

บทความวิจัย (Research Article)

## การพัฒนาระบวนการผลิตกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางกลร่วมกับวิธีทางชีวภาพ

ภักดี สิทธิฤทธิ์กวิน<sup>1,\*</sup>, ไพฑูรย์ ยศภาศ<sup>1</sup> และ ฤทธิชัย บุญทาศรี<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย

\*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: pakdee.me@gmail.com โทรศัพท์: 092-9963978

(รับบทความ: 21 มกราคม 2568; แก้ไขบทความ: 11 กุมภาพันธ์ 2568; ตอรับบทความ: 15 กุมภาพันธ์ 2568)

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตกระดาษจากฟางข้าวโดยใช้วิธีทางกลร่วมกับวิธีทางชีวภาพ และศึกษาคุณสมบัติกระดาษจากฟางข้าวที่ได้มาจากระบวนการผลิต โดยจะมีการเลือกฟางข้าวของต้นข้าวสองชนิดคือข้าวหอมมะลิ กข15 และข้าวเหนียวเขี้ยวงู มาทดสอบทำเยื่อกระดาษด้วยวิธีทางกล ได้แก่ การบดสับด้วยเครื่องจักร และการต้มในถังแรงควบคุมแรงดันที่มีการออกแบบและสร้างขึ้นมาให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยใช้อุณหภูมิในการต้ม 140 องศาเซลเซียส ความดัน 361 กิโลปาสกาล เพื่อลดเวลาและประหยัดเชื้อเพลิงในการต้มเยื่อกระดาษในส่วนวิธีทางชีวภาพจะนำฟางข้าวมาหมักกับน้ำที่มีสารจุลินทรีย์ย่อยสลาย พด.2 จากนั้นนำเยื่อฟางที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นกระดาษและนำไปทดสอบหาคุณสมบัติ หลังการทดสอบพบว่า ฟางข้าวจากข้าวหอมมะลิ กข15 สามารถนำไปผลิตเป็นกระดาษจากฟางได้ดีกว่า เนื่องจากให้ปริมาณเยื่อกระดาษได้มากกว่า เมื่อนำฟางข้าวไปผ่านขั้นตอนทางกลและนำไปแช่ในน้ำที่มีเชื้อจุลินทรีย์ พด.2. เป็นเวลา 30 วัน จะสามารถนำไปต้มในถังควบคุมแรงดันเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถลดเวลาการต้มเยื่อฟางได้ดีกว่าวิธีการผลิตด้วยสารโซดาไฟจึงทำให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่า โดยที่ความยาวของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่เหมาะสมจะใช้ที่ขนาด 33.4 มิลลิเมตร น้ำหนักเยื่อกระดาษ 45 กรัม ความหนากระดาษ 0.33 มิลลิเมตร และใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวปรับปรุงคุณภาพกระดาษจะทำให้ความต้านทานแรงดึงของกระดาษมากที่สุด 142.1 นิวตัน มีดัชนีต้านทานแรงดึง 58.42 นิวตันเมตรต่อกรัม เพิ่มมากขึ้นแต่การชับน้ำลดลงเหลือร้อยละ 75.58 ซึ่งมีคุณสมบัติเพียงพอต่อการนำไปพัฒนาอัดขึ้นรูปไปเป็นบรรจุภัณฑ์ใส่อาหารได้

**คำสำคัญ:** กระดาษ ฟางข้าว วิธีทางกล ชีวภาพ

การอ้างอิงบทความ: ภักดี สิทธิฤทธิ์กวิน, ไพฑูรย์ ยศภาศ และ ฤทธิชัย บุญทาศรี, "การพัฒนาระบวนการผลิตกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางกลร่วมกับวิธีทางชีวภาพ," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 1-15, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

## Development of Paper Production Process from Rice Straw by Mechanical and Biological Methods

Pakdee Sittiritkawin<sup>1,\*</sup>, Paitoon Yotkat<sup>1</sup> and Ritthichai Boontasri<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Rai College

\* Corresponding Author: pakdee.me@gmail.com, Tel: 092-9963978

(Received: January 21, 2025; Revised: February 11, 2025; Accepted: February 13, 2025)

### Abstract

The objective of this research is to study the production process of paper from rice straw using mechanical methods combined with biological methods and to study the properties of paper from rice straw obtained from the production process. Rice straw from two types of rice, namely, jasmine rice RD15 and glutinous rice Khieo Ngu, will be selected to test the production of paper pulp by mechanical methods, namely, grinding by machine and boiling in a pressure vessel designed to be suitable for the application using a boiling temperature of 140 °C and a pressure of 361 kPa to reduce boiling time and save fuel. For the biological method, rice straw will be fermented with water containing microorganisms that decompose PD2. Then, the obtained straw pulp will be molded into paper and tested for properties. After testing, it was found that rice straw from jasmine rice RD15 can be used to produce paper from straw better because it gives more pulp. When the rice straw goes through the mechanical process and is soaked in water containing microorganisms PD2 for 30 days, it can be boiled in a pressure-controlled tank for 30 minutes. This method can reduce the boiling time of the straw pulp better than the production method using caustic soda, so it saves more energy. Where the length of rice straw pulp fibers is suitable to use at 33.4 mm, pulp weight 45 g, paper thickness 0.33 mm and using rice flour as a paper quality modifier, the maximum tensile strength of the paper is 142.1 N, with a tensile strength index of 58.42 N.m/g, increasing but water absorption is reduced to 75.58%, which has sufficient properties to be developed for compression molding into food packaging.

**Keywords:** Paper, Rice straw, Mechanical method, Biological

Please cite this article as: P. Sittiritkawin, P. Yotkat and R. Boontasri, "Development of Paper Production Process from Rice Straw by Mechanical and Biological Methods," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 1, pp. 1-15, 2025.

## บทความวิจัย (Research Article)

### 1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 65 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งประเทศ ได้ผลผลิตข้าว 24 ล้านตัน มีฟางข้าวเฉลี่ยประมาณปีละ 25.45 ล้านตัน [1] ซึ่งฟางข้าวเหล่านี้ส่วนใหญ่เกษตรกรจะนำไปใช้ในกิจกรรมทางเกษตรอย่างเช่น เพาะเห็ดฟาง ปุ๋ยหมัก ฯลฯ และก็มีเกษตรกรบางส่วนนำฟางมาอัดก้อนในราคาขาย 28 - 35 บาทต่อก้อน แต่ถ้าสามารถแปรรูปฟางเหล่านั้นได้จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้นไปอีก เช่น การแปรรูปฟางข้าวให้เป็นกระดาษและนำไปทำเป็นภาชนะใส่อาหารที่ปลอดภัยให้กับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการความปลอดภัยจากสารเคมี เป็นอีกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าฟางให้สูงขึ้น

