การผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากฟางข้าวและชานอ้อย โดยใช้ไคโตซานเคลือบผิว

Production of Molded Pulp Packaging from Rice Straw and Bagasse Coating by Chitosan

จันทิมา ชั่งสิริพร*, พฤกระยา พงศ์ยี่หล้า และ นิรณา ชัยฤกษ์

Juntima Chungsiriporn*, Prukraya Pongyeela and Nirana Chairerk

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Chemical Department, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

Received : 4 March 2021

Revised : 3 May 2021

Accepted : 7 May 2021

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพลาสติกได้ถูกนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ใส่อาหารกันโดยทั่วไป ซึ่งพลาสติกใช้เวลานานในการย่อยสลายและก่อให้เกิดปัญหากับทั้งด้านมลพิษและสุขภาพ คนจึงเริ่มหันมาให้ความสนใจใช้บรรจุภัณฑ์จากชีวมวลที่ย่อยสลายได้มากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยของวัสดุชีวมวล 2 ชนิด คือ ฟางข้าวและชานอ้อย โดยใช้สารเชื่อมประสานชนิดแป้งมัน โดยมีขั้นตอนการผลิต คือ การต้มวัสดุชีวมวลเพื่อปรับสภาพ การย่อยเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ล้างเส้นใย ปั่นย่อย ผสมสารเชื่อมประสาน ขึ้นแผ่นเส้นใย และทำการอบแห้ง จากนั้นนำแผ่นเส้นใยไปเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที ทำการศึกษาผลของปริมาณการใช้เส้นใยที่ 100, 200 และ 300 กรัม/ชิ้น ปริมาณสารเชื่อมประสาน 50, 100, และ 150 กรัม/ชิ้น ทำการเคลือบผิวแผ่นเส้นใยก่อนและหลังการขึ้นรูปด้วยไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 (โดยน้ำหนัก) ตรวจวัดผลการต้านทานแรงดึงและการซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ คือ ปริมาณเส้นใย 200 กรัม/ชิ้น และใช้สารเชื่อมประสาน 50 กรัม การเคลือบผิวบรรจุภัณฑ์ด้วยไคโตซานหลังการขึ้นรูปสามารถลดร้อยละการซึมได้ดีกว่าการเคลือบวัสดุก่อนการขึ้นรูป โดยผลการเคลือบผิวบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวและชานอ้อยทำให้มีค่าการซึมน้ำจะลดลงลงจากร้อยละ 27.06±0.58 และ 22.36±0.32 เป็น 4.26±0.37 และ 8.52±0.19 ตามลำดับ ซึ่งการผลิตบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวและชานอ้อยด้วยสภาวะที่เหมาะสมมีความต้านทานแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 15.8±0.54 และ 10.6±0.09 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ดังนั้นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้แทนพลาสติกสำหรับใส่อาหารทั้งแห้งและเปียกได้

คำสำคัญ : บรรจุภัณฑ์ ; ฟางข้าว ; ชานอ้อย ; ไคโตซาน ; สารเชื่อมประสาน

Abstract

Nowadays, plastics are commonly used as food packaging. Plastics take a long time to decompose, causing problems for both pollution and health. People are turning to interest in biodegradable biomass packaging. The objective of this research was to study the production of biomass fiber packaging. Two types of biomass materials were rice straw and bagasse with tapioca starch as binder. The production process was started by boiling the material for pretreatment and fiber digestion with sodium hydroxide. The treated fibers were washed, spun, mixed with a binder, made the fiber sheet, and dried. Then the sheets were put into an extruder at 170°C for 90 seconds. The effect of fiber content at 100, 200, and 300 g/piece were monitored with the binder content of 50, 100, and 150 g/piece. The coating with chitosan before and after package forming by extruder was studied using the concentration of 2% wt. chitosan. The tensile strength test and water absorption test of the prepared packaging were measured. The result showed that the optimum condition for the packaging preparation was the fiber content at 200 g/piece and binder content at 50 g/piece. The coating with chitosan after forming package can get more reduction in water absorption percentage. Coating the packaging from rice straw and bagasse have resulted in reducing the water absorption from 27.06±0.58% and 22.36±0.32% to 4.26±0.37% and 8.52±0.19%, respectively. The production of packaging from rice straw and bagasse at optimum conditions has a maximum tensile strength of 15.8±0.54 MPa and 10.6±0.09, respectively. Then the molded pulp packaging can be used to replace plastic for both wet and dry food.

