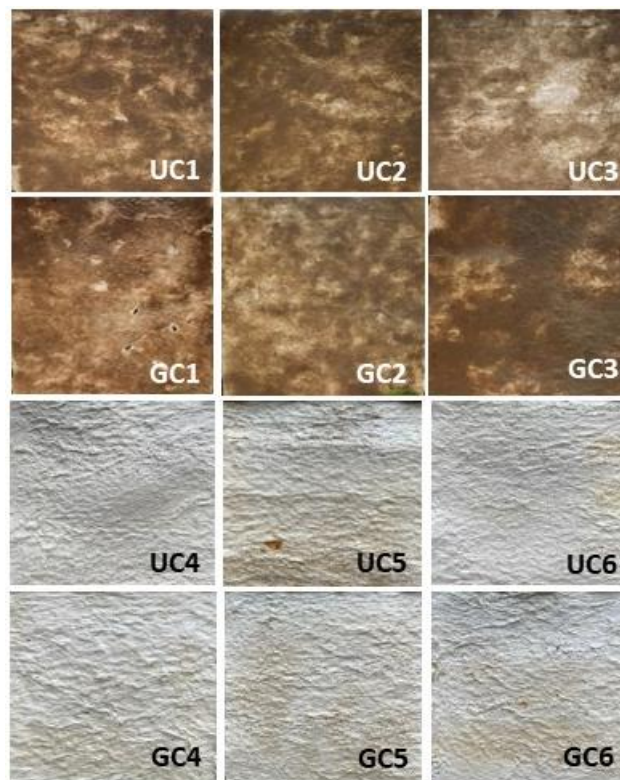


Figure 3 Appearance of different formulated sugarcane papers

3.3. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษที่ผ่านการคัดเลือก

3.3.1. ความทนน้ำ

จาก Figure 4 แสดงให้เห็นว่า กระดาษทุกสูตรที่ผ่านการคัดเลือกสามารถดูดซับน้ำได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 350 ซึ่งสูตรที่เคลือบผิวด้วยสารละลายกลูโคแมนแนน สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น

การเกิดพันธะระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และหมู่คาร์บอนิล (-CO) จำนวนมาก ทำให้สารละลายกลูโคแมนแนนมีความหนืดสูง ยึดเกาะส่วนผสมได้ดี และเกิดความเสถียรเมื่อสัมผัสกับน้ำ [18], [19] ด้วยสภาพเป็นเจลที่ไม่ละลายน้ำของกลูโคแมนแนน กระดาษที่ถูกเคลือบผิวจึงดูดซับน้ำได้มากขึ้น กระดาษไม่ขาดเมื่อแช่ในน้ำนาน 20 นาที และสามารถคงรูปไว้ได้เมื่อแห้งแล้ว อย่างไรก็ตาม ขณะที่กระดาษเปียก คุณสมบัติเชิงกลจะลดลง เนื่องจากโครงสร้างของเจลเกิดการเปลี่ยนแปลง การยึดเกาะกันของเส้นใยจึงลดลง ต้องรอจน

กระดาษแห้ง กระดาษจึงมีสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นอีกครั้ง [20] ซึ่งกระดาษที่ผสมเส้นใยใบอ้อย เส้นใยชานอ้อย และขุยกระดาษในอัตราส่วน 1:1:1 มีค่าการดูดซับน้ำมากที่สุดคือ ร้อยละ 500 และ 375 สำหรับสูตร GC4 และ UC4 ตามลำดับ

3.3.2. ผลการประเมินคุณภาพตามมาตรฐาน

มพข.41/2560

เมื่อนำกระดาษสูตรที่เติมขุยกระดาษมาตรวจพินิจพบว่า กระดาษทุกสูตรมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกัน คือ ไม่มีรอยทะเลหหรือฉีกขาด ไม่พบเชื้อรา มีความสะอาดในระดับดีมาก การเคลือบผิวมีความสม่ำเสมอ มีความชื้นร้อยละ 3.67-4.04 แสดงให้เห็นว่า ทุกสูตรผ่านเกณฑ์ลักษณะทั่วไปของกระดาษเส้นใยพืช ตามมาตรฐาน มพข.41/2560 ซึ่งสูตร GC5 มีความชื้นมากที่สุดคือ 4.04 รองลงมาคือ GC6, UC5, UC6, GC4 และ UC4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.01, 3.92, 3.78, 3.70 และ 3.67 ตามลำดับ