จากการศึกษาข้อมูลพบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากวัสดุธรรมชาติ เพื่อสนองการเติบโตของภาคธุรกิจอาหารและเครื่องดื่มในปัจจุบันซึ่งมีการใช้บรรจุภัณฑ์เป็นปริมาณมาก ทั้งนี้มาตรฐานสำคัญสูงสุดของบรรจุภัณฑ์อาหารได้แก่ ความปลอดภัยต่อสุขภาพและวัสดุที่สัมผัสอาหารโดยตรงจะต้องปราศจากสารอันตราย ที่อาจปนเปื้อนลงไปในอาหาร แต่กระบวนการผลิตภาชนะจากกระดาษฟางข้าวในกลุ่มเกษตรกรที่นิยมทำกันโดยส่วนใหญ่จะต้องใช้สารเคมีร่วมด้วย เช่น โซดาไฟ และสารฟอกขาว ซึ่งทำให้กระดาษฟางเหล่านั้นมีโอกาสปนเปื้อนสารเคมีไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและยุ่งยากในการกำจัดสารเคมีรวมไปถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ก็มีกรวิจัยที่พยายามลดการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตกระดาษอย่างเช่น ชัยพร และคณะ (2550) [2] มีการพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าวแบบพื้นบ้านและหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีให้น้อยที่สุด

สำหรับต้มฟางข้าวด้วยสารโซดาไฟ ในการพัฒนากระดาษฟางข้าวที่ทำด้วยมือด้วยใช้สารที่ความเข้มข้น 15% ของน้ำหนักฟางข้าวแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้เยื่อ 44.12% มีคุณสมบัติทางเชิงกลน้ำหนักมาตรฐาน 104.12 กรัม/ตารางเมตร ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) ความต้านแรงดึง 15.80 นิวตัน/เมตร/กรัม ( $\text{N.m}/\text{g}$ ) ความต้านแรงฉีกขาด 26.58  $\text{N.m}/\text{g}$  และความต้านการซึมน้ำ 63.48 % และ ชนา กานต์ แยมภูิกา และคณะ (2565) [3] มีการศึกษาของอิทธิพลของน้ำหนักชีวภาพต่อการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของฟางข้าว โดยศึกษาชนิดของน้ำหนักชีวภาพ ได้แก่ 1) น้ำหนักปลา 2) น้ำหนักสับปะรด และ 3) สารเร่งซูเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าชนิดและความเข้มข้นของน้ำหนักเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของฟางข้าวและสารละลายหลังการหมัก

การศึกษการผลิตกระดาษจากฟางข้าวโดยไม่ใช้สารเคมีเพื่อนำกระดาษไปผลิตเป็นภาชนะใส่อาหารจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ โดยพบว่าในการผลิตกระดาษฟางข้าวที่ไม่ใช้สารเคมีซึ่งสามารถใช้วิธีทางกลได้เช่นกันได้แก่ การต้ม บดสับ การปั่นละเอียดเพื่อให้ได้เยื่อกระดาษฟาง ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้วิธีทางความร้อนที่สูงกว่าระดับปกติที่ใช้กันอยู่ในการต้มเยื่อกระดาษอย่างเช่น อุดมเดชา พลเยี่ยม และ นิภาพร ปัญญา (2563) [4] ศึกษาพัฒนากระดาษและผลิตภัณท์กระดาษจากเศษของป่านศรนารายณ์โดยใช้อุณหภูมิ  $200^{\circ}\text{C}$  ระยะเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมงร่วมกับสารโซดาไฟ ( $\text{NaOH}$ ) เข้มข้น 2% และ 4% โดยปริมาตร นอกจากนั้นยังมีการใช้วิธีทางชีวภาพ

## บทความวิจัย (Research Article)

นำมาช่วยในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ เช่น ฟินิจ กานต์ อารีวงศ์ และ วรณิชา นาคแกมทอง (2555) [5] ศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับกรรมวิธีโซดาไฟและการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวด้วยกรรมวิธีโซดาไฟทั้ง 2 วิธีใช้ระยะเวลาในการหมัก 20, 30 และ 40 วัน พบว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับกรรมวิธีโซดาไฟมีความต้านทานแรงฉีกขาดได้ดี และยังพบงานวิจัยที่มีการศึกษาการใช้วิธีทางชีวภาพ เช่น การใช้เชื้อราช่วยในการย่อยลิกนิน (Lignin) ในเส้นใยของพืชในงานศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากชานอ้อยใบสับปะรดและปอสาโดยวิธีทางชีวภาพ [6] การใช้เชื้อราย่อยลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าโดยวิธีทางชีวภาพ [7] และการกำจัดลิกนินโดยวิธีทางชีวภาพออกจากฟางข้าวเพื่อพัฒนาการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวโดยเชื้อราไวท์ร็อท [8]

ในส่วนของการปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับกระดาษอย่างเช่น L. Nortoualee (2564) [9] มีการเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอม ข้าวโพดงาม 3 และข้าวถิ่นแก้ว ใช้อุณหภูมิ 90 – 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อนำไปผสมกับแป้งมันและแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุก พบว่ากระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุก 5 % จะได้กระดาษที่มีความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด

จากข้อมูลงานวิจัยที่กล่าวทั้งหมดทำให้ทราบว่า การใช้วิธีการผลิตเยื่อกระดาษด้วยการต้มที่ความดันปกติอุณหภูมิ 100 °C จะใช้เวลานานและต้องใส่โซดาไฟในขณะต้ม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการทำ

กระดาษด้วยทางชีวภาพจะมีข้อดีในแง่ความปลอดภัย ไม่มีการใช้สารเคมีและต้มภายใต้แรงดันที่สูงกว่าปกติ และการบดสับ ร่วมกับวิธีทางชีวภาพในการผลิตกระดาษจึงเป็นทางเลือกที่ช่วยลดเวลาในการผลิตกระดาษรวมถึงการไม่ใช้สารโซดาไฟ และศึกษาคูณสมบัติกระดาษที่ผลิตจากฟางข้าวและการปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษด้วยการใช้แป้งมันและแป้งข้าวเจ้า

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 ขอบเขตงานวิจัย

1) ศึกษาขั้นตอนการผลิตกระดาษจากฟางข้าว ฟางจากต้นข้าวหอมมะลิ กข15 และฟางจากต้นข้าวเหนียวเขียว โดยใช้วิธีทางกล ได้แก่ การใช้ความร้อนด้วยการต้มภายใต้หม้อควบคุมแรงดันและการสับละเอียด

2) ออกแบบถังต้มแรงดันที่เหมาะสมกับการใช้งานโดยเลือกวัสดุที่เป็นสแตนเลส

3) การใช้วิธีทางชีวภาพคือ ใช้สารเร่งซูเปอร์พด. 2 ที่ขยายเชื้อ

4) ศึกษาคุณสมบัติกระดาษ ได้แก่ การดูดซับน้ำและความต้านทานแรงดึง

5) ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษด้วยการใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว

### 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 อัตราการนำความร้อนของถังต้มดังสมการที่ (1)

$$Q_{cond} = -kA \frac{dt}{dx} \quad (1)$$

บทความวิจัย (Research Article)

เมื่อ  $Q_{cond}$  คือ อัตราการนำความร้อนของถังต้ม  
หน่วยวัตต์ (W)

$k$  คือ ค่านำความร้อนของวัสดุเหล็กกล้า  
ไร้สนิมมีค่า 14.4 วัตต์ต่อเมตร-องศาเคลวิน (W/m.K)

$A$  คือ พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน  
หน่วยตารางเมตร ( $m^2$ )

$\frac{dt}{dx}$  คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อระยะ  
การเคลื่อนที่ของความร้อน

2.2.2 อัตราการพาความร้อนของถังต้มดังสมการที่ (2)

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_f) \quad (2)$$

เมื่อ  $Q_{conv}$  คือ อัตราการพาความร้อนของถังต้ม  
หน่วยวัตต์ (W)

$h$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน  
ซึ่งเกิดขึ้นกับของไหล หน่วยวัตต์ต่อ  
ตารางเมตร-องศาเคลวิน ( $W/m^2.K$ )

$T_s - T_f$  คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิใน  
กระบวนการพาความร้อนระหว่าง  
ผิวของถังกับของไหล  
หน่วยองศาเคลวิน (K)

2.2.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ในการถ่ายเทความร้อนที่มีการถ่ายเทความร้อน  
เกิดขึ้นที่การนำและการพา การคำนวณจะต้องหา  
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนโดยรวมเอา  
ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนทั้งการนำและการ  
พาเข้าด้วยกันสมการที่ (3) ดังนี้

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}\right)} \quad (3)$$

เมื่อ  $U$  คือ สัมประสิทธิ์รวมการถ่ายเทความร้อน  
หน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเคลวิน  
( $W/m^2.K$ )

2.2.4 พลังงานความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำ

ในการคำนวณหาพลังงานความร้อนสำหรับต้มน้ำ  
ให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับความจุความร้อน  
จำเพาะ มวลของของเหลวและความแตกต่างของ  
อุณหภูมิของของเหลว ขณะเริ่มต้มนจนถึงจุดที่ต้องการ  
แสดงดังสมการที่ (4) ดังนี้

$$Q = mc_p \Delta t \quad (4)$$

เมื่อ  $Q$  คือ พลังงานความร้อนที่ใช้  
หน่วยกิโลจูล (kJ)

$m$  คือ มวลของของเหลว หน่วยกิโลกรัม (kg)

$C_p$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะ หน่วยกิโล  
จูลต่อกิโลกรัม-องศาเคลวิน ( $kJ/kg.K$ )

$\Delta t$  คือ ความแตกต่างอุณหภูมิขณะที่เริ่มต้น  
จนถึงจุดสุดท้าย หน่วยองศาเคลวิน (K)

2.2.5 ความต้านทานต่อแรงดึงในสภาวะแห้ง

ตัดกระดาดขนาด 1.5 เซนติเมตร (cm) x 14  
เซนติเมตร (cm) จำนวน 5 ชิ้น เพื่อใช้สำหรับวัดค่า  
ความต้านทานต่อแรงดึงด้วยเครื่อง universal  
testing machine โดยใช้ load cell ขนาด 500 นิว-  
ตัน (N) ความละเอียด  $\pm 0.1$  N มาวัดความต้านแรง  
ดึงด้วยเครื่องวัดความต้านแรงดึงมีระยะห่างระหว่าง

## บทความวิจัย (Research Article)

ตัวหนีบเท่ากับ 100 มิลลิเมตร (mm) จะวัดได้จำนวน 5 ค่า เมื่อผลรวมหารด้วย 5 จะเป็นค่าความต้านแรงดึงของแผ่นเยื่อกลุ่มนี้แล้วนำไปคำนวณดัชนีความต้านแรงดึงมีหน่วยนิวตันเมตร/กรัม (N.m/g)

### 2.2.6 การดูดซึมน้ำของกระดาษ

ทำโดยเตรียมชิ้นกระดาษตัวอย่างขนาด 10 cm x 10 cm บันทึกค่าน้ำหนักแห้งก่อนแช่น้ำแช่ขึ้นตัวอย่างในน้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 2 นาที แล้วผึ่งให้เสด็จน้ำเป็นระยะเวลา 45 วินาที บันทึกค่าน้ำหนักขณะเปียกหลังแช่น้ำ จากนั้นเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ แล้วนำไปคำนวณค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเพื่อใช้ในการคำนวณค่าการดูดซึมน้ำ (% water absorption และ water absorption) ของกระดาษตามสมการที่ (5) โดยค่าที่รายงานเป็นค่าเฉลี่ยจาก 3 ตัวอย่าง

$$\% \text{ water absorption} = \frac{M_i - M_o}{M_i} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{water absorption} = \frac{M_i - M_o}{A} \quad (6)$$

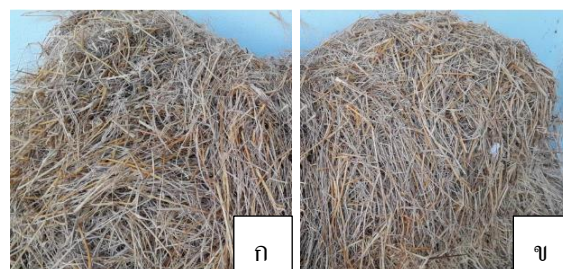
เมื่อ  $M_i$  คือ น้ำหนักเปียกหลังแช่น้ำ  
 $M_o$  คือ น้ำหนักแห้งก่อนแช่น้ำ  
 $A$  คือ พื้นที่ของแผ่นกระดาษ

### 2.3 ขั้นตอนการทดลอง

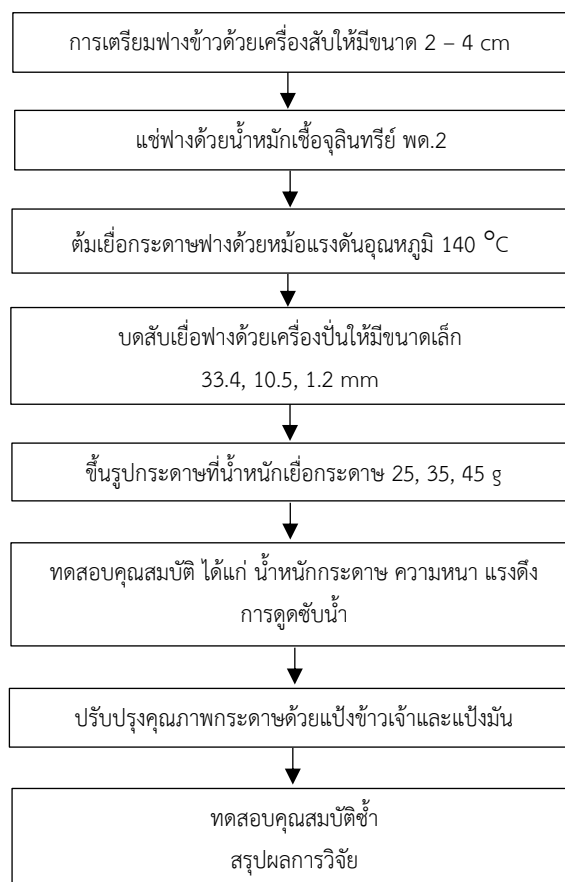
1) ออกแบบหม้อต้มแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยคำนวณหาความหนาของหม้อต้มจากค่าความเค้นที่เกิดจากแรงดันภายในหม้อต้ม และดำเนินการสร้างหม้อต้มแรงดันวัสดุสแตนเลสเพื่อใช้ในขบวนการต้มเยื่อกระดาษ