Keywords : packaging ; rice straw ; bagasse ; chitosan ; binder

***Corresponding author. E-mail** : juntima.c@psu.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากการใช้บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกทำให้เกิดขยะที่ย่อยสลายยากในปริมาณมาก การนำพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) ย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหาร เช่น จานอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้ สำหรับวัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลากหลายชนิด ส่วนใหญ่จะมาจากพืช เช่น เซลลูโลส คอลลาเจน เคซีน แป้ง และโปรตีนจากถั่ว เป็นต้น สำหรับประเทศไทยพืชที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพ คือ แป้งจากข้าวโพดและมันสำปะหลัง แต่ผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติที่ผลิตจากแป้งราคาต้นทุนยังสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่นำออกมาขายมีราคาแพงกว่าผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์หลายเท่า การใช้วัสดุธรรมชาติ เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย และกาบกล้วย ซึ่งเป็นพืชที่มีเส้นใยเซลลูโลสสูงแทนการใช้แป้งจากพืช จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการผลิตบรรจุภัณฑ์ธรรมชาติที่ปลอดภัย ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีราคาต้นทุนต่ำ

ฟางข้าว (Rice straw) และชานอ้อย (Bagasse) เป็นวัสดุชีวภาพที่เหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรม โดยฟางข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวมีปริมาณสูงถึง 26.90 ล้านตัน (Department of Agricultural Extension, 2019) ส่วนชานอ้อยเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำตาล ในประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกอ้อยคิดเป็นร้อยละ 10 ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตอ้อยได้ถึง 39.80 ล้านตัน และให้ชานอ้อยออกมาถึง 11.90 ล้านตัน การจัดการกับวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งของเกษตรกรมีหลายวิธีแต่ส่วนใหญ่มักใช้วิธีการ “เผา” ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัญหาในการสร้างมลพิษที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองในอากาศ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ฟางข้าวและชานอ้อยประกอบด้วยเคมีอินทรีย์หลักๆ ได้แก่ เซลลูโลสประมาณร้อยละ 37 และร้อยละ 45 ตามลำดับ (Bourapa & Kullama, 2018) โดยเซลลูโลสจัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ประกอบอยู่ในพืชที่สามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ ซึ่งสามารถย่อยเส้นใยด้วยการต้มและเติมโซดาไฟลงไปในขณะต้ม โซดาไฟจะทำให้เกิดการย่อยเส้นใยที่ดีและเร็วขึ้น จะได้เส้นใยที่นิ่มที่สามารถนำมาขึ้นรูปได้ และอาจมีการใช้ตัวเชื่อมประสาน (Binder) จากธรรมชาติเช่น แป้งมันสำปะหลัง ในการเพิ่มความเหนียวและความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ (Phutthasukha & Chaowana, 2012)

บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากแผ่นเนื้อเยื่อวัสดุชีวมวลมักมีข้อบกพร่องในด้านการป้องกันการซึมผ่านของน้ำ เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นโครงข่ายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จึงมักมีการเคลือบด้วยวัสดุประเภทที่ทนต่อความชื้น เช่น สารเคลือบจากสตาร์การ์ด (Starguard FCS) อนุภาคนาโนของสารเทฟลอน (PTFE) และไคโตซาน (Chitosan) เป็นต้น ไคโตซาน เป็นโคพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (biodegradable) สามารถใช้เป็นสารเคลือบอาหารผักและผลไม้เพื่อให้คงความสด (Klinsoda, 2016) เป็นสารเติมแต่ง (additive) หรือผลิตในรูปฟิล์มที่รับประทานได้ (Edible film) สำหรับบรรจุอาหาร (Imsombut *et al*., 2014) โดยไคโตซานจะช่วยปกปิดช่องว่างระหว่างเส้นใย รวมทั้งแทรกเข้าไปในรูพรุนของแผ่นเนื้อเยื่อ อีกทั้งไคโตซานเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว ไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สารเคลือบไคโซซานสามารถป้องกันการซึมน้ำได้เป็นอย่างดี Kongtud *et al.* (2017) ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของกระดาษแก่นตะวันโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน พบว่าการเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานจะช่วยทำให้กระดาษ มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

ในการผลิตบรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ จะนำเส้นใยวัสดุที่ผ่านการต้มแล้วมาล้างน้ำสะอาด ปั่นและรีดน้ำออกจนหมด ขึ้นรูปเป็นแผ่น และอบแห้ง แผ่นวัสดุที่นำมาอัดจะต้องแห้งมีความชื้นต่ำกว่า 7% ดังนั้นการใช้เครื่องอบแห้งจึงเป็นสิ่งสำคัญในการอบเส้นใยแผ่นกระดาษ ในการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิในการอบให้เหมาะสม เครื่องอัดขึ้นรูปส่วนใหญ่จะใช้ระบบไฮโดรลิกในการให้แรงดันในการอัด ซึ่งจะให้แรงดันอยู่ในช่วง 4-100 ตัน เวลาในการอัด 60-90 วินาที การใช้อุณหภูมิ แรงดัน และระยะเวลาในการอัด ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเส้นใย (Tengrang, 2015) อุณหภูมิจะช่วยให้เส้นใยอ่อนตัวและปรับรูปทรงตามเบ้าได้ง่าย แรงอัดจะทำให้เส้นใยรวมกันเป็นหนึ่งเดียว และมีความหนาแน่นสามารถนำมาใช้งานได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตบรรจุภัณฑ์ใส่อาหารจากฟางข้าวและชานอ้อย โดยทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใย การผสมสารเชื่อมประสาน การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบไคโตซานต่อการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ ทำการทดสอบสมบัติทางเชิงกลและกายภาพ โดยการทดสอบแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน ASTM D638 และการซึมน้ำ (Water absorption) ตามมาตรฐาน ABNT NBR NM ISO 535,1999 ให้สามารถนำผลการศึกษาไปเพิ่มมูลค่าชีวมวลในท้องถิ่นสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ใส่อาหารได้ในระดับชุมชน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การปรับสภาพเส้นใย

ใช้ฟางข้าวจากเกษตรกร อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา และชานอ้อยที่ได้จากการรีดน้ำอ้อยจากอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ตัดวัสดุให้มีขนาดความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร นำไปต้มกับน้ำที่เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 99 ด้วยอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อวัสดุชีวมวล 1 : 5 (โดยน้ำหนัก) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (Mungkhetklang & Charoenlarp, 2020) เพื่อย่อยปรับสภาพให้เส้นใยอ่อนตัว จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการต้มมาล้างน้ำจนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากเส้นใยจนหมด ปั่นเส้นใยให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น และบีบรีดน้ำออกจนหมดด้วยผ้าขาวบาง นำไปชั่งน้ำหนัก โดยกำหนดให้ใช้น้ำหนักของวัสดุที่จะขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แต่ละชิ้นเป็น 100, 200 และ 300 กรัม (โดยน้ำหนักเปียก) เพื่อหาปริมาณของเส้นใยที่เหมาะสมในการขึ้นรูป

2. การเตรียมสารเชื่อมประสาน

เตรียมแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:4 (โดยน้ำหนัก) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ค่อยๆ กวนเป็นเวลา 20 นาที จนได้กาวแป้งสำหรับใช้เป็นสารเชื่อมประสานที่มีความใสและหนืด นำเส้นใยมาผสมกับสารเชื่อมประสานตามอัตราส่วน 1:0, 1:0.25, 1:0.5 และ 1:1 (โดยน้ำหนัก) ปั่นให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

3. การทำแผ่นเนื้อเยื่อ

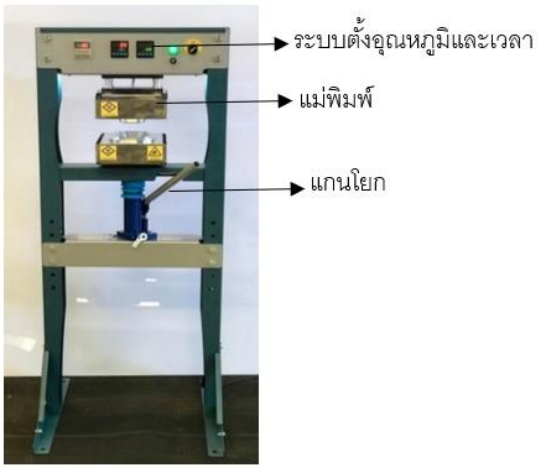
นำเส้นใยที่ได้จากการปรับสภาพและผสมสารเชื่อมประสานปริมาณ 200 กรัม ใส่ลงบนแผ่นตะแกรงที่ขึงด้วยกรอบไม้ขนาด 25×30 เซนติเมตร เกลี่ยเส้นใยให้ทั่วตะแกรงจนได้เป็นแผ่นเนื้อเยื่อที่มีผิวเรียบสม่ำเสมอ หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7 จะได้แผ่นเนื้อเยื่อกระดาษสำหรับการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์