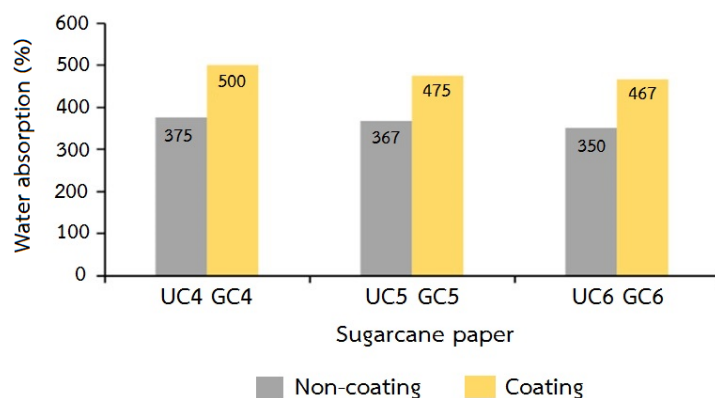


Figure 4 Water absorption of sugarcane papers

3.3.3. ผลการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษที่ผ่านการคัดเลือกทั้ง 6 สูตร เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอ้างอิงที่ไม่เติมขุยกระดาษ (UC1 และ GC1) แสดงใน Table 2

คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษ ประเมินจากน้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความเรียบ และความขาวสว่าง พบว่าการเติมขุยกระดาษและเคลือบผิวด้วยกลูโคแมนแนน ช่วยปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพของกระดาษได้ ยกเว้นค่าความเรียบของผิวกระดาษ เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษสูตรอ้างอิง (1:1) พบว่าการเติมขุยกระดาษและการเคลือบผิว ทำให้กระดาษมีน้ำหนักและความหนาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการเติม

ขุยกระดาษจะช่วยเพิ่มน้ำหนักและความหนาได้มากกว่าการเคลือบผิว เห็นได้จากน้ำหนักมาตรฐานและความหนาของสูตร UC4 เพิ่มขึ้นจากสูตร UC1 ร้อยละ 77.45 และ 89.01 ตามลำดับ หากเคลือบผิวเพียงอย่างเดียวโดยไม่เติมขุยกระดาษ สูตร GC1 มีน้ำหนักมาตรฐานและความหนาเพิ่มขึ้นจากสูตร UC1 ร้อยละ 28.09 และ 52.75 ตามลำดับ หากเป็นกระดาษสูตรที่เติมขุยกระดาษและเคลือบผิวร่วมด้วย จะให้น้ำหนักมาตรฐานและความหนาเพิ่มขึ้นร้อยละ 102.13 และ 118.68 ตามลำดับ โดยเฉลี่ยกระดาษที่มีการเติมขุยกระดาษแต่ไม่เคลือบผิว มีน้ำหนักมาตรฐานและความหนาตั้งแต่ 417-462 กรัมต่อตารางเมตร และ 1.72-2.03 มิลลิเมตร ตามลำดับ หากเป็นสูตรที่เติมขุย กระดาษและเคลือบผิวร่วมด้วย จะได้

กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานและความหนาตั้งแต่ 475-483 กรัมต่อตารางเมตร และ 1.99-2.11 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับค่าความเรียบที่เพิ่มขึ้นของกระดาษที่ผ่านการเคลือบผิว จากเดิมกระดาษที่ไม่เคลือบผิวมีค่าความเรียบ 2 วินาที เมื่อเคลือบแล้วกระดาษมีค่าความเรียบเพิ่มเป็น 3 วินาที แสดงว่า กลูโคแมนแนนช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของผิวหน้ากระดาษได้ ทั้งนี้การใช้เส้นใยใบอ้อยและเส้นใยชานอ้อยอัตราส่วนตั้งแต่

0.5-1.5 ไม่เกิดความแตกต่างของค่าความเรียบในสภาวะการเคลือบเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบความขาวสว่างของกระดาษ พบว่าการเติมขุยกระดาษจะเพิ่มความขาวสว่างให้กระดาษได้ มีค่าความสว่างร้อยละ 20.3-40.6 หากเคลือบผิวร่วมด้วย ยิ่งทำให้กระดาษขาวขึ้น มีค่าความสว่างร้อยละ 37.0-40.6 ขณะที่สูตรไม่เติมขุยกระดาษ ทั้งแบบไม่เคลือบผิว (UC1) และเคลือบผิว (GC1) มีความขาวสว่างร้อยละ 19.4 และ 22.5 ตามลำดับ

Table 2 Properties of sugarcane papers

	UC1	UC4	UC5	UC6	GC1	GC4	GC5	GC6
Physical properties								
Standard weight (g/m ²)	235	417	462	449	301	475	476	483
Thickness (mm)	0.91	1.72	1.97	2.03	1.39	1.99	2.11	2.03
Smoothness (s)	2	2	2	2	3	3	3	3
Brightness (%)	19.4	20.3	38.6	34.6	22.5	37.0	40.6	37.0
Mechanical properties								
Bursting strength (kPa)	107	146	113	125	112	281	173	227
Tensile strength (kN/m)	3.02	2.53	1.80	2.23	3.99	4.02	2.35	2.97
Tear resistance (mN)	712	2,434	1,974	3,319	2,432	4,001	2,792	4,411
Water drop absorption (s)	3.45	0.02	0.02	1.62	4.64	729	34.1	690

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติเชิงกลในภาพรวมพบว่า กระดาษจากเศษอ้อยที่มีการเติมขุยกระดาษและเคลือบผิวด้วย กลูโคแมนแนน มีคุณสมบัติเด่นด้านความต้านทานต่อแรงดัน ทะลุ และความต้านแรงฉีกขาด กระดาษสูตร GC4 มีคุณสมบัติเชิงกลดีที่สุด คือ มีค่าความต้านทานแรงดันทะลุเท่ากับ 281 กิโลปาสคาล ค่าความต้านแรงดึงเท่ากับ 4.02 กิโลนิวตันต่อเมตร มีค่าความต้านแรงฉีกขาดมากเป็นอันดับ 2 มีค่าเท่ากับ 4,001 มิลลินิวตัน ความแข็งแรงและความเหนียวของกระดาษที่เพิ่มขึ้น เป็นผลจากขุยกระดาษ ซึ่งผลิตจากเส้นใยพืชไม้เนื้ออ่อน ที่ให้เส้นใยยาว เหนียว และยืดหยุ่นดี เมื่อนำไปผสมรวมกับ เส้นใยเศษอ้อยที่มีขนาดเล็กแต่แข็งแรง [12] กระดาษจึงมี คุณสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น ยิ่งกว่านั้นเมื่อนำกระดาษไปเคลือบผิว ด้วยกลูโคแมนแนนที่เป็นเจลประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีความ ปลอตภัยต่อสิ่งแวดล้อม มีความหนืดสูง และสามารถดูดซับน้ำ ได้ 50-200 เท่า เยื่อกระดาษจึงยึดเกาะกันดียิ่งขึ้น ส่งผลให้ กระดาษทนน้ำดี [21] ค่าการดูดซึมน้ำแบบหยดน้ำของ GC4 จึงมีค่าสูงถึง 729 วินาที ในขณะที่กระดาษที่ไม่เคลือบผิวมีค่า การดูดซึมน้ำเพียง 0.02-1.62 วินาที เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล ของเซลลูโลสในเส้นใยของเศษอ้อยสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ

ได้ กระดาษจึงดูดซึมน้ำรวดเร็ว นับเป็นคุณสมบัติสำคัญสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงและสามารถ ทนทานต่อความชื้นจากสภาพแวดล้อม

จากคุณภาพกระดาษข้างต้น ผู้วิจัยพิจารณาเลือก กระดาษสูตร GC4 ที่มีคุณสมบัติเชิงกลในภาพรวมดีที่สุด มาใช้ เป็นวัตถุดิบสำหรับพัฒนาต้นแบบกล่องกระดาษในขั้นตอน ถัดไป เริ่มต้นจากการใช้กระดาษขนาด 25.5x36 เซนติเมตร

3.4. ต้นทุนการผลิตกระดาษสูตร GC4

ค่าใช้จ่ายที่ใช้คิดต้นทุนกระดาษสูตร GC4 แสดงไว้ใน Table 3 อ้างอิงจำนวนกระดาษทั้งหมดที่ผลิตในงานวิจัยนี้ จำนวน 123 แผ่น

ราคาจำหน่ายกระดาษชานอ้อยขนาดเดียวกับที่จำหน่าย ในตลาดออนไลน์ มีราคาแผ่นละ 30 บาท จากราคาต้นทุนการผลิตกระดาษจากเศษอ้อยของงานวิจัยนี้ ที่มีต้นทุน 17.87 บาทต่อแผ่น แม้ไม่รวมต้นทุนของค่าเศษอ้อย ค่าแรงงาน และ ค่าสาธารณูปโภค แต่เป็นไปได้ว่าสามารถกำหนดราคาจำหน่าย อ้างอิงตามราคาตลาดออนไลน์ได้ เนื่องจากการผลิตสินค้าในเชิงพาณิชย์มีต้นทุนต่ำกว่าการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ

Table 3 Cost of sugarcane paper production

Detail	Cost (baht)
Molded grille (120 baht/piece)	11.71
Sodium hydroxide (75 baht/kg)	1.22
Glucomannan (171 baht/kg)	4.17
Recycled A4 paper (11 baht/kg)	0.77
Sugarcane waste	-
Labor cost	-
Utility bill	-
Cost (baht/piece)	17.87

3.5. ผลการพัฒนาด้านแบบกล่องกระดาษรักษ์โลก

3.5.1. ผลการออกแบบและสร้างต้นแบบกล่องกระดาษ

เมื่อนำความต้องการของชุมชนที่ต้องการให้นำกระดาษมาทำผลิตภัณฑ์งานฝีมือประเภทของที่ระลึก และใช้กรอบแนวคิดสร้างกล่องรูปทรงเรขาคณิต มาออกแบบต้นแบบกล่องกระดาษจำนวน 4 ชิ้น โดยใช้กระดาษสูตร GC4 มาพัฒนาด้านแบบกล่องกระดาษ แต่ละแบบใช้กระดาษประมาณ 600 ตารางเซนติเมตร ได้ผลดังนี้

กล่องกระดาษแบบที่ 1 แบบร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด (กว้าง×ยาว) 5.5×22 เซนติเมตร เป็นกระดาษชั้นเดียว ที่ขึ้นรูปตามรอยประ ใช้หลักเรขาคณิตออกแบบให้เกิดเป็นรูปสามเหลี่ยม 8 ชิ้น ประกอบกันเป็นตัวกล่องสี่เหลี่ยมสลับมุม (Figure 5A) กล่องมีขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) ประมาณ 6×6×6 เซนติเมตร ออกแบบให้ใส่สิ่งของจากด้านบน การปิดฝาใช้วิธีเสียบลิ่มลงในตัวกล่อง (Figure 6A)

กล่องกระดาษแบบที่ 2 แบบร่างเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ยาวด้านละ 8 เซนติเมตร เป็นกระดาษชั้นเดียวที่ขึ้นรูปตามรอยประ (Figure 5B) เมื่อขึ้นรูปแล้วมองจากด้านข้าง จะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด (กว้าง×ยาว) 3.5×8 เซนติเมตร ออกแบบให้ใส่สิ่งของจากด้านบนและปิดฝาด้วยวิธีสอดขัด ซึ่งส่วนขัดถูกออกแบบให้มีลักษณะโค้งเป็นครึ่งวงกลม เพื่อให้สวยงามและจับได้ง่าย (Figure 6B)

กล่องกระดาษแบบที่ 3 แบบร่างเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู ฐานกล่องแคบ ขนาด (กว้าง×ยาว) ประมาณ 4×4.5 เซนติเมตร เป็นกระดาษชั้นเดียวที่ขึ้นรูปตามรอยประ (Figure 5C) เมื่อขึ้นรูปแล้วมองจากด้านข้าง จะเห็นเป็นสี่เหลี่ยม

คางหมูขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) 4.5×7×4 เซนติเมตร มีลื่นป้องกันสิ่งของหลุดออกจากกล่อง และปิดฝาด้วยวิธีสอดขัดที่มีลักษณะโค้งมนเป็นครึ่งวงกลม (Figure 6C)

กล่องกระดาษแบบที่ 4 แบบร่างของฐานเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 6.5×6.5 เซนติเมตร ประกอบขึ้นโครงสร้างกล่องด้วยสามเหลี่ยมหน้าจั่ว เป็นกระดาษชั้นเดียวที่ขึ้นรูปตามรอยประ (Figure 5D) เมื่อขึ้นรูปแล้วจะมีลักษณะเป็นกล่องทรงพีระมิดสามเหลี่ยมประกอบกัน 4 ด้าน ขนาด (ฐาน×สูง) 6.5×10 เซนติเมตร กล่องสามารถเปิดออกได้ทุกด้าน ด้านข้างมีลื่นป้องกันสิ่งของหลุดออกจากกล่อง ปิดกล่องด้วยการผูกเชือกมะลิลาที่ปลายยอดพีระมิด (Figure 6D)

3.5.2. ผลการคัดเลือกต้นแบบกล่องกระดาษ

ผู้ประเมินที่มีประสบการณ์ใช้บรรจุภัณฑ์จากกระดาษจำนวน 100 คน เป็นเพศหญิงร้อยละ 73 และเพศชายร้อยละ 27 ส่วนใหญ่อายุ 18-45 ปี คิดเป็นร้อยละ 66 รองลงมาคือ อายุ 46-60 ปี คิดเป็นร้อยละ 34 มีความพึงพอใจต่อแบบดังแสดงใน Table 4

จาก Table 4 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจต่อการออกแบบ (Product design) การใช้งาน (Product usage) และความคุ้มค่าสำหรับการผลิตเพื่อการจำหน่าย (Investment as a commercial product) ทั้ง 3 ด้านมีคะแนนเฉลี่ยรายด้านอยู่ในระดับมาก ซึ่งกล่องแบบที่ 4 มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือแบบที่ 2 แบบที่ 3 และแบบที่ 1 ด้วยคะแนน 4.24, 4.21, 4.17 และ 4.12 คะแนน ตามลำดับ ดังนั้นต้นแบบกล่องกระดาษที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน 3 แบบ คือ แบบที่ 4 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 แต่ละแบบมีความโดดเด่นของชิ้นงาน ดังนี้

Table 4 Satisfaction of paper box prototypes

Aspect of evaluation	Paper box prototype			
	1	2	3	4
Product design				
Suitable size	4.11	4.13	4.15	4.13
Beautiful appearance	4.13	4.54	4.07	4.39
Distinction & uniqueness	4.11	4.26	4.11	4.33
Creative & environmentally friendly	4.50	4.37	4.22	4.41
Space saving for storage and transportation	3.98	4.24	4.13	4.00
Product usage				
Volume capacity	3.91	3.89	3.96	4.00
Protection ability (items inside the box)	3.98	3.96	4.04	4.09
Convenient to use	3.65	3.70	4.02	3.76
Durability	3.98	4.02	4.04	4.22
Easy for storage	3.93	4.04	4.15	4.07
Investment as a commercial product				
Easy to remember	4.26	4.35	4.37	4.54
Reasonable production cost	4.26	4.48	4.28	4.43
Availability of raw materials	4.33	4.39	4.35	4.50
Worthwhile investment	4.30	4.33	4.37	4.33
Investable as a product manufacturer	4.33	4.39	4.35	4.35
Overall satisfaction	4.12	4.21	4.17	4.24