2) การเตรียมฟางด้วยเครื่องสับย่อยเอนกประสงค์ นำฟางข้าวจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ฟาง

ข้าวหอมมะลิ กข. และ ข้าวเหนียวเขี้ยวงู แสดงดังรูปที่ 1 และใช้เครื่องสับฟางเอนกประสงค์ให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 2 – 4 cm



รูปที่ 1 ฟางข้าวจากแปลงเกษตรอินทรีย์ : ก.ฟางข้าวหอมมะลิ กข15 ข.ฟางข้าวเหนียวเขี้ยวงู



รูปที่ 2 แผนภาพกระบวนการทดลอง

## บทความวิจัย (Research Article)

3) การเตรียมฟางด้วยวิธีทางชีวภาพด้วยน้ำหมักชีวภาพกำจัดต่อซึ่งข้าว โดยใช้สารเร่งซูเปอร์ พด. 2 ที่ขยายเชื้อ (Microbial activators PD2; M) ใช้ความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพ เจือจาง 10 เท่า และใช้อัตราส่วนฟางข้าวต่อน้ำหมักชีวภาพ 1 กิโลกรัม : 10 ลิตร (กก./ล.) และ นำน้ำหมักชีวภาพ สารเร่งซูเปอร์ พด.2 ที่ขยายเชื้อ ผลิตโดยการหมักสารเร่งซูเปอร์ พด.2 ร่วมกับกากน้ำตาล [10] หลังจากนั้นนำน้ำหมักชีวภาพที่ได้มากรองเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง แช่ในฟางข้าวเป็นเวลา 30 วัน

4) การต้มฟางเพื่อผลิตเป็นเยื่อกระดาษฟาง เป็นการนำฟางที่ผ่านการแช่ด้วยจุลินทรีย์มาแล้วเป็นเวลา 30 วันจนฟางมีความอ่อนนุ่ม จากนั้นนำมาต้มด้วยแก๊ส LPG ในถังต้มแรงดันที่ได้ออกแบบในตอนต้นเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ฟางจำนวน 3 kg ต่อการต้มหนึ่งครั้ง โดยการใช้หม้อควบคุมแรงดันใช้อุณหภูมิ  $140^{\circ}\text{C}$

5) บดฟางด้วยเครื่องบดเอนกประสงค์ บดสับละเอียด ขนาดกำลัง 800 W ความเร็วรอบ 3 ระดับ โดยที่ระดับ 1 ความเร็วรอบ 15,000 รอบต่อนาที (rpm) จะได้ฟางที่มีขนาดความยาว 33.4 mm ระดับ 2 ความเร็วรอบ 20,000 rpm จะได้ฟางที่มีขนาดความยาว 10.5 mm ระดับที่ 3 ความเร็วรอบ 25,000 rpm จะได้ฟางที่มีขนาดความยาว 1.2 mm

6) ขึ้นรูปกระดาษในการทดสอบหาวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษจากฟางข้าว จะใช้เฟรมขนาด  $20 \times 30$  cm โดยมีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ ใช้ความยาวของเยื่อฟาง 3 ระดับได้แก่ 33.4, 10.5, 1.2 mm และ น้ำหนักเยื่อกระดาษ 25, 35, 45 g

7) การใช้แป้งเพื่อปรับปรุงกระดาษให้มีความแข็งแรงในครั้งนี้อยู่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าโดยการนำแป้งทั้ง 2 ชนิดผสมน้ำแล้วต้มสุกที่มี

ความเข้มข้นของแป้ง 6 % ผสมลงไปนึ่งในขั้นตอนขึ้นรูปกระดาษด้วยเฟรมด้วยกระดาษ จากนั้นนำกระดาษที่ปรับปรุงด้วยแป้งทั้ง 2 ชนิด นำกระดาษไปทดสอบคุณสมบัติกระดาษเพื่อหาว่าแป้งชนิดใดจะมีความเหมาะสมมากกว่า

## 3. ผลการวิจัย

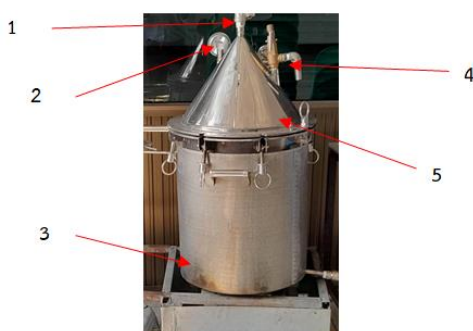
### 3.1 การออกแบบหม้อต้มแรงดัน

จากการคำนวณออกแบบหม้อต้มทำให้ได้ถังต้มเยื่อกระดาษแสดงดังรูปที่ 3 โดยการเลือกใช้วัสดุเป็นสแตนเลสความหนาของผนังที่ 6 mm เนื่องจากในการขึ้นรูปมีการเชื่อมประกอบและเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm มีความสูง 80 cm มีอัตราการนำความร้อนของถังต้มเท่ากับ  $90.2 \text{ kW}$  ในส่วนการพาความร้อนของถังต้มเท่ากับ  $85.1 \text{ kW}$  ค่าสัมประสิทธิ์รวมการถ่ายเทความร้อนจากถังหนา 6 mm อุณหภูมิสูงสุด  $180^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม  $30^{\circ}\text{C}$  ความสามารถในการนำความร้อนของสแตนเลส (k)  $14.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านใน ( $h_1$ )  $2,400 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านนอก ( $h_2$ )  $81.2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมได้จากสมการที่ (3)  $76.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  พลังงานความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำเมื่อคิดจากปริมาตรถึง 282 ลิตร แต่การต้มน้ำจะใช้น้ำสำหรับต้มเยื่อกระดาษเพียงครั้งของปริมาตรถังต้ม ดังนั้นน้ำที่ใช้ต้มจะมีเพียง 113 ลิตรหรือ 113 kg

จากสมบัติของน้ำเมื่อนำไปคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ต้องการจากสมการที่ (4) โดยกำหนดเวลา