4. การเคลือบผิวด้วยไคโตซาน

ละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 (โดยน้ำหนัก) ลงในตัวทำละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร จากนั้นปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำการเคลือบสารละลายไคโตซานด้วยแปรง ทาสารเคลือบปริมาณ 100 มิลลิลิตรต่อแผ่นเยื่อกระดาษก่อนและหลังการขึ้นรูป เพื่อลดการซึมของน้ำเข้าสู่บรรจุภัณฑ์ อันจะทำให้สามารถใช้ใส่อาหารเปียกได้

5. การอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์

ใช้เครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ ยี่ห้อ (KSM Agriculture Machine, BAMBOO I, Suphan Buri, Thailand) แสดงในภาพที่ 1 มีกำลังอัด 4 ตัน (ไฮโดรลิคแบบมือโยก) โดยเบ้าขนาด 5 × 8 นิ้ว โดยนำแผ่นเยื่อกระดาษขนาด 25*30 เซนติเมตร ที่ได้จากการทำแผ่นเนื้อเยื่อวางบนแม่พิมพ์ อัดที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที



ภาพที่ 1 เครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ

6. การทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์

6.1 การทดสอบแรงดึง โดยใช้มาตรฐาน ASTM D638 (Gooch, 2011) เตรียมชิ้นทดสอบให้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ โดยใช้ชิ้นงานทดสอบขนาด 19 × 115 × 4 มิลลิเมตร และความเร็วที่ใช้ทดสอบการดึง คือ 5 มิลลิเมตรต่อนาทีด้วยเครื่องดึง (Tensile machine) ที่สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

6.2 การทดสอบสมบัติการซึมน้ำของชิ้นงาน อ้างอิงตามมาตรฐาน ABNT NBR NM ISO 535,1999 (Suwanprateep, *et al.*, 2020) โดยตัดชิ้นงานขนาด 2.5 × 5.0 เซนติเมตร นำชิ้นงานไปแช่ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วินาที และคำนวณหาค่าร้อยละการซึมน้ำจากสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการซึมน้ำ} = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ M_1 = น้ำหนักก่อนการแช่น้ำ

M_2 = น้ำหนักหลังการแช่น้ำ

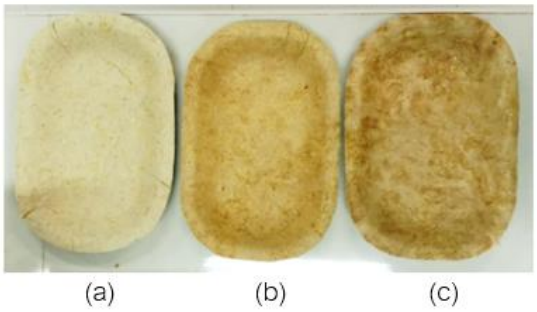
7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ครั้ง (n=3) และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±SD) และวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของข้อมูลโดยใช้ One-way Anova (Single factor) โดยใช้ Duncan multiple comparison tests ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (p<0.05)

ผลการวิจัย

1. ผลของปริมาณเส้นใยในการขึ้นรูป

ผลของปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษ โดยกำหนดปริมาณเส้นใยฟางข้าวที่ 100, 200 และ 300 กรัม และนำไปอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณเส้นใย (a) 100 กรัม (b) 200 กรัม และ (c) 300 กรัม