คะแนนเฉลี่ยด้านการออกแบบ พบว่ากล่องแบบที่ 2 ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด รองลงมาคือ แบบที่ 4 แบบที่ 1 และแบบที่ 3 ด้วยคะแนน 4.31, 4.25, 4.17 และ 4.13 คะแนน ตามลำดับ โดยมีบางประเด็นที่กล่องบางแบบได้รับความพึงพอใจระดับมากที่สุด ได้แก่ กล่องแบบที่ 1 มีความโดดเด่นในประเด็นความคิดสร้างสรรค์และความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่วนกล่องแบบที่ 2 มีความโดดเด่นในประเด็นความสวยงาม

คะแนนเฉลี่ยด้านการใช้งาน พบว่ากล่องแบบที่ 3 ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด ด้วยคะแนน 4.04 รองลงมาคือ แบบที่ 4 แบบที่ 2 และแบบที่ 1 ด้วยคะแนน 4.03, 3.92 และ 3.89 คะแนน ตามลำดับ

คะแนนเฉลี่ยด้านความคุ้มค่าสำหรับการผลิตเพื่อการจำหน่าย พบว่ากล่องแบบที่ 4 ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด รองลงมาคือ แบบที่ 2 แบบที่ 3 และแบบที่ 1 ด้วยคะแนน 4.43, 4.39, 4.34 และ 4.30 คะแนน ตามลำดับ ซึ่ง

กล่องแบบที่ 4 มีความโดดเด่นในประเด็นของการมีแบบที่จดจำง่าย และวัสดุผลิตหาได้ง่าย

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกซื้อของที่ระลึกของนักท่องเที่ยวคือ ความน่าสนใจในตัวสินค้า ความสวยงามของรูปแบบ และความทันสมัย รองลงมาคือ ประโยชน์ใช้สอย และความคุ้มค่าในการซื้อ [22], [23] โดยเฉพาะหากเป็นสินค้าที่เกี่ยวข้องกับความสวยงาม มักเป็นที่ต้องการในกลุ่มผู้ซื้อเพศหญิง ช่วงอายุ 18-28 ปี ซึ่งตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าจากความสวยงามและสมรรถนะ [24] ด้วยเหตุนี้กล่องกระดาษแบบที่ 4 ซึ่งมีความโดดเด่นด้านการออกแบบและด้านความคุ้มค่าสำหรับการผลิตเพื่อการจำหน่าย จึงเป็นแบบที่ผู้ประเมินให้คะแนนเฉลี่ยทั้ง 3 ด้านมากที่สุด โดยเฉพาะการออกแบบรูปทรงที่ประณีต และนำเชือกมะลิมาประยุกต์ใช้ เพื่อสร้างจุดเด่นให้กล่องถูกจดจำง่าย สามารถใช้เป็นกลยุทธ์การจำหน่ายผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกของชุมชนได้เช่นเดียวกับการนำเอกลักษณ์เชิงพื้นที่มาสร้างชิ้นงานฝีมือที่มีความประณีต [25]

จากแบบที่ผ่านการคัดเลือกไว้ทั้ง 3 แบบ เป็นแบบที่ได้รับความพึงพอใจประเด็นด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ การใช้งานบรรจุภัณฑ์ และความคุ้มค่าสำหรับการผลิตเพื่อการค้าจำหน่าย แสดงให้เห็นว่า กล้องกระดาษที่ถูกพัฒนานี้ สามารถแสดงบทบาทการเป็นผลิตภัณฑ์กลุ่มศิลปะประดิษฐ์ที่ดี มีหน้าที่เป็นไปตามหลักการของบรรจุภัณฑ์และด้านการตลาด คือ สามารถใช้งานได้จริง และมีความเป็นเอกลักษณ์ สะท้อนถึงการเป็นแหล่งปลูกอ้อยที่สำคัญของจังหวัดกาญจนบุรี และแสดงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

3.5.3. ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

ต้นแบบกล้องกระดาษถูกออกแบบให้มีความคุ้มค่าในการใช้กระดาษมากที่สุด โดยออกแบบเป็นกระดาษขึ้นเดียวที่มีทั้งตัวและฝากล่อง แต่ละแบบใช้กระดาษสูตร GC4 ประมาณ 600 ตารางเซนติเมตร คิดเป็นต้นทุนค่ากระดาษเท่ากับ 11.68 บาท ส่วนค่าแรงขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของแบบที่ต้องใช้เวลาต่างกัน ซึ่งกล่องแบบที่ 4 ใช้เวลานานที่สุดคือ 15 นาทีต่อชิ้น รองลงมาคือ แบบที่ 3 และแบบที่ 2 ด้วยระยะเวลา 12 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ เมื่อใช้อัตราค่าแรงงานฝีมือ (300 บาท/คน/วัน/8 ชั่วโมง) การผลิตกล้องกระดาษมีค่าแรงงานที่ไม่คิดค่าแผ่นกระดาษของกล่องกระดาษแบบที่ 4 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 คือ 9.38, 7.50 และ 6.25 บาทต่อชิ้น ตามลำดับ หรือมีต้นทุนโดยรวม (ค่ากระดาษและค่าแรงงาน) เท่ากับ 21.06, 19.18 และ 17.93 บาทตามลำดับ

4. บทสรุป

กล่องรูปทรงสามเหลี่ยมที่ปิดกล่องด้วยเชือกมะลิลา กล่องทรงสามเหลี่ยม และกล่องสี่เหลี่ยมที่ปิดฝากล่องด้วยการขัดฝา เป็นแบบที่ผ่านการคัดเลือก ขึ้นรูปด้วยการนำเส้นใยไผ่อ้อย เส้นใยขานอ้อย และขุยกระดาษที่ใช้แล้ว มาผสมกันด้วยอัตราส่วน 1:1:1 ได้กระดาษจากเศษอ้อย แล้วนำไปเคลือบผิวด้วยกาวโคแมนแนมความเข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 2 ครั้ง จะได้กระดาษสีน้ำตาลอ่อน ที่มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 41/2560 สามารถทนต่อน้ำ ด้านทานแรงดัน ทะลุ แรงดึง และแรงฉีกขาด ได้ ดังนั้นหากหน่วยงานภาครัฐหรือเอกชนผลักดันให้เกิดการนำกระดาษเศษอ้อย และกล่องกระดาษจากเศษอ้อยไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์อย่างเป็นรูปธรรม จะเป็นการเพิ่มรายได้ให้ชุมชน พร้อมกับการอนุรักษ์ต้นไม้ และลดมลพิษทางอากาศจากการเผาเศษวัสดุอ้อย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนวิจัยตามสัญญาเลขที่ วช.อ. (อ)(กบท1)/225/2564 บริษัทน้ำตาลท่ามะกา จำกัด และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่กรุณาให้ข้อมูล ตลอดจนคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ที่ให้การรับรองจริยธรรมในมนุษย์

6. References

- [1] Office of the Cane and Sugar Board. 2520. Report on Sugarcane Planting Situation, Production Year 2519/2520. <https://www.ocsb.go.th>. Accessed 3 July 2023. (in Thai)
- [2] Champa, L. 2022. Development of PM2.5 dust meter using dust sensor and notifying via application. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*. 24(2): 48-55. (in Thai)
- [3] Nonthakhot, P. 2022. Eco-efficiency in agroforestry system, Uttaradit province. *Journal of Economics and Management Strategy*. 9(2): 157-172. (in Thai)
- [4] Utaranakorn, P. and Kiatmanaroach, T. 2021. Key characteristics for sustainable sugarcane: A community enterprise in Khon Kaen Province, Thailand. *Kasetsart Journal of Social Sciences*. 42: 495-500. (in Thai)
- [5] Kanchanaudom, P., Asawaruangpipop, P. and Suwunnamek, O. 2019. Buying decision of bio-sugarcane food containers of food shop entrepreneurs in Bangkok. *Journal of Management Science*. 6(2): 369-388. (in Thai)
- [6] Rattanadilok, S. 2017. *Cellulose Made from Sugarcane Bagasse*. Bangkok: Thailand Textile Institute. (in Thai)
- [7] Lungnongkhun, P. 2017. *Development of Hand Spun Blended Yam from Sugarcane Leaf Fiber and Cotton Fiber*. M.Sc. Thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)

- [8] Chankaew, S., Seo, M. and Keawmang, K. 2019. Sugarcane yarn handicrafts for the production of home textile products. **Burapha Arts Journal**. 22(1): 52-64. (in Thai)
- [9] Chungsiriporn, J., Pongyeela, P. and Chairerk, N. 2022. Production of molded pulp packaging from rice straw and bagasse coating by chitosan. **Burapha Science Journal**. 27(1): 20-30. (in Thai)
- [10] Sirivarawuth, N. and et al. 2021. Study and comparison of thermal efficiency of briquettes fuel from biomass materials. **NKRAFA Journal of Science and Technology**. 17(2): 31-44. (in Thai)
- [11] Thai Civil Rights and Investigative Journalism. 2015. **The Paper Industry in the Digital Age**. <https://www.tcijthai.com/news/2015/12/watch/5288>. Accessed 7 July 2023. (in Thai)
- [12] Choomchit, J. and Jiwalak, N. 2021. **Utilization of Fiber from Skin and Shallot Tree to Produce Paper and Packaging**. Research Report, Chang Mai Rajabhat University. (in Thai)
- [13] The Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 2013. **Water Absorptiveness of Sized (Non-bibulous) Paper, Paperboard, and Corrugated Fiberboard (Cobb Test). (Proposed Revision of T 441 om-09)**. <https://www.tappi.org/content/tag/sarg/t441.pdf>. Accessed 7 July 2023.
- [14] Yurarach, S. 2022. Why Likert? **Journal of Innovation and Management**. 7(1): 152-165. (in Thai)
- [15] Jiratpong, W. and Songthanasak, K. 2011. Study of cellulose, hemicellulose and lignin from plant wastes for the production of bioplastic film. In: **Proceedings of the 21st International Conference on Chemical Engineering and Applied Chemistry of Thailand**, 10-11 November 2011. Hat Yai, Thailand. (in Thai)
- [16] Suriyapunpong, D. and et al. 2014. **Isolation and Characterization of Cellulose from Water Hyacinth, Sugarcane Bagasse, and Narrow Leaf Cattail**. https://ir.swu.ac.th/jspui/bitstream/123456789/2631/2/Dusadi_S_R378199.pdf. Accessed 7 July 2023. (in Thai)
- [17] Hajiha, H. and Sain, M. 2015. The use of sugarcane bagasse fibres as reinforcements in composites. In: Faruk, O. and Sain, M. (eds.) **Biofiber Reinforcements in Composite Materials**. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- [18] Aanisah, N. and et al. 2022. Review on modification of glucomannan as an excipient in solid dosage forms. **Polymers (Basel)**. 14(13): 2550.
- [19] Suwannarat, K. and Tanprasert, K. 2012. Improvement of water and grease resistance of paperboard using konjac glucomannan coating. In: **Proceedings of the 18th IAPRI World Packaging Conference**, 17-21 June 2012. San Luis Obispo, California.
- [20] Kongtud, W., Witayakran, S. and Tantatherdtam, R. 2016. Water resistance improvement of Saa paper by glucomannan. In: **Proceedings of the 54th Kasetsart University Annual Conference**, 2-5 February 2016. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- [21] Khongtad, W. 2016. **Water Resistant Craft Paper Products**. <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=28451>. Accessed 10 July 2023. (in Thai)
- [22] Akkarapannagoon, N. and Gulid, N. 2016. Factors affecting Thai tourists' buying behavior on products and souvenirs in Chachoengsao province. **Journal of the Graduate School of Management Studies Khon Kaen University**. 7(1): 48-66. (in Thai)
- [23] Kaewsritong, J., Inket, S. and Srihawantanakul, P. 2017. The development of natural material product and packaging for OTOP Phitsanulok. **Journal of Art and Architecture, Naresuan University**. 8(2): 163-173. (in Thai)

- [24] Lokniyom, P., Onsomkrit, I. and Somboontawee, K. 2015. The behavior and factor has influence for making the decision to purchase clothing design by designer Thai for teenager in Bangkok. **MBA-KKU Journal**. 8(1): 39-62. *(in Thai)*
- [25] Suwannachom, P. 2016. A study of indigenous identity; Thailand -Myanmar -Karen Ban Pu Namron Kanchanaburi for the design of the souvenirs. **Journal of Industrial Education**. 10(2): 92-105. *(in Thai)*