#### บทความวิจัย (Research Article)

ที่จะใช้ในการต้มน้ำต้องไม่เกิน 2 ชั่วโมง ได้พลังงานความร้อน 5,821 W จะเลือกใช้เตาแบบฝัง 2 หัว Lucky Flame รุ่น LGS-992 นิวตกรรมหัวเตารุ่นใหม่ เปลวไฟ 3 วง ออกแบบมาเพื่อให้ไฟแรงสูงสุดถึง 6,000 W จะทำให้ใช้เวลาในการต้มเยื่อกระดาษประมาณ 2 ชั่วโมง และเมื่อนำหม้อต้มไปทดสอบการใช้งานด้วยการต้มเยื่อฟางด้วยอุณหภูมิ 140°C จะใช้เวลาในการต้ม 30 นาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรต้มแบบเดิมที่ไม่ควบคุมแรงดันจะใช้เวลาในการต้มนานกว่า 3 – 4 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอุดมเดช พลเยี่ยม และ นิภาพร ปัญญา (2563) [4] ที่ศึกษาพัฒนากระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษจากเศษของป่านศรนารายณ์โดยใช้สารละลายโซดาไฟทำการต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 200°C ใช้ระยะเวลา 2 – 6 ชั่วโมง



**รูปที่ 3** หม้อต้มแรงดันสำหรับต้มเยื่อกระดาษจากฟางข้าวประกอบด้วย 1.เทอร์โมคัปเปิล 2.เกจวัดแรงดัน 3.ถังต้ม 4.วาล์วลดแรงดัน 5.ฝาถังความดัน

### 3.2 การทดสอบการทำเยื่อกระดาษฟางข้าว

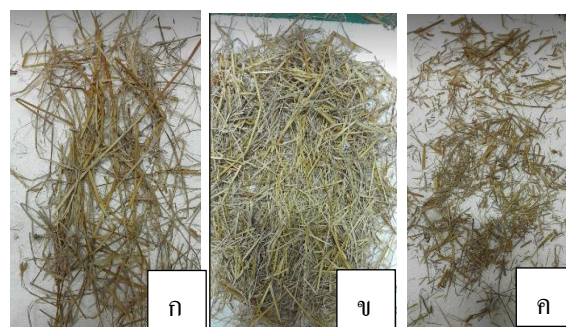
1) การศึกษาชนิดของฟางข้าวที่เหมาะสมต่อการผลิตเยื่อกระดาษ

เมื่อนำฟางทั้ง 2 ชนิดได้แก่ ฟางข้าวหอมมะลิ กข 15 และฟางข้าวเหนียวเขียว มาสับย่อยด้วยเครื่อง

สับเอนกประสงค์ให้มีขนาดความยาวประมาณ 7 – 9 cm แล้วนำไปหมักในน้ำที่มีจุลินทรีย์ พด.2 เป็นเวลา 30 วัน และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าฟางข้าวหอมมะลิ กข ให้ผลผลิตของเยื่อมากที่สุดในการต้มเยื่อเมื่อทำการเปรียบเทียบจากฟางข้าวทั้ง 2 ชนิด โดยพบว่าที่ฟางข้าวหอมมะลิ กข ให้ผลผลิตเยื่อมากที่สุด 31.55 % ในขณะที่ฟางข้าวเหนียวเขียวให้ผลผลิต 25.42 % ดังนั้นจึงเลือกฟางข้าวหอมมะลิ กข ใช้ในการทำเยื่อกระดาษจากฟางข้าวในลำดับถัดไป

#### 2) การเตรียมฟางข้าว

จากการเตรียมฟางข้าวก่อนนำไปหมักด้วยจุลินทรีย์ จะใช้เครื่องสับเอนกประสงค์ย่อยฟางข้าวให้มีขนาดเล็กลงโดยทำการสับย่อย 2 ครั้ง จะได้ฟางมีความยาว 10 – 15 cm แสดงดังรูปที่ 4 ข ในครั้งแรกจากนั้นนำไปย่อยให้ละเอียดอีกครั้งให้มีความยาว 3 – 6 cm. แสดงดังรูปที่ 4 ค

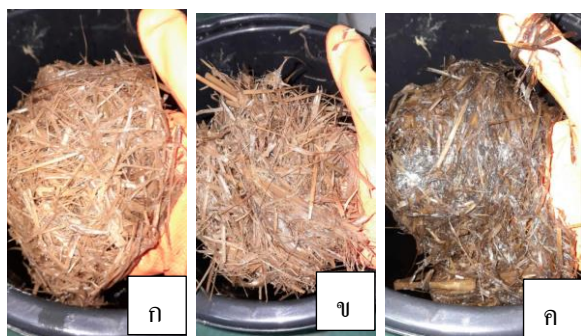


**รูปที่ 4** ฟางข้าวที่ผ่านการสับย่อยด้วยเครื่องจักร : ก. ฟางก่อนสับ ข. ฟางสับยาว 10 – 15 cm. วัน และ ค. ฟางสับยาว 3 – 6 cm.

การใช้จุลินทรีย์โดยเลือกสารเร่งซูเปอร์ พด.2 [11] ขนาด 100 กรัม ที่ขยายเชื้อผลิตโดยร่วมกับ

#### บทความวิจัย (Research Article)

กากน้ำตาล นำไปหมักกับฟางข้าวที่ผ่านการสับย่อย แล้วด้วยอัตราส่วนน้ำหมัก 200 ลิตรต่อฟางข้าว 4 kg ทำการหมักเป็นเวลา 30 วัน ดังรูปที่ 5 ก – ค



**รูปที่ 5** ฟางข้าวที่ผ่านการหมักด้วยน้ำหมัก พด.2  
: ก. ฟางหมัก 10 วัน ข. ฟางหมัก 20 วัน  
และ ค. ฟางหมัก 30 วัน

หลังจากการหมักพบว่าฟางข้าวมีลักษณะอ่อนนุ่ม ดังรูปที่ 5 ค มีลักษณะของเส้นใยแยกออกจากกัน อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ กลุ่มต่างๆ ที่พบในน้ำหมัก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์สาร เช่น *Bacillus* sp. *Aspergillus* sp. และ *Lactobacillus* sp. จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ในการผลิตเอนไซม์บางชนิดออกมาช่วยย่อยสลายฟางข้าว เช่น เอนไซม์เซลลูเลสทำหน้าที่ย่อยสลายเซลลูโลส เอนไซม์โปรติเอสทำหน้าที่ย่อยโปรตีน และเอนไซม์ฟอสฟาเทสทำหน้าที่ปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้เป็นประโยชน์ต่อพืชเป็นต้น [12] สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิณารัตน์ มุรธาภิรัตน์และสมชาย โชคตระการ (2553) [13] ที่พบว่าหลังจากกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพจากปลาทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสเพิ่มขึ้น และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายฟางข้าว