บรรจุภัณฑ์ผลิตจากเส้นใยของฟางข้าวที่ผ่านการขึ้นรูปที่ด้วยปริมาณเส้นใย 100 กรัม มีลักษณะพื้นผิวที่ไม่เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน มีรอยแตกร้าวหลังการขึ้นรูป น่าจะเกิดจากยึดตัวกันของเส้นใยฟางข้าวที่ยังมีปริมาณน้อยทำให้เกิดรอยแตกได้ ซึ่งต่างจากบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาณฟางข้าวเป็น 200 และ 300 กรัม มีพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ที่มีความเรียบเนียนและไม่มีรอยร้าว ทั้งนี้น่าจะเกิดจากเส้นใยฟางข้าวที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการอัดแน่นจนไม่เกิดการเคลื่อนตัว ไม่เกิดการแยกเฟสของเส้นใยฟางข้าว และมีสีที่เข้มขึ้น จากการทดลองได้เลือกปริมาณฟางข้าวที่ 200 กรัม เป็นสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากมีความเรียบเนียนและบรรจุภัณฑ์ไม่หนาจนเกินไป โดยมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเบากว่าบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาณฟางข้าว 300 กรัม จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์

2. ผลการผสมสารเชื่อมประสาน

การใช้สารเชื่อมประสานผสมกับเส้นใยทำเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากการทดลองหาปริมาณสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ ด้วยการใช้ปริมาณเส้นใย 200 กรัม และอัตราส่วนปริมาณเส้นใยต่อสารเชื่อมประสาน คือ 1:0, 1:0.25, 1:0.5 และ 1:1 (โดยน้ำหนัก) จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปจะได้บรรจุภัณฑ์จากวัสดุฟางข้าวและชานอ้อยดังแสดงในภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ตามลำดับ

ภาพที่ 3 ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนเส้นใยฟางข้าวต่อสารเชื่อมประสาน (a) 1:0, (b) 1:0.25, (c) 1:0.5 และ (d) 1:1

ภาพที่ 4 ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนเส้นใยชานอ้อยต่อสารเชื่อมประสาน (a) 1:0, (b) 1:0.25, (c) 1:0.5 และ (d) 1:1

จากการใส่สารเชื่อมประสานในเส้นใยฟางข้าวและชานอ้อย พบว่าอัตราส่วนปริมาณฟางข้าวต่อปริมาณสารเชื่อมประสาน 1: 0.25 เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากมีความมันวาวและมีความแข็งแรงกว่าอัตราส่วน 1:0 ที่ไม่ผสมแป้งมัน ไม่มีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นหลังการขึ้นรูปด้วยความร้อน และในการผสมสารเชื่อมประสานในเส้นใยชานอ้อยที่อัตราส่วน 1:0.25 และ 1:5 สามารถขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ได้โดยไม่มีรอยแตก แต่อัตราส่วนปริมาณฟางข้าวต่อปริมาณสารเชื่อมประสาน 1:0.5 และ 1:1 มีรอยร้าวเกิดขึ้น เช่นเดียวกับการใช้ชานอ้อยต่อสารเชื่อมประสานที่อัตราส่วน 1:1 เนื่องจากจากการใส่สารเชื่อมประสานปริมาณมากเกินไปทำให้เกิดเส้นใยมีความแข็งมากขึ้นและไม่มีความยืดหยุ่น ทำให้เมื่อนำไปขึ้นรูปจึงแตกได้ ทั้งนี้การเติมสารเชื่อมประสานทำให้บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรงขึ้น แต่การใช้ในปริมาณที่มากเกินไปย่อมเกิดความสิ้นเปลืองและบรรจุภัณฑ์แตกหักตอนขึ้นรูปได้

3. ผลการทดสอบแรงดึงของบรรจุภัณฑ์

ผลการทดสอบแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวและบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย พบว่าบรรจุภัณฑ์ฟางข้าวและชานอ้อยที่ไม่ผสมสารเชื่อมประสานมีแรงดึงน้อยที่สุดเท่ากับ 1.2±0.26 และ 4.4±0.21 เมกะปาสคาล ตามลำดับ แต่เมื่อผสมสารเชื่อมประสานตามปริมาณที่เหมาะสมทำให้ค่าแรงดึงเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 แสดงว่าสารเชื่อมประสานช่วยให้เส้นใยของฟางข้าวและชานอ้อยมีความแข็งแรงและมีแรงยึดเหนี่ยวของเส้นใยมากขึ้น เมื่อใช้ไคโตซานเคลือบผิวบรรจุภัณฑ์ พบว่า ค่าแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการเคลือบไคโตซานหลังการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ฟางข้าวและชานอ้อยมีค่าแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 15.8±0.54 และ 10.6±0.09 เมกะปาสคาล ตามลำดับ บรรจุภัณฑ์ฟางข้าวมีค่าร้อยละการยืดตัว

ณ จุดขาดสูงกว่าบรรจุภัณฑ์ชานอ้อย เท่ากับ 2±0.24 และ 0.8±0.08 ตามลำดับ แสดงว่าบรรจุภัณฑ์ฟางข้าวมีการยืดตัวสูงจึงแตกหักได้ยากกว่าบรรจุภัณฑ์ชานอ้อย ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (p<0.05) เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติที่สามารถปกปิดช่องว่างระหว่างเส้นใย รวมทั้งสามารถแทรกเข้าไปในรูพรุนของเนื้อบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวและชานอ้อยได้ ทำให้บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรงและมีแรงดึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ค่าแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดของบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวและชานอ้อย

ตัวอย่าง	วัสดุ (กรัม)	สารเชื่อมประสาน (กรัม)	เคลือบก่อนขึ้นรูป	เคลือบหลังขึ้นรูป	แรงดึง (เมกะปาสคาล)		การยืด ณ จุดขาด (ร้อยละ)	
					ฟางข้าว	ชานอ้อย	ฟางข้าว	ชานอ้อย
1	200	-	-	-	1.2±0.26^{c}	4.4±0.21^{b}	1±0.06^{b}	0.6±0.04^{c}
2	200	50	-	-	7.3±0.21^{b}	8.0±0.18^{a}	2±0.09^{a}	0.7±0.06^{b}
3	200	50	□	-	6.8±0.19^{b}	3.3±0.05^{c}	1±0.12^{b}	0.4±0.03^{d}
4	200	50	-	□	15.8±0.54^{a}	10.6±0.09^{a}	2±0.24^{a}	0.8±0.08^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4. ผลการทดสอบการซึมน้ำ

ผลการซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุฟางข้าวและชานอ้อย ที่ใช้ปริมาณเส้นใย 200 กรัม และสารเชื่อมประสาน 50 กรัม แสดงในตารางที่ 2 พบว่า บรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวและชานอ้อยที่เคลือบด้วยสารเคลือบไคโตซานหลังขึ้นรูป จะมีร้อยละการซึมน้ำ เท่ากับ 4.26±0.37 และ 8.52±0.19 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวและชานอ้อยที่ไม่เคลือบไคโตซานที่มีร้อยละการซึมน้ำ เท่ากับ 27.06±0.58 และ 22.36±0.32 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (p<0.05) แสดงว่าไคโตซานสามารถปกปิดช่องว่างระหว่างเส้นใยได้ รวมทั้งไคโตซานแทรกเข้าไปในรูพรุนของเนื้อกระดาษได้ดี อีกทั้งไคโตซานเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้วัสดุตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำที่ลดลง

ตารางที่ 2 ร้อยละการซึมน้ำต่อการเคลือบผิวด้วยไคโตซานของของบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวและชานอ้อย

สภาวะ	ค่าซึมน้ำ (ร้อยละ)	
	ฟางข้าว	ชานอ้อย
ไม่เคลือบ	27.06±0.58^{b}	22.36±0.32^{c}
เคลือบผิวก่อนขึ้นรูป	4.81±0.97^{a}	9.71±0.25^{b}
เคลือบผิวหลังขึ้นรูป	4.26±0.37^{a}	8.52±0.19^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าปริมาณเส้นใยในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจะต้องมีปริมาณที่เหมาะสม ไม่มากและไม่น้อยจนเกินไป จะทำให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่หนา ผิวเรียบเนียน และไม่มีรอยแตก โดยการผสมสารเชื่อมประสานพบว่า เมื่อปริมาณของสารเชื่อมประสานเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีการแตกของภาชนะขณะขึ้นรูป เนื่องด้วยสารเชื่อมประสานจะทำให้ความหนาแน่นของแผ่นกระดาษเพิ่มขึ้นส่งผลให้แผ่นกระดาษแข็งตัว เมื่อนำมาอัดขึ้นรูปจึงทำให้เกิดการแตกร้าว ซึ่งการใช้สารเชื่อมประสานกับเส้นใยตามปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้บรรจุภัณฑ์มีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้น (Yoksahachart *et al.*, 2012) เมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ใช้สารเชื่อมประสาน

โดยการใช้สารเชื่อมประสานและการเคลือบผิวด้วยไคโตซานจะทำให้บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น มีความมันวาว สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Wang & Jing, 2016) ศึกษาผลของสารเคลือบผิวไคโตซานต่อสมบัติของพื้นผิวและสมบัติการกั้นขวางของกระดาษเยื่อคราฟท์ พบว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบไคโตซานจะมีพื้นผิวเรียบกว่าพื้นผิวของกระดาษที่ไม่เคลือบสารเคลือบไคโตซาน แสดงว่าบรรจุภัณฑ์ฟางข้าวมีการยึดตัวสูงจึงแตกหักได้ยากกว่าบรรจุภัณฑ์ชานอ้อย เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติที่สามารถปกปิดช่องว่างระหว่างเส้นใย รวมทั้งสามารถแทรกเข้าไปในรูพรุนของเนื้อบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวและชานอ้อยได้ ทำให้บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรงและมีแรงดึงเพิ่มขึ้น

จากการเคลือบตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ด้วยไคโตซานทั้งก่อนและหลังการขึ้นรูป พบว่า การเคลือบหลังการขึ้นรูปมีร้อยละการซึมน้ำที่น้อยกว่าการเคลือบก่อนการขึ้นรูปเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากการเคลือบก่อนการขึ้นรูปทำให้ไคโตซานได้รับความร้อนและแรงอัดจากการขึ้นรูปทำให้โมเลกุลของไคโตซานเกิดการขยายตัวและยึดติดกันได้น้อยกว่าการนำไคโตซานมาเคลือบหลังการขึ้นรูป (Tumthongkhum *et al.*, 2019) จากค่าการซึมน้ำ แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวมีความทนทานในการใช้งานสูงกว่าบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย เนื่องจากมีค่าการซึมน้ำน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ชานอ้อย โดยสารเคลือบไคโตซานปิดผิวเยื่อกระดาษได้ทั่วถึง ทำให้โครงสร้างช่องว่างระหว่างเส้นใยและรูพรุนของกระดาษหลังจากเคลือบผิวด้วยไคโตซานมีปริมาณลดลงส่งผลลดการซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์ การผลิตบรรจุภัณฑ์จากวัสดุฟางข้าวจึงมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้วัสดุชานอ้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewklang & Phattanarudee (2009) ศึกษาผลของสารเคลือบจากไคโตซานและไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วยกรดซิตริกต่อสมบัติกระดาษ พบว่าการเคลือบผิวกระดาษด้วยสารเคลือบจากไคโตซานทำให้กระดาษมีความเงาเพิ่มขึ้น และสามารถปรับปรุงความพรุนของกระดาษ เมื่อมีการเชื่อมขวางไคโตซานด้วยกรดซิตริกทำให้การดูดซับน้ำมีค่าต่ำลง และกระดาษหลังเคลือบผิวมีความทนต่อแรงดึงใกล้เคียงกับกระดาษก่อนเคลือบผิว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chanthungorn & Tanprasert (2016) ศึกษาผลของการเคลือบกระดาษแข็งด้วยผงบุกและไคโตซานต่อคุณสมบัติการต้านทานน้ำและไขมัน พบว่าการเคลือบผิวกระดาษทำให้กระดาษมีคุณสมบัติดีขึ้น มีค่าต้านทานเชิงกล การต้านทานการยืด การต้านทานน้ำและไขมันดีขึ้นอย่างชัดเจน

สรุปผลการวิจัย

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต พบว่า ปริมาณเส้นใยและสารเชื่อมประสานที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป คือ 200 กรัม และ 50 กรัม ตามลำดับ โดยสารเชื่อมประสานจะทำหน้าที่เชื่อมประสานเส้นใยและเพิ่มความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ โดยบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษจากฟางข้าวและชานอ้อยที่ผสมสารเชื่อมประสานจะมีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษที่ไม่ผสมสารเชื่อมประสาน การใช้ไคโตซานในการเคลือบผิวบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษจากฟางข้าวและชานอ้อยสามารถลดการซึมน้ำลงได้ การเคลือบด้วยไคโตซานหลังการขึ้นรูปมีร้อยละการซึมน้ำที่น้อยกว่าการ

เคลือบก่อนการขึ้นรูป ซึ่งวัสดุฟางข้าวและชานอ้อยเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ธรรมชาติ โดยบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวมีความทนทานในการใช้งานสูง เนื่องจากมีค่าแรงดึงสูงและมีค่าการซึมน้ำน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ชานอ้อย วัสดุฟางข้าวจึงมีความเหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์มากกว่าวัสดุชานอ้อย ซึ่งบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้สำหรับใส่อาหารแห้งและเปียกได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่สนับสนุนสถานที่การทำวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Bourapa, R., & Kullama, P. (2018). Effect of Saccharomyces cerevisae on nutritive values and fermentation characteristics of rice straw. *Journal of Khon Kaen Agriculture*, *46* (5), 947-954. (in Thai)

Chanthungorn, N., & Tanprasert, K. (2016). Effect of coating with konjac glucomannan and chitosan blend on water and grease resistance of paperboard. *Journal of Science and technology*, *3*(1), 30-42. (in Thai)

Department of Agricultural Extension. (2019). The benefits of incorporation of rice stubble. In *Agricultural promotion newsletter*. Agricultural Extension Office, Thailand : Roi Et.

Gooch, J.W. (2011). ASTM D638. In: Gooch J.W. (eds), *Encyclopedic Dictionary of Polymers*. (pp. 829-1009). New York: Springer.

Imsombut, T., Tansupo, P., & Pholhan, D. (2014). Preparation and characterization of chitosan/silk sericin blend films for use as drug delivery. In *Research report*. (pp. 5-8), Thailand: Rajabhat Mahasarakham University.

Kaewklang, P., & Phattanarudee, S. (2009). Effects of Chitosan and Crosslinked Chitosan Coating with Citric Acid on Paper Properties. In *Proceeding the 12th National Graduate Research Conference*. (pp. 685-690), Thailand : Khon Kaen.

Klinsoda, J. (2016). Edible coating and film for vegetables and fruits. *Journal of Food*, *46*, 33-37.

Kongtud, W., Witayakran, S., Sundhrarajun, S., Sirisansaneeyakul, S., & Changlek, P. (2017). Mechanical property improvement of Jerusalem artichoke paper by coating with chitosan. In *Proceedings of the 50th Kasetsart University* Annual *Conference*. (pp. 406-412), Thailand: Bangkok.

Mungkhetklang, K., & Charoenlarp, K. (2020). Pretreatment of Pineapple Fibers from Mechanical Separation by Water and Chemicals. *UTK Research Journal*, *14*(2), 67-77. (in Thai)

Phutthasukha, R., & Chaowana, P. (2012). Effect of formaldehyde trapping agent on properties of urea-formaldehyde-based veneer. In *Proceeding the 4th Walailak Research Conference*. (pp. 125-132), Thailand : Nakhon Si Thammarat.

Suwanprateep, S., Hanwangmuang, A., & Phiriyayont, S. (2020). Production of rice starch packing foams blended with fiber cellulose from Water hyacinth. In *Research project report of Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi*. (pp. 36), Thailand : Phra Nakhon Si Ayutthaya. (in Thai)

Tumthongkhum, P., Buataengtansakul, N., Chollakup, R., Jarerat, A., Netramai, S., & Kongtud, W. (2019). Development of Paper from Oil Palm Empty Fruit Bunch and Mesocarp and Paper Mulberry Fibers with Chitosan Coating. *RMUTP Research Journal*, *13*, 37-9.

Tengrang, S. (2015). Packaging Technology Research and Development Project. In *Research report of Department of Agriculture*. (pp. 19-23), Thailand : Bangkok.

Wang, S., & Jing, Y. (2016). Effects of a chitosan coating layer on the surface properties and barrier properties of kraft paper. *Journal of BioResources, 11*, 1868-1881.

Yoksahachart, C., Namhong, T., & Yoksahachart, P. (2012). Utilization of Waxy Cornstalk Waste from Agricultural Materials for Environmental Friendly Package Production. In *Research report of Agricultural and Agro-Industry*, *Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.* (pp.4-30), Thailand: Phra Nakhon Si Ayutthaya. (in Thai)