มากตามไปด้วย และการศึกษาของ นวลจันทร์ ชบา (2557) [14] ที่ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายฟางข้าว โดยการใช้ น้ำหมักชีวภาพ พบว่าการใช้น้ำหมักปลาทำให้มีปริมาณแบคทีเรียและแอคติโนมัยซีทย่อยสลายเซลลูโลสเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมักและส่งผลต่อการย่อยสลายฟางข้าว นอกจากนี้ อมรรัตน์ ชุมทอง และภัทรพร รักดีฉนวน (2562) [15] ได้ทำการทดลองหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพที่มีเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* spp. เป็นเวลา 28 วัน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายฟางข้าวอยู่ในช่วง 37.27-39.30%



**รูปที่ 6** ฟางที่ผ่านการต้มเยื่อและผ่านการล้างเยื่อด้วยถังต้ม

หลังจากการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 วัน แล้วนำไปต้มในน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 30 นาที ก็จะได้เยื่อฟางดังรูปที่ 6 แสดงฟางที่ผ่านการต้มเยื่อและผ่านการล้างเยื่อด้วยถังขนาด 200 ลิตรและจากการนำเยื่อฟางที่ผ่านการต้มแล้วมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดให้เยื่อฟางมีขนาดความยาว 3 ขนาด ได้แก่ขนาด 33.4, 10.5 และ 1.2 mm แสดง

#### บทความวิจัย (Research Article)

ดังรูปที่ 7 แล้วจึงนำเยื่อฟางไปขึ้นรูปเป็นกระดาษเพื่อทำการทดสอบต่อไป

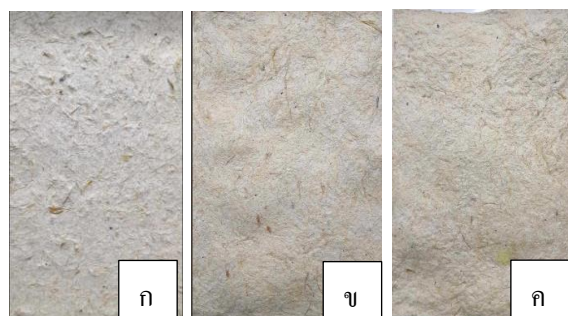


**รูปที่ 7** เยื่อฟางที่ผ่านการบดละเอียด: ก. เยื่อฟาง  
ขนาด 33.4 mm ข. เยื่อฟางขนาด 10.5 mm  
และ ค. เยื่อฟางขนาด 1.2 mm

### 3.3 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระดาษจากฟางข้าวเจ้า

จากการนำเยื่อฟางทั้ง 3 ขนาดมาขึ้นรูปกระดาษด้วยเฟรมขนาด 20 x 30 cm. แล้วนำไปตากแห้งเป็นเวลา 2 วันทำให้ได้กระดาษจากฟางข้าวแสดงดังรูปที่ 8 ก-ค ขนาดเยื่อฟาง 33.4, 10.5 และ 1.2 mm ตามลำดับ โดยพบว่ากระดาษจากเยื่อฟางขนาด 33.4 mm เนื้อกระดาษจะเห็นเส้นใยฟางข้าวอย่างชัดเจน

แต่กระดาษที่มีเนื้อละเอียดเนียนที่สุดจะเป็นขนาดเส้นใย 1.2 mm



**รูปที่ 8** กระดาษจากเยื่อกระดาษฟางข้าวที่ขนาด  
ต่างๆ ก่อนนำไปทดสอบ ก. เยื่อฟางขนาด 33.4 mm  
ข. เยื่อฟางขนาด 10.5 mm  
และ ค. เยื่อฟางขนาด 1.2 mm

จากการทดสอบแผ่นกระดาษขนาด 20 x 30 cm ที่ผลิตจากเยื่อกระดาษฟางข้าวโดยใช้เยื่อฟางที่มีขนาดความยาวของเส้นใยทั้ง 3 ขนาด และใช้น้ำหนักเยื่อกระดาษที่ 25, 35 และ 45 g ของเยื่อเปียกแล้วนำแผ่นกระดาษไปทดสอบคุณสมบัติกระดาษซึ่งได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

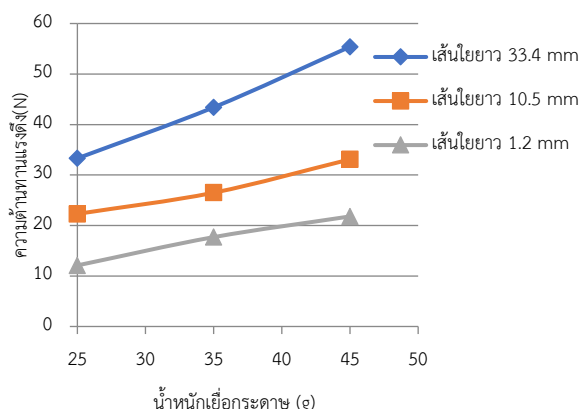
**ตารางที่ 1** คุณสมบัติกระดาษจากฟางข้าว

| ความยาว<br>ของเส้นใย<br>เยื่อกระดาษ<br>ฟางข้าว<br>(mm) | น้ำหนักเยื่อ<br>กระดาษ<br>(g) | ความหนา<br>(mm) | น้ำหนัก<br>มาตรฐาน<br>(g/m <sup>2</sup> ) | ความ<br>ต้านทานแรง<br>ดึง<br>(N) | ดัชนี<br>ต้านทานแรง<br>ดึง<br>(N.m/g) | การดูดซับ<br>น้ำ<br>(%) | ค่าการ<br>ดูดซึมน้ำ<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|
| 33.4                                                   | 25                            | 0.17            | 115.3                                     | 33.3                             | 14.52                                 | 84.11                   | 842.1                                      |
|                                                        | 35                            | 0.27            | 161.5                                     | 43.4                             | 17.69                                 | 85.89                   | 853.4                                      |
|                                                        | 45                            | 0.38            | 221.1                                     | 55.4                             | 19.33                                 | 87.73                   | 861.8                                      |

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติกระดาษจากฟางข้าว (ต่อ)

| ความยาว<br>ของเส้นใย<br>เยื่อกระดาษ<br>ฟางข้าว<br>(mm) | น้ำหนักเยื่อ<br>กระดาษ<br>(g) | ความหนา<br>(mm) | น้ำหนัก<br>มาตรฐาน<br>(g/m <sup>2</sup> ) | ความ<br>ต้านทานแรง<br>ดึง<br>(N) | ดัชนี<br>ต้านทานแรง<br>ดึง<br>(N.m/g) | การดูดซับ<br>น้ำ<br>(%) | ค่าการ<br>ดูดซึมน้ำ<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|
| 10.5                                                   | 25                            | 0.18            | 116.2                                     | 22.3                             | 8.15                                  | 83.01                   | 845.3                                      |
|                                                        | 35                            | 0.25            | 167.7                                     | 26.5                             | 10.57                                 | 85.11                   | 855.3                                      |
|                                                        | 45                            | 0.41            | 222.8                                     | 33.1                             | 12.18                                 | 86.87                   | 862.2                                      |
| 1.2                                                    | 25                            | 0.17            | 114.2                                     | 12.1                             | 4.54                                  | 82.74                   | 870.3                                      |
|                                                        | 35                            | 0.26            | 163.8                                     | 17.7                             | 6.95                                  | 84.21                   | 875.2                                      |
|                                                        | 45                            | 0.39            | 220.3                                     | 21.8                             | 8.11                                  | 85.98                   | 878.3                                      |



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของความยาวของเยื่อฟางข้าว น้ำหนักเยื่อฟาง และความต้านทานแรงดึง

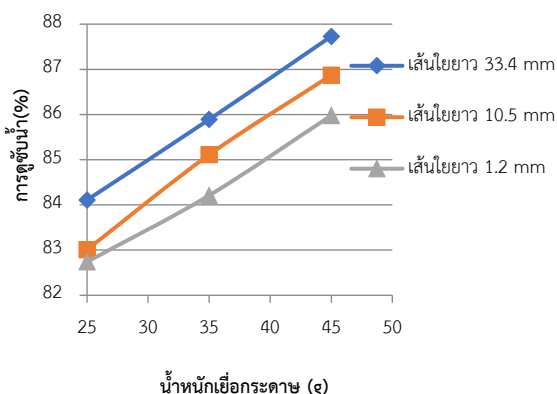
จากผลการทดสอบกระดาษจากฟางข้าวแสดงในตารางที่ 1 พบว่าความหนาของแผ่นกระดาษและน้ำหนักมาตรฐานมีความแตกต่างกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเยื่อเปียกที่ใช้ในการทำแผ่นกระดาษ โดยเฉพาะที่น้ำหนักเยื่อกระดาษ 45 g จะทำให้กระดาษมีความหนามากที่สุด ทุกขนาดความ

ยาวของเส้นและน้ำหนักมาตรฐานอยู่ระหว่าง 115.3 – 221.1 g/m<sup>2</sup> ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกระดาษชนิดผิวกล่องของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมที่ใช้สำหรับขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่าง 125 – 230 g/m<sup>2</sup> [16]

ในส่วนของความต้านทานแรงดึงของกระดาษจากการทดสอบตัวอย่างกระดาษพบว่า ที่ความยาวของเส้นใยเยื่อกระดาษฟางข้าวขนาด 33.4 mm และน้ำหนักเยื่อกระดาษ 45 g จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด และที่ค่าต้านทานแรงดึงน้อยสุดจะเกิดขึ้นที่เส้นใยขนาด 1.2 mm น้ำหนักเยื่อกระดาษที่ 25 g แสดงดังรูปที่ 9 เนื่องจากเส้นที่มีความยาวมากกว่าจะมีปริมาณเส้นใยและการซ้อนทับกันรวมไปถึงความยาวของเส้นที่ยาวกว่า จะเกิดแรงยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยได้มากกว่าเส้นใยสั้นรวมไปถึงปริมาณของเส้นใยเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลต่อคุณสมบัติกระดาษในด้านความต้านทานแรงดึงรวมไปถึงดัชนีต้านทานแรงดึงที่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณน้ำหนักเยื่อกระดาษ

#### บทความวิจัย (Research Article)

ด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระดาษที่มีความหนา 0.38 mm ทุกความยาวของเส้นใยจะทำให้ดัชนีต้านทานแรงดึงสูงสุด 19.33 N.m/g



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของความยาวของเยื่อฟางข้าว น้ำหนักเยื่อกระดาษ ค่าการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบด้านการดูดซึมน้ำของกระดาษพบว่าความยาวของเส้นใยเยื่อกระดาษฟางข้าวไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำของกระดาษ เมื่อพิจารณาที่ความยาวของเส้นใยเยื่อ 33.4 – 1.2 mm มีน้ำหนักเยื่อกระดาษเท่ากันทำให้ค่าการดูดซึมน้ำ 85.98 % ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณน้ำหนักเยื่อกระดาษหรือความหนากระดาษจะมีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำ ยกตัวอย่างเช่นที่ความหนา 0.17 mm ดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าที่ความหนา 0.38 mm แสดงดังรูปที่ 10 เนื่องจากเมื่อน้ำหนักเยื่อกระดาษหรือความหนาที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยมีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดอยู่ที่ 87.73 g/m<sup>2</sup> เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อต่อตารางเมตรมากขึ้นจะทำให้กระดาษมีความหนาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กระดาษมีปริมาตรในการรับน้ำได้มากสูงตามไปด้วยเช่นกัน

### 3.4 การทดสอบสมบัติกระดาษที่ปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

การปรับปรุงคุณสมบัติกระดาษดังตารางที่ 2 เพื่อให้กระดาษให้มีความแข็งแรงมากขึ้นโดยเลือกใช้เยื่อกระดาษ 35 กรัม กับแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้าต้มสุกที่มีความเข้มข้น 6 % ของน้ำหนักเยื่อเปียกต่อปริมาตร ผสมกับน้ำ 200 ลิตรสำหรับขึ้นรูปกระดาษแสดงดังรูปที่ 10 ก. แป้งข้าวเจ้า และ ข. แป้งมันสำปะหลัง กระดาษมีลักษณะพื้นผิวเรียบขึ้น และเมื่อนำกระดาษมาทดสอบพบว่าความหนาและน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่ผ่านการเติมแป้งมันเพิ่มเล็กน้อย ในส่วนของความต้านทานแรงดึงและดัชนีต้านทานแรงดึงเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 43.4 N เพิ่มเป็น 142.1 N และ จากเดิม 17.69 N.m/g เพิ่มไปเป็น 58.42 N.m/g ตามลำดับ



รูปที่ 11 กระดาษจากฟางข้าวที่ปรับปรุง :  
ก. แป้งข้าวเจ้า ข. แป้งมันสำปะหลัง

เนื่องจากการเติมแป้งเปียกลงไปในกระบวนการผลิตกระดาษ ตัวแป้งทำหน้าที่ช่วยให้เยื่อใยขนาดเล็กและอนุภาคจับตัวกันอยู่ในเนื้อเยื่อกระดาษ และยัง

#### บทความวิจัย (Research Article)

ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยกันเอง รวมทั้งเส้นใยกับอนุภาคได้ดีขึ้น กระดาษที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้น [17] แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชนิด

ด้านทานแรงดึงที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าแป้งข้าวเจ้าทำให้กระดาษด้านทานแรงดึงได้มากกว่า

**ตารางที่ 2** คุณสมบัติกระดาษที่ปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง

| แผ่นกระดาษ                     | ความหนา<br>(mm) | น้ำหนัก<br>(g/m <sup>2</sup> ) | ความต้านทาน<br>แรงดึง<br>(N) | ดัชนีด้านทาน<br>แรงดึง<br>(N.m/g) | การดูดซับน้ำ<br>(%) |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| กระดาษยังไม่ปรับปรุง           | 0.27            | 161.5                          | 43.4                         | 17.69                             | 85.89               |
| กระดาษปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้า | 0.33            | 164.2                          | 142.1                        | 58.42                             | 75.58               |
| กระดาษปรับปรุงด้วยแป้งมัน      | 0.32            | 164.8                          | 140.1                        | 55.32                             | 73.41               |

#### 4. สรุปผลการวิจัย

การผลิตกระดาษจากฟางข้าวพบว่าฟางข้าวจากข้าวหอมมะลิ กข15 สามารถนำไปผลิตเป็นกระดาษจากฟางได้ดีกว่าฟางข้าวจากข้าวเหนียวเขี้ยวงู เนื่องจากให้ปริมาณเยื่อกระดาษได้มากกว่า และในขั้นตอนทางกลโดยการบดสับละเอียดด้วยเครื่องสับอเนกประสงค์และนำไปแช่ในน้ำที่มีเชื้อจุลินทรีย์ พด.2 เป็นเวลา 30 วัน ก็จะสามารถนำไปต้มด้วยแก๊ส LPG ด้วยหม้อต้มแรงดันสามารถลดเวลาในการต้มเยื่อฟางให้ลดลงได้เหลือเวลา 30 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการต้มด้วยสารโซดาไฟจึงทำให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่าและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่ใช้สารโซดาไฟช่วยในการต้มจึงไม่สารตกค้างเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและความยาวของเส้นใยเยื่อฟางข้าวที่เหมาะสมจะใช้ที่ขนาด 33.4 mm น้ำหนักเยื่อกระดาษ 45 g ความหนากระดาษ 0.33 mm และใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวปรับปรุงคุณภาพกระดาษจะทำให้ความต้านทานแรงดึงของกระดาษมากที่สุด 142.1 N มีดัชนีด้านทานแรงดึง 58.42 N.m/g และลดการซับน้ำลง

เหลือ 75.58 % และเพื่อพิจารณาจากน้ำหนักกระดาษต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร จะทำให้กระดาษมีความหนามากที่สุดทุกขนาดความยาวของเส้นใยและน้ำหนักมาตรฐานอยู่ระหว่าง 115.3 – 221.1 g/m<sup>2</sup> ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกระดาษชนิดผิวกล่องของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมที่ใช้สำหรับขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่าง 125 – 230 g/m<sup>2</sup> ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาอัดขึ้นรูปไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหารได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาคุณสมบัติกระดาษเบื้องต้นทำให้ทราบว่ากระดาษที่ผลิตจากฟางข้าวด้วยวิธีข้างต้นสามารถนำไปพัฒนาต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์ภาชนะใส่อาหารที่ปลอดภัยได้แต่ยังไม่ได้ทดสอบการนำไปใช้งานขึ้นรูปเป็นภาชนะใส่อาหารซึ่งยังต้องทดสอบการใช้งานจริงในการวิจัยครั้งต่อไป

#### บทความวิจัย (Research Article)

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเครือข่ายวิจัยภาคเหนือตอนบน  
ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มุลนิธิเกษตรกรรมสิ่งแวดล้อม (ประเทศไทย), "ข้าว", [ออนไลน์]. Available: <http://www.aecth.org/upload/13823/Yg2qaxoQyg.pdf>. [เข้าถึงเมื่อ: 2 ธันวาคม 2566].
- [2] ชัยพร สามพุ่มพวง, รังสิณี ไสธวิทย์, วุฒินันท์ คงทัด และ วารณิ ธนะแพสย์, "การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าวแบบพื้นบ้าน," ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550, หน้า 332-337.
- [3] ชนากานต์ แยมภูิกา, ผานิตย์ นาขยัน, สาวิกา กอนแสง, ภาวิณี อารีศรีสม และ วิณา นิลวงศ์, "อิทธิพลของน้ำหมักชีวภาพต่อการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของฟางข้าว," วารสารแก่นเกษตร, ปีที่ 50, ฉบับที่ 6, หน้า 1797-1807, 2565.
- [4] อุดมเดชา พลเยี่ยม และ นิภาพร ปัญญา, "การพัฒนากระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษจากเศษของป่านศรนารายณ์ของชุมชนหุบกระพง จังหวัดเพชรบุรี เพื่อส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน," รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ, 2563.
- [5] พินิจกานต์ อาริวงษ์ และ วรณิษา นาคแกมทอง, "การผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับกรรมวิธีโซดาไฟ," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาชีววิทยา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555.
- [6] กัลยวัต พรสุรัตน์, "การใช้ราย่อยลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากขานอ้อยใบสับประดและปอสา โดยวิธีทางชีวภาพ," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- [7] กรกนก กอวงศ์, นริศรา ศรีเมฆ และ อภิญญา แจกภู, "การใช้ราย่อยลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าโดยวิธีทางชีวภาพ," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554.
- [8] จารุกร สุวรรณเมือง, "การกำจัดลิกนินโดยวิธีทางชีวภาพออกจากฟางข้าวเพื่อพัฒนาการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าวโดยเชื้อราไวท์รอต," รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2547.
- [9] L. Nortoualee, "การเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2564.
- [10] สำนักนิเทศและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน, "การขยายเชื้อผลิตโดยร่วมกับกากน้ำตาล," กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ, 2550.
- [11] กรมพัฒนาที่ดิน, "การใช้จุลินทรีย์โดยเลือกสารเร่งซูปเปอร์ พด.2," กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ, 2558.

### บทความวิจัย (Research Article)

- [12] โสฬส แซ่ลิ้ม, "ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย," รายงานผลการวิจัย, กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ, 2559.
- [13] วีณารัตน์ มุรรัตน์, สมชาย โชคตระการ และ อัญชลี จาละ, "ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาที่ใช้กากสาเหล้มทดแทนกากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้," ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2553, หน้า 82-88.
- [14] นवलจันทร์ ขบา, "ศึกษาการใช้ น้ำหมักชีวภาพ และจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายตอซังข้าว การปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์และการปลูกข้าวสุพรรณบุรี 1 ในชุดดินเดิมบาง," กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ, 2557.
- [15] อมรัตน์ ชุมทอง และ ภัทรพร ภักดีฉนวน, "ผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการย่อยสลายฟางข้าวและการเจริญเติบโตของข้าวพื้นเมืองพันธุ์วังรี," วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, หน้า 82-90, 2562.
- [16] กระทรวงอุตสาหกรรม, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 170-2550 กระดาษเหนียว," ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3688, พ.ศ. 2550, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2550.
- [17] นพมาส เี่ยมสวัสดี้, "ผลของการฉาบน้ำหมักชีวภาพของสารละลายแป้งต่อคุณสมบัติของผิวกระดาษ," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร