วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 5 กันยายน – ตุลาคม 2569
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 4 No. 5 September – October 2026

บทความวิจัย (Research Article)

การพัฒนาเครื่องอัดเม็ดฟางข้าวแบบบูรณาการด้วยเทคนิคบ้านแห่งคุณภาพและการวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงชีวมวล

ศรินยา ประทีปชนะชัย[1], ณัฐภัทร กาญจนเรืองรอง[1], สุทธิดา การะเวก[2] และ จตุพล พิสิฏฐ์ศักดิ์[2,*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: jatuphon@techno.rru.ac.th, โทรศัพท์: 086-8418870
(รับบทความ: 11 พฤษภาคม 2569; แก้ไขบทความ: 22 กรกฎาคม 2569; ตอบรับบทความ: 23 กรกฎาคม 2569)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอัดเม็ดฟางข้าวแบบบูรณาการด้วยเทคนิคบ้านแห่งคุณภาพและการวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าว โดยรวบรวมข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งานจำนวน 5 คน เพื่อจัดทำบ้านแห่งคุณภาพ และแปลงความต้องการดังกล่าวเป็นคุณลักษณะทางวิศวกรรมสำหรับการออกแบบเครื่องต้นแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks จากนั้นดำเนินการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบ รวมทั้งวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง ได้แก่ ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ค่าความร้อน และความหนาแน่นรวม โดยทำการทดลอง 3 ชุด ชุดละ 3 ครั้ง โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายชุดคำนวณค่าเฉลี่ยรวมและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) วิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ความต้องการสำคัญของผู้ใช้งาน ได้แก่ การทำงานต่อเนื่อง การลดขั้นตอนและระยะเวลา ความแข็งแรงของโครงสร้าง ความสะดวกในการใช้งาน และความปลอดภัย ส่งผลให้มีการออกแบบเครื่องอัดเม็ดฟางข้าวแบบบูรณาการที่เชื่อมต่อระบบสับฟางและระบบอัดเม็ดเข้าด้วยกัน สามารถผลิตชีวมวลอัดเม็ดได้ด้วยอัตราการผลิตเฉพาะขั้นอัดเม็ดเฉลี่ย 27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการผลิตรวมทั้งกระบวนการ 15 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีประสิทธิภาพเชิงมวลร้อยละ 64.29 โดยช่วยลดระยะเวลาการผลิตจาก 50 นาที เหลือ 36 นาที หรือลดลงร้อยละ 28.00 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดพบว่า มีความยาวเฉลี่ย 18.28 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 7.77 มิลลิเมตร ค่าความชื้นหลังการตากเฉลี่ยร้อยละ 7.07 ค่าความร้อนเฉลี่ย 3,043.33 แคลอรีต่อกรัม และความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 854.02 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และสนับสนุนการผลิตพลังงานชีวมวลในระดับชุมชนได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: เครื่องอัดเม็ดชีวมวล ฟางข้าว เชื้อเพลิงอัดเม็ด กระบวนการผลิต บ้านแห่งคุณภาพ

การอ้างอิงบทความ: ศรินยา ประทีปชนะชัย, ณัฐภัทร กาญจนเรืองรอง, สุทธิดา การะเวก และ จตุพล พิสิฏฐ์ศักดิ์, "การพัฒนาเครื่องอัดเม็ดฟางข้าวแบบบูรณาการด้วยเทคนิคบ้านแห่งคุณภาพและการวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงชีวมวล,"*วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 5, หน้า 27-43, 2569.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 5 กันยายน – ตุลาคม 2569
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 4 No. 5 September – October 2026

บทความวิจัย (Research Article)

Development of an Integrated Rice Straw Pellet Machine Using the House of Quality Technique and Evaluation of Biomass Fuel Properties

Sarinya Prateepchanachai[1], Nattapat Kanchanaruangrong[1], Sutthida Karawek[2] and Jatuphon Pisitsak[2,*]

[1] Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University
[2] Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

* Corresponding Author: jatuphon@techno.rru.ac.th, Tel: 086-8418870
(Received: May 11, 2026; Revised: July 22, 2026; Accepted: July 23, 2026)

Abstract

This research aimed to develop an integrated rice straw pellet machine using the House of Quality technique and to evaluate the properties of rice straw biomass pellets. User requirements were collected from five users and applied to construct the House of Quality (HOQ), which was then translated into engineering characteristics for prototype design using SolidWorks. The prototype was subsequently fabricated and tested for performance evaluation. Physical and fuel properties, including moisture content, ash content, volatile matter, heating value, and bulk density, were analyzed. The experiment was conducted in three experimental sets, with each set replicated three times, and the mean of each set was used to calculate the overall mean and standard deviation (n = 3). The heating value was determined using a Bomb Calorimeter, and the data were analyzed using mean and standard deviation. The results revealed that the key user requirements were continuous operation, reduction of processing steps and operating time, structural strength, ease of operation, and safety. The developed machine achieved an average production rate of 27 kg/h during the pelletizing stage and an overall production rate of 15 kg/h for the entire process and a mass efficiency of 64.29%. In addition, the integrated system reduced the production time from 50 min to 36 min, representing a 28.00% reduction. The biomass pellets produced had an average length of 18.28 mm, an average diameter of 7.77 mm, an average moisture content after drying of 7.07%, an average heating value of 3,043.33 cal/g, and an average bulk density of 854.02 kg/m³. The proposed machine provides an effective approach for converting rice straw into biomass pellets while supporting community-scale biomass energy production.

Keywords: Biomass Pellet Machine, Rice Straw, Pellet Fuel, Production Process, House of Quality

Please cite this article as: S. Prateepchanachai, N. Kanchanaruangrong, S. Karawek and J. Pisitsak, "Development of an Integrated Rice Straw Pellet Machine Using the House of Quality Technique and Evaluation of Biomass Fuel Properties," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 4, no. 5, pp. 27-43, 2026.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย และการปลูกข้าวเป็นอาชีพหลักของเกษตรกรจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในรูปของฟางข้าวเป็นจำนวนมากภายหลังการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตาม เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีเผาฟางข้าวเพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกในรอบถัดไป เนื่องจากสะดวกและใช้ระยะเวลาน้อย แต่การเผาฟางข้าวก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ รวมถึงทำลายโครงสร้างดิน อินทรียวัตถุ และธาตุอาหารในดิน นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและสูญเสียโอกาสในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า [1]

จากการศึกษาสภาพปัจจุบันในพื้นที่ตำบลเมืองใหม่ อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า เกษตรกรยังคงนิยมเผาตอซังและฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากต้องการเร่งเตรียมพื้นที่เพาะปลูกสำหรับการทำนารอบถัดไป รวมถึงบางส่วนยังขาดองค์ความรู้ในการจัดการฟางข้าวอย่างเหมาะสม ส่งผลให้ในบางช่วงเวลาปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศและเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ โดยงานวิจัยของ ศรินยา ประทีปชนะชัย และคณะ [2] ได้ศึกษาผลกระทบของการเผาตอซังและฟางข้าวต่อปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ดังกล่าว และพบว่าการเผาฟางข้าวเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศและปัญหาสุขภาพของประชาชนในชุมชน

ปัจจุบันมีการนำชีวมวลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน เนื่องจากมีข้อดีด้านการขนส่งและการจัดเก็บ และสามารถควบคุมการเผาไหม้ได้ดีกว่าชีวมวลทั่วไป โดยเฉพาะฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีต้นทุนต่ำ และเหมาะสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจำเป็นต้องคำนึงถึงความต้องการของผู้ใช้งาน ความสะดวกในการปฏิบัติงาน ความปลอดภัย และประสิทธิภาพของเครื่องจักร

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีงานวิจัยหลายฉบับที่ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและวัสดุจากอุตสาหกรรม โดยผลการศึกษาพบว่าปัจจัยด้านความชื้น ขนาดวัตถุดิบ แรงอัด และกระบวนการอัดเม็ด ล้วนส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด [3] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาให้ความสำคัญกับการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดและประสิทธิภาพการผลิตเป็นหลัก แต่ยังขาดการพัฒนาเครื่องต้นแบบที่ออกแบบจากความต้องการของผู้ใช้งานจริงในระดับชุมชน ซึ่งยังมีข้อจำกัดด้านการออกแบบทางวิศวกรรมที่คำนึงถึงความต่อเนื่องของระบบป้อนวัตถุดิบ การลดความสูญเสียระหว่างกระบวนการอัดเม็ด ความปลอดภัยในการใช้งาน และความเหมาะสมกับบริบทของชุมชนผู้ใช้งาน ดังนั้น จึงยังมีช่องว่างทางการวิจัยในการพัฒนาเครื่องอัดเม็ดชีวมวลที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างครอบคลุมทั้งด้านเทคนิคและการใช้งานจริง

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการต่อยอดงานวิจัยที่ผ่านมา ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว โดยประยุกต์ใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และกำหนดคุณลักษณะทางวิศวกรรมของเครื่องจักรให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ ยังมุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ลดการเผาฟางข้าวในพื้นที่เกษตรกรรม และสนับสนุนการใช้พลังงานชีวมวลทดแทนในระดับชุมชนได้อย่างเหมาะสม

บทความวิจัย (Research Article)

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว โดยประยุกต์ใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพ

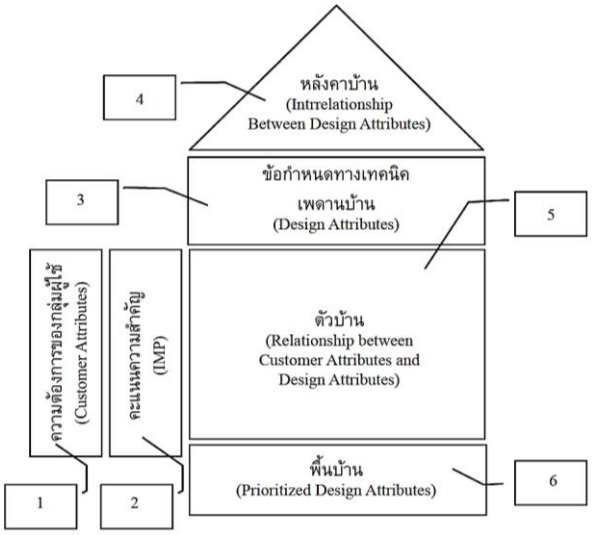
2) เพื่อวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผลิตจากเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพ

บ้านแห่งคุณภาพ เป็นเครื่องมือสำคัญของเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ที่ใช้สำหรับแปลงความต้องการของลูกค้าหรือผู้ใช้งานให้เป็นคุณลักษณะทางวิศวกรรมของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต มีลักษณะเป็นตารางความสัมพันธ์คล้ายรูปบ้าน ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ ได้แก่ ความต้องการของผู้ใช้งาน คุณลักษณะทางวิศวกรรม ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้ใช้งานกับคุณลักษณะทางวิศวกรรม และความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางวิศวกรรมด้วยกันเอง [4]

การประยุกต์ใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพช่วยให้การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเป็นระบบ ลดข้อผิดพลาดในการออกแบบ และช่วยกำหนดลำดับความสำคัญของปัจจัยทางวิศวกรรมที่มีผลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ยังช่วยเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างความต้องการของผู้ใช้งานกับกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ทำให้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ตรงตามความต้องการและเหมาะสมต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างบ้านคุณภาพ [4]

3.2 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationship Matrix)

ผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์จะทำการรวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ผู้บริโภคต้องการ และเทคนิคที่นำมาใช้ตอบสนอง ความต้องการของผู้บริโภคได้มากน้อยเพียงใด รูปแบบการให้ค่าความสัมพันธ์ในเมทริกซ์ความสัมพันธ์มี 2 รูปแบบ คือ การใช้ตัวเลขและการใช้สัญลักษณ์ ทั้งนี้การเลือกใช้รูปแบบใดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 1

ลำดับความสำคัญ (Priority Relationships) การคำนวณหาอัตราส่วนของตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพเพื่อหาผลรวมความพึงพอใจของผู้บริโภค ซึ่งเป็นส่วนสำคัญผลลัพธ์ในเรื่องการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ คำนวณได้โดยการนำความสัมพันธ์การเชื่อมต่อมาคูณกับร้อยละน้ำหนักของความต้องการที่ได้จะเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกัน การให้คะแนนน้ำหนักความสำคัญ [5] ดังสมการที่ 1 ดังนี้

น้ำหนักความสำคัญ = ค่าเมทริกซ์ความสัมพันธ์ x ค่าความสำคัญของความต้องการของผู้บริโภค (1)

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์และคะแนนเพื่อประเมินทิศทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

ระดับความสัมพันธ์	สัญลักษณ์	คะแนน	ความหมาย
มาก (Strong)	●	9	ตอบสนองความต้องการได้โดยตรงและมีผลกระทบมากที่สุด
ปานกลาง (Medium)	○	3	ตอบสนองความต้องการได้รองลงมา หรือมีผลกระทบระดับปานกลาง
น้อย (Low)	▽	1	ตอบสนองความต้องการได้เพียงเล็กน้อย หรือส่งผลกระทบระดับเบาบาง

3.3 พลังงานชีวมวล

พลังงานชีวมวล (Bio-Energy) หมายถึง พลังงานที่ได้จากชีวมวลต่าง ๆ โดยกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นรูปแบบต่าง ๆ โดยชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานได้สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากสัตว์และพืชต่าง ๆ เช่น เศษไม้ ขยะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อทำให้ได้พลังงานอาจจะทำได้โดยกระบวนการเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนจากฟอสซิล เช่น น้ำมันซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่าง ๆ ได้แก่ พืชผลทางการเกษตร เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน [6]

3.4 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการนำชีวมวลไปใช้เป็นพลังงาน ทั้งในด้านการขนส่ง การจัดเก็บ การเตรียมวัตถุดิบ และกระบวนการเผาไหม้ โดยสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น และขนาดของชีวมวล ซึ่งส่งผลต่อความสะดวกในการใช้งานและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล หากมีความหนาแน่นต่ำจะทำให้สิ้นเปลืองต้นทุนในการขนส่งและจัดเก็บ ในขณะที่ชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และการผลิตพลังงาน ดังนั้น การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลจึงมีความสำคัญต่อการคัดเลือกและปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลให้เหมาะสมต่อการใช้งาน [7]

3.4.1) ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นสมบัติที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และการสะสมพลังงาน โดยเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงจะให้ประสิทธิภาพด้านพลังงานและความสะดวกในการขนส่งและจัดเก็บดีกว่าเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นต่ำ ทั้งนี้ ความหนาแน่นของชีวมวลสามารถแบ่งได้เป็น ความหนาแน่นที่แท้จริง ความหนาแน่นปรากฏ และความหนาแน่นรวม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพและการใช้งานเชื้อเพลิงชีวมวลด้านพลังงาน [7]

3.4.2) ความชื้น

ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และค่าพลังงานความร้อน โดยชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงและเกิดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการเผาไหม้ ดังนั้น ชีวมวลที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงควรมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 30 ซึ่งค่าความชื้นดังกล่าวเป็นตัวบ่งชี้

บทความวิจัย (Research Article)

คุณภาพและความเหมาะสมของชีวมวลก่อนนำไปใช้ด้านพลังงาน [7]

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อัตราการผลิต และประสิทธิภาพเชิงมวลของเครื่องอัดเม็ดชีวมวล [7] ดังนี้

3.5.1 ค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ 2

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} \quad (2)$$

เมื่อ

$\bar{x}$ คือ คะแนนเฉลี่ย

Σx คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

3.5.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังสมการที่ 3

$$S.D. = \frac{\sqrt{\sum((x_i-\bar{x})^2)}}{n-1} \quad (3)$$

เมื่อ

S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x คือ ข้อมูล (ตัวที่ 1, 2, 3, ..., n)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.5.3 อัตราการผลิตของเครื่องอัดเม็ดชีวมวล

อัตราการผลิตของเครื่องอัดเม็ดชีวมวล (Production Rate; PR) หรือความสามารถในการทำงาน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ใช้แสดงปริมาณเม็ดเชื้อเพลิงที่เครื่องสามารถผลิตได้ต่อหน่วยเวลา เพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องอัดเม็ด [7] ดังสมการที่ 4

$$\text{อัตราการผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักเม็ดเชื้อเพลิง}}{\text{เวลา}} \quad (4)$$

3.5.4 ประสิทธิภาพเชิงมวล

ประสิทธิภาพเชิงมวล (Mass Efficiency; η) หรือประสิทธิภาพการทำงาน (เปอร์เซ็นต์) ใช้แสดงสัดส่วนของน้ำหนักเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้เมื่อเทียบกับน้ำหนักวัตถุดิบก่อนการอัด เพื่อประเมินการสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต [7] ดังสมการที่ 5

$$\eta = \frac{\text{น้ำหนักเม็ดหลังตาก}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบก่อนอัด}} \times 100 \quad (5)$$

3.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.6.1 เครื่องอัดเม็ดชีวมวลและสมรรถนะเครื่อง

สมชาย โพธิ์พะยอม และคณะ [1] ได้ศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เพื่อลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้งและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ ผลการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านการออกแบบเครื่องจักรและการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอ

3.6.2 สมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัสดุเกษตร

เจนจิรา อุตเรือน และคณะ [3] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่า ความชื้น ขนาดวัตถุดิบ และแรงอัดมีผลต่อความหนาแน่นและความแข็งแรงของเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งเป็น

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

ศิริชัย ต่อสกุล และคณะ [7] ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยพบว่าวัสดุชีวมวลสามารถนำมาอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุความชื้น และกระบวนการอัดเม็ด ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงและคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

รัชนี พุทธา และคณะ [8] ได้ศึกษาการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูกผัก ผลการศึกษาพบว่า ชีวมวลอัดเม็ดสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายด้าน นอกจากการใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนแล้ว ยังสามารถใช้เป็นวัสดุปลูกเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้อีกด้วย

3.6.3 การใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือเครื่องจักร

รัญชนา สินธวาลัย และคณะ [4] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพภายใต้แนวคิดการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ เพื่อปรับปรุงและออกแบบบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์ทางการแพทย์ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้และแปลงไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรม เช่น ขนาด รูปทรง วัสดุ และความสะดวกในการใช้งาน จากผลการศึกษาพบว่า เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพสามารถช่วยกำหนดลำดับความสำคัญของปัจจัยทางวิศวกรรม และสนับสนุนการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยด้านเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุชีวมวล ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิง และแนวทางการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร แต่งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมีข้อจำกัดในด้านการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ในด้านความสะดวกในการใช้งาน ความปลอดภัย การลดขั้นตอนการทำงาน และความเหมาะสมต่อการใช้งานในระดับชุมชน นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ จึงประยุกต์ใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพ ซึ่งเป็นเครื่องมือในการแปลงความต้องการของผู้ใช้งานไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรม ก่อนการพัฒนาเครื่องจักร แต่ยังไม่พบการประยุกต์ใช้เทคนิคดังกล่าวร่วมกับการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าวสำหรับชุมชนเกษตรกรรมโดยตรง

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง

1) การเก็บข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งาน ดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามกับผู้ใช้งานจำนวน 5 คน ประกอบด้วยเกษตรกรหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการฟางข้าวและการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลในพื้นที่กรณีศึกษา โดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) จากผู้ที่มีประสบการณ์ด้านการใช้ประโยชน์จากฟางข้าวหรือการใช้งานเครื่องจักรทางการเกษตรไม่น้อยกว่า 2 ปี เพื่อให้ข้อมูลสะท้อนความต้องการของผู้ใช้งานจริง แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม และ (2) ความต้องการของผู้ใช้งานที่มีต่อเครื่องอัดเม็ดชีวมวล โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าน้ำหนักความสำคัญของความต้องการผู้ใช้งานในการจัดทำบ้านแห่งคุณภาพ เครื่องมือวิจัยได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน และมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับ

บทความวิจัย (Research Article)

วัตถุประสงค์ (IOC) ไม่น้อยกว่า 0.50 ทุกข้อ จึงสามารถนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูลได้

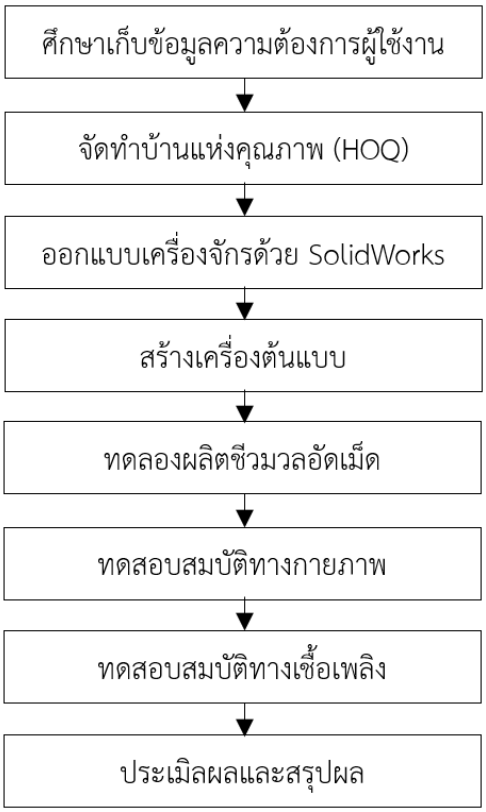
2) การทดลองผสมอัตราส่วนวัตถุดิบ โดยกำหนดส่วนผสมของวัตถุดิบ ได้แก่ ฟางข้าว น้ำ ขี้เถ้าแกลบ และสารช่วยประสาน เช่น แป้งมันสำปะหลัง โดยอัตราส่วนวัตถุดิบในงานวิจัยนี้ ใช้ฟางข้าวสับแห้ง จำนวน 10 กิโลกรัม ขี้เถ้าแกลบ จำนวน 1.0 กิโลกรัม แป้งมันสำปะหลัง จำนวน 0.5 กิโลกรัมเพื่อช่วยประสานเม็ด และผสมน้ำ 2.5 กิโลกรัม รวมวัตถุดิบก่อนอัดเม็ด 14 กิโลกรัม

3) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ จะทำการสับฟาง โดยเข้าเครื่องสับฟางให้มีขนาดประมาณ 10–30 มิลลิเมตร และควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ในขณะที่ฟางสับละเอียดและเข้าสู่เครื่องอัดเม็ดจะดำเนินการเทผสมวัตถุดิบ เพื่อทดลองอัดเม็ดโดยเข้าสู่เครื่องอัดเม็ด

4) บันทึกน้ำหนักก่อนและหลังการอัด รวมถึงเวลาที่ใช้ในกระบวนการ และบันทึกผลการทดลองที่ได้ ได้แก่ น้ำหนักวัตถุดิบ น้ำหนักเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้ ระยะเวลา และลักษณะของเม็ด การทดลองผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ทำซ้ำชุดละ 3 ครั้งภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน โดยควบคุมชนิดและปริมาณวัตถุดิบ อัตราส่วนส่วนผสม ความชื้นเริ่มต้น และสภาวะการทำงานของเครื่องอัดเม็ดให้คงที่ทุกครั้ง เพื่อประเมินความสามารถในการผลิตและลดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

4.2 การออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนเกี่ยวกับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด ผู้วิจัยทำการสร้างแผนผังขั้นตอนวิจัยต่าง ๆ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังขั้นตอนวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องอัดเม็ดชีวมวล มีขั้นตอนดังนี้

1) ศึกษาข้อมูลและกำหนดแนวคิดการออกแบบจากเทคนิคบ้านแห่งคุณภาพ

2) ออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดเม็ดชีวมวลและระบบการทำงาน

3) คัดเลือกวัสดุและอุปกรณ์

4) สร้างและประกอบเครื่องต้นแบบ

5) ทดสอบและปรับปรุงการทำงานของเครื่องอัดเม็ดชีวมวล

6) วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง

บทความวิจัย (Research Article)

5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้นำเทคนิคบ้านแห่งคุณภาพมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการแปลงความต้องการของผู้ใช้งานไปสู่ข้อกำหนดทางวิศวกรรมของเครื่องจักร เพื่อกำหนดแนวทางการออกแบบให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริง และใช้ในการกำหนดองค์ประกอบสำคัญของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ก่อนนำไปสู่การออกแบบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักร

5.1 ความต้องการในการพัฒนาเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

ผลการสำรวจความต้องการของผู้ปฏิบัติงานในชุมชนพบว่า ผู้ใช้งานให้ความสำคัญต่อการพัฒนาเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลใน 5 ด้าน ได้แก่ ความต่อเนื่องของการทำงาน การลดขั้นตอนและระยะเวลาในการปฏิบัติงาน ความแข็งแรงของโครงสร้าง ความสะดวกในการใช้งาน และความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน โดยมีการจัดลำดับความสำคัญของความต้องการดังกล่าว

จากการรวบรวมและแปลงความต้องการของผู้ใช้งานให้เป็นคุณลักษณะทางเทคนิคของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ดังตารางที่ 2 พบว่า ความต้องการมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางวิศวกรรมในหลายมิติ ได้แก่ ด้านกำลังการผลิต โครงสร้าง ระบบส่งกำลัง และความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้ใช้งาน (WHATs) และคุณลักษณะทางเทคนิค (HOWs) ได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลดังกล่าวไปจัดทำเป็นแผนภาพบ้านคุณภาพ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงบวกและเชิงลบระหว่างคุณลักษณะทางเทคนิคแต่ละด้าน

ตารางที่ 2 ความต้องการของผู้ใช้งานเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

ข้อ	ความต้องการของผู้ใช้งาน	ระดับความสำคัญ	เหตุผลในการให้ความสำคัญตามตัวเลขที่กำหนดมา
1	ระบบการทำงานต่อเนื่อง	5	มีผลต่อกำลังการผลิต หากเครื่องหยุดบ่อยจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง
2	ลดขั้นตอนและเวลา	4	ช่วยลดขั้นตอนการทำงานและเวลาในการปฏิบัติงาน ทำให้กระบวนการผลิตรวดเร็วขึ้น
3	โครงสร้างแข็งแรง	5	มีผลต่ออายุการใช้งานและความทนทานของเครื่องจักร ลดการชำรุดและค่าบำรุงรักษา
4	ใช้งานง่าย	4	ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้และใช้งานได้รวดเร็ว ลดความผิดพลาดในการทำงาน
5	ความปลอดภัย	5	มีผลต่อชีวิตและทรัพย์สิน ต้องควบคุมความเสี่ยงจากอุบัติเหตุในการใช้งาน

ตารางที่ 3 แสดงคุณลักษณะทางเทคนิคของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล พบว่าความต้องการของผู้ใช้งานสามารถนำมาแปลงเป็นคุณลักษณะทางวิศวกรรมของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเฉพาะด้านการทำงานต่อเนื่อง ซึ่งให้ความสำคัญกับการเลือกกำลังมอเตอร์ขนาด 4.4 แรงม้า ระบบส่งกำลัง และขนาดรูอัดเม็ดที่เหมาะสม เพื่อให้เครื่องจักรสามารถผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้อย่างสม่ำเสมอ และ

บทความวิจัย (Research Article)

ลดการติดขัดระหว่างการทำงาน ด้านการลดขั้นตอนและระยะเวลา จะดำเนินการออกแบบให้ระบบป้อนวัตถุดิบและระบบอัดเม็ดสามารถทำงานร่วมกันภายในเครื่องเดียว ซึ่งช่วยลดขั้นตอนการปฏิบัติงานและลดเวลาในการเตรียมวัตถุดิบ ขณะที่ด้านโครงสร้างได้ให้ความสำคัญกับความแข็งแรงของวัสดุและการลดแรงสั่นสะเทือน เพื่อเพิ่มความมั่นคงของเครื่องจักรระหว่างการทำงานต่อเนื่อง นอกจากนี้ การออกแบบยังคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งานและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน โดยติดตั้งระบบควบคุมที่สามารถสั่งงานได้ง่าย และมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายบริเวณชุดส่งกำลัง มีฝาครอบใบมีดตัดฟางและชุดอัดเม็ด ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ และความปลอดภัยในการใช้งาน

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางเทคนิคของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

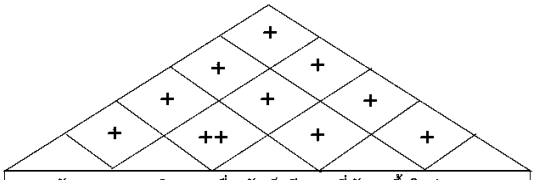
ข้อ	ความต้องการของผู้ใช้งาน	คุณลักษณะทางเทคนิคของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล
1	ระบบการทำงานต่อเนื่อง	ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3–4.4 แรงม้า พร้อมระบบส่งกำลังด้วยสายพานและพูลเลย์ ออกแบบช่องป้อนและช่องระบายวัสดุให้ไหลต่อเนื่อง ลดการอุดตัน มีรังผึ้งอัดเม็ดขนาดประมาณ 8 มม. เพื่อให้การผลิตสม่ำเสมอ
2	ลดขั้นตอนและเวลา	ออกแบบรวมระบบตัดฟางและอัดเม็ดไว้ในเครื่องเดียว ใช้ใบมีดตัดฟางให้มีขนาด 1–3 ซม. ก่อนเข้าเครื่อง ลดการเตรียมวัตถุดิบ และจัดวางตำแหน่งช่องป้อนให้อยู่ในระดับเหมาะสมกับผู้ใช้งาน

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางเทคนิคของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล (ต่อ)

ข้อ	ความต้องการของผู้ใช้งาน	คุณลักษณะทางเทคนิคของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล
3	โครงสร้างแข็งแรง	โครงสร้างหลักผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน เชื่อมยึดทั้งโครง รองรับแรงสั่นสะเทือนจากการอัดเม็ด มีฐานรองเครื่องแบบยึดแน่น ลดการเคลื่อนตัวขณะทำงาน
4	ใช้งานง่าย	ระบบควบคุมแบบสวิตช์เปิด–ปิดแยกส่วน (มอเตอร์ตัด หรือมอเตอร์อัด) ไม่ซับซ้อน การบำรุงรักษาง่าย สามารถถอดเปลี่ยนใบมีดและรังผึ้งได้สะดวก
5	ความปลอดภัย	มีฝาครอบใบมีดตัดฟาง ชุดสายพาน และชุดส่งกำลัง เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรง ติดตั้งสวิตช์หยุดฉุกเฉิน และระบบตัดไฟอัตโนมัติเมื่อโหลดเกิน พร้อมโครงป้องกันบริเวณช่องป้อนวัสดุ

ผู้วิจัยนำข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งาน และคุณลักษณะทางเทคนิคของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมาแปลงเป็นข้อกำหนดทางวิศวกรรม โดยประยุกต์ใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพ ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของคุณลักษณะทางเทคนิคจากแผนภาพบ้านแห่งคุณภาพพบว่า ระบบป้อนวัตถุดิบมีความสำคัญสูงสุด (509 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 22.5) รองลงมาคือ ระบบความปลอดภัย (483 คะแนน ร้อยละ 21.3) ระบบส่งกำลัง (457 คะแนน ร้อยละ 20.2) โครงสร้างและวัสดุ (430 คะแนน ร้อยละ 19.0) และกำลังมอเตอร์ (387 คะแนน ร้อยละ 17.1) แสดงให้เห็นว่าการออกแบบเครื่องจักรควรให้ความสำคัญกับระบบป้อนวัตถุดิบเป็นลำดับแรก

บทความวิจัย (Research Article)



ความต้องการของผู้ใช้งาน (WHATs)	ความสำคัญ	น้ำหนัก (%)	▲ กำลังมอเตอร์ (แรงม้า)	▲ ระบบป้อนวัตถุดิบ	▲ โครงสร้างและวัสดุ	▼ ระบบส่งกำลัง (สายพาน)	▼ ระบบความปลอดภัย	การเปรียบเทียบคู่แข่ง: เครื่องอัดเม็ดชีวมวลที่พัฒนาขึ้นใหม่	การเปรียบเทียบคู่แข่ง: เครื่องอัดเม็ดชีวมวลเชิงพาณิชย์
1. ระบบการทำงานต่อเนื่อง	5	22	●	○	○	●	▽	5	3
2. ลดขั้นตอนและเวลา	4	17	○	●	○	●	▽	5	3
3. โครงสร้างแข็งแรง	5	22	▽	○	●	○	●	3	4
4. ใช้งานง่าย	4	17	○	●	○	▽	○	3	3
5. ความปลอดภัย	5	22	○	○	○	▽	●	3	4
น้ำหนักความสำคัญ			387	509	430	457	483		
น้ำหนักความสำคัญ (%)			17.1	22.5	19.0	20.2	21.3		
เครื่องอัดเม็ดชีวมวลที่พัฒนาขึ้นใหม่			4	5	4	4	4		
เครื่องอัดเม็ดชีวมวลเชิงพาณิชย์			4	2	4	4	4		

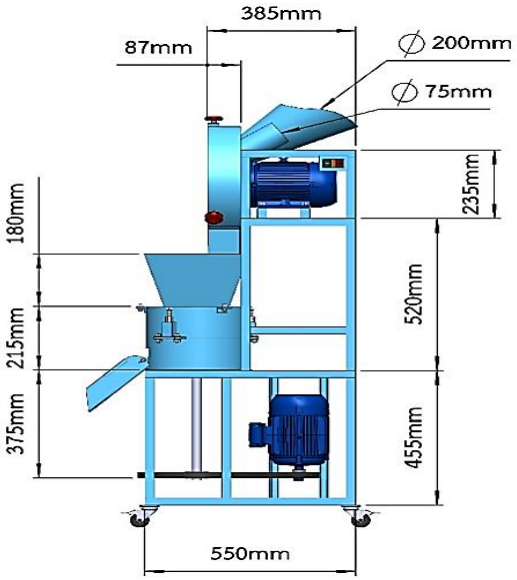
●	มาก	9
○	ปานกลาง	3
▽	น้อย	1

รูป 3 การวิเคราะห์บ้านแห่งคุณภาพ

เพื่อให้การลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่ระบบอัดเม็ดเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ลดการอุดตัน และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ดังนั้น ระบบป้อนวัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความต่อเนื่องและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ผลจากการประยุกต์ใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพนี้จะถูกนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดชีวมวลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในระดับชุมชน ดังรูปที่ 4

5.2 ผลการสร้างเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

ดำเนินการออกแบบทางวิศวกรรมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SolidWorks และผลจากการสร้างเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว พบว่า สามารถทำงานได้ตามหลักการออกแบบ โดยใช้มอเตอร์เพื่อตัดฟางกำลังขนาด 4.4 แรงม้า และมอเตอร์สำหรับอัดเม็ดกำลังขนาด 3 แรงม้า ส่งกำลังผ่านระบบสายพานไปยังชุดอัดเม็ดแบบรังผึ้งขนาด 8 มิลลิเมตร ซึ่งมีลูกกลิ้งจำนวน 3 ลูกกลิ้ง ทำหน้าที่บดอัดวัตถุดิบให้เกิดการรวมตัวเป็นเม็ดเชื้อเพลิง



รูปที่ 4 เครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว

บทความวิจัย (Research Article)

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว โดยใช้วัตถุดิบรวม 14 กิโลกรัม สามารถผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้ 9 กิโลกรัม ภายในระยะเวลา 20 นาที คิดเป็นอัตราการผลิตเฉพาะขั้นอัดเม็ดเฉลี่ย 27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีประสิทธิภาพเชิงมวล ร้อยละ 64.29 โดยอัตราการผลิตเฉพาะขั้นอัดเม็ดคำนวณจากน้ำหนักเม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตได้หารด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต ตามสมการ (4) คือ 9 กิโลกรัม ÷ (20/60) ชั่วโมง = 27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนประสิทธิภาพเชิงมวลคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักวัตถุดิบก่อนการอัดเม็ด ตามสมการ (5) คือ (9 ÷ 14) × 100 = 64.29% การสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเกิดจากการระเหยของความชื้น การแตกหักของเม็ดเชื้อเพลิง วัตถุดิบบางส่วนไม่สามารถอัดผ่านรังผึ้งได้ และการตกค้างของวัสดุภายในชุดลูกกลิ้งและรังผึ้ง

ในการทดลอง ผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องสับฟางให้สามารถเชื่อมต่อการทำงานร่วมกับเครื่องอัดเม็ดชีวมวลเป็นระบบเดียวกัน โดยเริ่มจากการสับฟางเพื่อปรับขนาดวัตถุดิบก่อนลำเลียงเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ดโดยตรง ซึ่งช่วยลดขั้นตอนการขนย้ายและเพิ่มความต่อเนื่องของกระบวนการผลิต หลังจากนั้นวัตถุดิบจะถูกผสมกับน้ำ ขี้เถ้าแกลบ และสารช่วยประสาน ก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ดด้วยแรงอัดและความร้อนจากแรงเสียดทาน ทำให้วัตถุดิบเกิดการยึดเกาะและขึ้นรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิง ผลการพิจารณาลักษณะของเม็ดเชื้อเพลิง พบว่า เม็ดเชื้อเพลิงส่วนใหญ่สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์และมีลักษณะค่อนข้างแข็งตัว แม้ว่าบางส่วนจะเกิดการแตกหักหรือไม่สามารถจับตัวเป็นเม็ดได้ ซึ่งสอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพเชิงมวลที่ได้จากการทดลอง ทั้งนี้ การเชื่อมต่อระบบสับฟางและระบบอัดเม็ดเข้าด้วยกันช่วยลดระยะเวลาในการเตรียมวัตถุดิบ เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน และทำให้กระบวนการผลิตเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในระดับชุมชนมากยิ่งขึ้น

5.3 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานของเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว

จากการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนและหลังการปรับปรุง โดยการเชื่อมต่อเครื่องสับฟางเข้ากับเครื่องอัดเม็ด พบว่า การปรับปรุงดังกล่าวส่งผลต่อความต่อเนื่องของกระบวนการผลิต การลำเลียงวัตถุดิบ และระยะเวลาในการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอน ซึ่งสามารถใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้ การเชื่อมต่อเครื่องสับฟางเข้ากับเครื่องอัดเม็ดช่วยลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตจาก 50 นาที เหลือ 36 นาทีต่อรอบการผลิต หรือลดลงร้อยละ 28.00 เนื่องจากวัตถุดิบสามารถลำเลียงเข้าสู่ระบบอัดเม็ดได้อย่างต่อเนื่อง ลดขั้นตอนการ ขนย้าย และระยะเวลารอคอยระหว่างกระบวนการ ส่งผลให้การทำงานของเครื่องจักรมีความต่อเนื่องมากขึ้น การปรับปรุงดังกล่าวช่วยลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เครื่องจักร โดยยังคงสามารถผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้เฉลี่ย 9 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต และลักษณะของเม็ดเชื้อเพลิงไม่แตกต่างจากกระบวนการเดิม แสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบเวลาการทำงานของเครื่องอัดเม็ดชีวมวลก่อนและหลังปรับปรุง

ขั้นตอน	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	การเปลี่ยนแปลง
สับฟางข้าว	12 นาที	8 นาที	ลดลง 4 นาที (33.33%)
ขนย้ายฟางจากเครื่องสับไปเครื่องอัด	5 นาที	0 นาที	ลดลง 5 นาที (100%)
ผสมวัตถุดิบ	8 นาที	5 นาที	ลดลง 3 นาที (37.50%)
อัดเม็ดชีวมวล	20 นาที	20 นาที	ไม่เปลี่ยนแปลง (0%)

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบเวลาการทำงานของเครื่องอัดเม็ดชีวมวลก่อนและหลังปรับปรุง (ต่อ)

ขั้นตอน	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	การเปลี่ยนแปลง
เก็บเศษวัสดุ/จัดเตรียมรอบต่อไป	5 นาที	3 นาที	ลดลง 2 นาที (40.00%)
รวมเวลา	**50 นาที**	**36 นาที**	**ลดลง 14 นาที (28.00%)**

5.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดชีวมวล

5.4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมี

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว ใช้ประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ในด้านขนาด รูปร่าง และความชื้น เพื่อพิจารณาความเหมาะสมต่อการใช้งาน และใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยพิจารณาค่าความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง และค่าความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงก่อนและหลังการตาก เพื่อเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสมบัติผลิตภัณฑ์

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากฟางข้าว พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงมีความยาวเฉลี่ย 18.28 ± 3.25 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 7.77 ± 0.40 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดสอดคล้องกับแม่พิมพ์อัดเม็ดขนาด 8 มิลลิเมตร และค่าความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงก่อนและหลังการตากมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ลักษณะของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนและหลังการตาก พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงก่อนการตากมีค่าความชื้นเฉลี่ย 38.33 ± 1.53 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะสีเข้มและยังคงมีความชื้นสูง ส่งผลให้ความแข็งแรงของเม็ดยังไม่สมบูรณ์ ขณะที่เม็ดเชื้อเพลิงหลังการตากมีค่าความชื้นลดลงเหลือเฉลี่ย 7.07 ± 0.60 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เม็ดมีลักษณะแห้ง สีอ่อนลง และมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยยังคงรูปทรงกระบอกและขนาดใกล้เคียงเดิม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว

ครั้งที่	ความยาว (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความชื้นก่อนตาก (%)	ความชื้นหลังตาก (%)
1	18.15	8.15	40	6.60
2	15.10	7.80	38	7.75
3	21.60	7.35	37	6.85
เฉลี่ย	**18.28**	**7.77**	**38.33**	**7.07**
S.D.	**3.25**	**0.40**	**1.53**	**0.60**

5.4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าว

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว ดำเนินการเพื่อประเมินศักยภาพในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยพิจารณาค่าปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ค่าความร้อน และความหนาแน่นรวม ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญของคุณภาพเชื้อเพลิง พบว่าปริมาณสารระเหยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 32.12 โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.32 ในขณะที่ปริมาณเถ้ามีค่าเฉลี่ยร้อยละ 21.97 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.10

ในด้านค่าความร้อน พบว่ามีค่าเฉลี่ย 3,043.33 cal/g และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 40.41 โดยค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,000-3,080 cal/g ความหนาแน่นรวมมีค่าเฉลี่ย 854.02 kg/m³ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 7.42 ซึ่งอยู่ในช่วง 845.75-860.10 kg/m³ แสดงได้ดังตารางที่ 6

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว

ครั้งที่	ปริมาณสารระเหย (%)	ปริมาณเถ้า (%)	ค่าความร้อน (cal/g)	ความหนาแน่นรวม (kg/m^3)
1	31.96	25.31	3,050	856.22
2	31.91	23.21	3,080	860.10
3	32.48	17.39	3,000	845.75
เฉลี่ย	**32.12**	**21.97**	**3,043.33**	**854.02**
S.D.	**0.32**	**4.10**	**40.41**	**7.42**

6. สรุป

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องอัดเม็ดฟางข้าวแบบบูรณาการด้วยเทคนิคบ้านแห่งคุณภาพและการวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงชีวมวล มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าวโดยประยุกต์ใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพ และเพื่อวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผลิตจากเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว ผลการศึกษาด้านความต้องการของผู้ใช้งาน พบว่าความต้องการหลักประกอบด้วย ระบบการทำงานต่อเนื่อง การลดขั้นตอนและเวลา ความแข็งแรงของโครงสร้าง การใช้งานง่าย และความปลอดภัย ซึ่งถูกนำมาแปลงเป็นข้อกำหนดทางวิศวกรรมของเครื่องอัดเม็ดชีวมวล เช่น กำลังมอเตอร์ ระบบป้อนวัตถุดิบ ระบบส่งกำลัง โครงสร้าง และระบบความปลอดภัย

ผลการวิเคราะห์จากแผนภาพบ้านคุณภาพพบว่าด้านระบบป้อนวัตถุดิบมีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อความต่อเนื่องและประสิทธิภาพของการผลิต รองลงมาคือ ระบบความปลอดภัย ระบบส่งกำลัง โครงสร้างและวัสดุ และกำลังมอเตอร์ ตามลำดับ ผลการสร้างและทดสอบเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว พบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ตามหลักการออกแบบไว้ สามารถอัดเม็ดชีวมวลเชื้อเพลิงได้เฉลี่ย 9 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต ใช้เวลาเฉลี่ย 20 นาที คิดเป็นอัตราการผลิตเฉพาะขั้นอัดเม็ดเฉลี่ย 27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขณะที่อัตราการผลิตรวมทั้งกระบวนการเท่ากับ 15 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากเวลารวม 36 นาทีต่อรอบการผลิต และมีประสิทธิภาพเชิงมวลร้อยละ 64.29 โดยการสูญเสียเกิดจากความชื้น การแตกหักของเม็ดเชื้อเพลิง และการตกค้างภายในระบบเครื่องจักร

ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าการเชื่อมต่อเครื่องสับฟางเข้ากับเครื่องอัดเม็ดในระบบเดียวกันสามารถลดขั้นตอนการขนย้ายวัตถุดิบ และทำให้กระบวนการผลิตมีความต่อเนื่องมากขึ้น ส่งผลให้เวลาการทำงานรวมลดลงจาก 50 นาที เหลือ 36 นาที หรือลดลงร้อยละ 28.00 โดยเฉพาะขั้นตอนการขนย้ายฟางสามารถลดเวลาได้ทั้งหมด ขณะที่คุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงยังคงใกล้เคียงกับกระบวนการเดิม

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีความยาวเฉลี่ย 18.28 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 7.77 มิลลิเมตร และค่าความชื้นหลังการตาก ลดลงเหลือเฉลี่ยร้อยละ 7.07 ทำให้เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีความแข็งแรงมากขึ้น ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง พบว่าค่าความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 3,043.33 cal/g และมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 854.02 kg/m^3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเม็ดชีวมวลจากฟางข้าวสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

7. อภิปรายผล

การนำแนวคิดบ้านแห่งคุณภาพมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดเม็ดชีวมวลจากฟางข้าว สามารถช่วยกำหนดแนวทางการออกแบบเครื่องจักรให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานจริงในระดับชุมชน โดยเฉพาะด้านความต่อเนื่องของการ

บทความวิจัย (Research Article)

ทำงาน การลดขั้นตอนและเวลา ความแข็งแรงของโครงสร้าง และความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบทางวิศวกรรมที่มุ่งเน้นการแปลงความต้องการของผู้ใช้งานให้เป็นข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่องจักร ส่งผลให้เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้จริง และเหมาะสมกับบริบทของชุมชนเกษตรกรรม สอดคล้องกับงานวิจัยของ รัญชนา สินธวาลัย และคณะ [4] ที่ได้นำแนวคิดบ้านแห่งคุณภาพ มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุง บรรจุภัณฑ์อุปกรณ์ทางการแพทย์ ที่ประยุกต์ใช้แนวคิดบ้านแห่งคุณภาพในการแปลงความต้องการของผู้ใช้งานเป็นข้อกำหนดทางวิศวกรรม ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการพัฒนาเครื่องอัดเม็ดชีวมวลในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการพัฒนาระบบส่งกำลัง ชุดรังผึ้งอัดเม็ด และกำลังมอเตอร์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและรองรับการใช้งานในระดับกึ่งอุตสาหกรรม

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดเม็ดชีวมวลพบว่า เครื่องสามารถผลิตเม็ดเชื้อเพลิงได้เฉลี่ย 27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (อัตราการผลิตเฉพาะขั้นอัดเม็ด) และมีประสิทธิภาพเชิงมวล ร้อยละ 64.29 แม้ว่าจะยังเกิดการสูญเสียในบางส่วนจากความชื้น การแตกหักของเม็ดเชื้อเพลิง และการตกค้างภายในระบบอัดเม็ด แต่เครื่องจักรสามารถนำฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบพลังงานชีวมวลได้ในระดับหนึ่ง เม็ดเชื้อเพลิงที่ได้ยังมีค่าความชื้นหลังการตาก และค่าความร้อนอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด พบว่าค่าความชื้นหลังการตากอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ขณะที่ปริมาณเถ้ายังมีค่าสูง จึงควรปรับปรุงสัดส่วนวัตถุดิบเพื่อลดปริมาณเถ้าในอนาคต อย่างไรก็ตาม ปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 21.97 มีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณซิลิกาที่สะสมอยู่ในฟางข้าวตามธรรมชาติ รวมถึงการใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสม ส่งผลให้เกิดเถ้าหลังการเผาไหม้มากขึ้น ขณะที่ค่าความชื้นก่อนการตากเฉลี่ยร้อยละ 38.33 ส่งผลให้เม็ดเชื้อเพลิงมีความแข็งแรงต่ำและเกิดการแตกหักได้ง่าย ก่อนที่ความชื้นจะลดลงเหลือเฉลี่ยร้อยละ 7.07 หลังการตาก ทำให้เม็ดเชื้อเพลิง มีความแข็งแรงและคงรูปได้ดีขึ้น ประสิทธิภาพเชิงมวลที่ยังไม่สูงนัก อาจเกิดจากลักษณะของฟางข้าวที่มีเส้นใยยาว ความหนาแน่นต่ำ และมีความยืดหยุ่น ส่งผลให้วัตถุดิบบางส่วนไม่สามารถอัดผ่านรังผึ้งได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ การกำหนดขนาดฟางสับประมาณ 10–30 มิลลิเมตร แม้ช่วยให้ระบบป้อนวัตถุดิบทำงานได้ต่อเนื่อง แต่ยังมีโอกาสเกิดการติดพันกันของเส้นใยและการอุดตันบริเวณชุดอัดเม็ด ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต เนื่องจากเส้นใยที่มีความยาวไม่สม่ำเสมอทำให้แรงอัดกระจายตัวไม่ทั่วถึง ส่งผลให้เม็ดเชื้อเพลิงบางส่วนอัดตัวไม่สมบูรณ์และเกิดการแตกหักได้ง่าย ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ รัฐกร สวัสดิ์แดง และคณะ [9] ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ พบว่าวัสดุชีวมวลอัดเม็ดมีค่าความร้อนอยู่ในระดับเหมาะสมต่อการใช้งาน ทั้งในด้านความสามารถผลิตชีวมวลอัดเม็ดและค่าความร้อนที่มีค่าสูงกว่างานวิจัยนี้ เนื่องจากส่วนผสมวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนและความหนาแน่นของวัสดุสูงกว่าฟางข้าว ส่งผลให้การเผาไหม้ให้พลังงานได้ดีกว่า นอกจากนี้ ยังมีการใช้กระบวนการอัดร้อนร่วมกับตัวประสานวัสดุ ทำให้เม็ดเชื้อเพลิงมีความแข็งแรงและมีความหนาแน่นสูงกว่า แต่ยังพบการแตกหักของเม็ดเชื้อเพลิงบางส่วน และมีการสูญเสียในกระบวนการผลิต เครื่องอัดเม็ดชีวมวลที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถผลิตเม็ดเชื้อเพลิงได้ในอัตราที่สูงกว่างานวิจัยของ ลักขณา พิทักษ์ และคณะ [10] ศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากใบอ้อย เนื่องจากใช้ระบบการเชื่อมต่อเครื่องสับฟางร่วมกับระบบอัดเม็ดแบบต่อเนื่อง ทำให้ลดขั้นตอนการป้อนวัตถุดิบและ

บทความวิจัย (Research Article)

เพิ่มปริมาณการผลิตได้มากขึ้น ขณะที่งานวิจัยดังกล่าว มุ่งเน้นด้านคุณภาพเม็ดเชื้อเพลิงและการควบคุมขนาดวัตถุดิบให้เหมาะสมต่อการอัดเม็ดจึงมีค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่า

การเชื่อมต่อเครื่องสับฟางเข้ากับเครื่องอัดเม็ดในระบบเดียวกัน ส่งผลให้เวลาการทำงานรวมลดลงจาก 50 นาที เหลือ 36 นาที หรือลดลงร้อยละ 28.00 แสดงให้เห็นว่าการลดขั้นตอนการขนย้ายและการจัดการวัตถุดิบมีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ช่วยให้การทำงานมีความต่อเนื่องมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จากแผนภาพบ้านคุณภาพที่ให้ความสำคัญกับระบบการทำงานต่อเนื่องและการลดขั้นตอนการปฏิบัติงาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริชัย ต่อสกุล และคณะ [7] ที่ออกแบบและสร้างเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยระบบดายน์อัด โดยระบุว่าเครื่องจักรต้นแบบ ช่วยลดขั้นตอนในการทำงานและเพิ่มความสะดวกต่อการผลิตในระดับชุมชน แต่ในงานวิจัยของศิริชัย ต่อสกุล และคณะ [7] มีปริมาณการผลิตสูงกว่างานวิจัยนี้อย่างชัดเจน เนื่องจากใช้มอเตอร์ต้นกำลังที่มากกว่า ในขณะที่งานวิจัยนี้ใช้ขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งานในระดับชุมชนและลดต้นทุนด้านพลังงาน ทำให้กำลังการผลิตต่ำกว่า แต่มีข้อดีด้านความง่ายในการใช้งาน การเคลื่อนย้าย และการซ่อมบำรุงที่เหมาะกับเกษตรกรในพื้นที่ ในขณะที่งานวิจัยของ รัฐกร สวัสดิ์แดง และคณะ [9] มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงและกระบวนการอัดเม็ด ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นการปรับปรุงลำดับการทำงาน และการลดเวลาในกระบวนการผลิต

8. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากชุมชนท้องถิ่นที่ได้ให้ความร่วมมือและให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ประเภททุนวิจัยนวัตกรรมและเทคโนโลยี ประจำปีงบประมาณ 2567 ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการดำเนินโครงการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] สมชาย โพธิ์พะยอม, ธงชัย เครือผือ และพงศธร กันกล่ำ, “การพัฒนาเครื่องอัดเม็ดฟางเพื่อใช้สำหรับการผลิตเชื้อเพลิง,” *วารสารราชมงคลล้านนา*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2, หน้า 73-76, ก.ค. – ธ.ค. 2560. [ออนไลน์]. Available: https://so05.tci-thaijo.org/index.php/balajhss/article/view/94747

[2] ศรินยา ประทีปชนะชัย, ยุทธณรงค์ จงจันทร์ และธนธัช มั่นมงคล, “ผลกระทบของการเผาตอซังและฟางข้าวต่อปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล PM2.5 ในบรรยากาศ: กรณีศึกษาของชุมชนบ้านหนองขอน ตำบลเมืองใหม่ อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา,” *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 1, หน้า 129-146, ม.ค. – เม.ย. 2567. [ออนไลน์]. Available: https://li05.tci-thaijo.org/index.php/buuscij/article/view/330

[3] เจนจิรา อุตเรือน, นิกราน หอมดวง, ณัฏฐ์กิตต์ ก้อยผ่านกิจ, ชูรัตน์ ธารารักษ์ และณัฐวุฒิ ดุษฎี, “การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร,” ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13*, โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่, 2560, หน้า 208-215.

[4] รัญชนา สินธวาลัย, เปมิกา บุญชู และศิริพร ผลใหม่, “การประยุกต์ใช้บ้านคุณภาพเพื่อปรับปรุง

บรรจุภัณฑ์สำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 26, ฉบับที่ 3, หน้า 521-530, ก.ย. – ธ.ค. 2559. DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.11.001.

[5] สุรศักดิ์ชัย วงษ์จันทร์, "การประยุกต์ QFD ในการออกแบบเฟอร์นิเจอร์และอุปกรณ์ตกแต่งห้องในเรือตรวจการณ์," สารนิพนธ์, สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2555.

[6] นเรศ สิริวราวุธ, ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์, นุกูล สุขุประการ และประยูร กันอยู่, "การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวล," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2, หน้า 31-44, ก.ค. – ธ.ค. 2564. [ออนไลน์]. Available: https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/nkrafa-sct/article/view/244366

[7] ศิริชัย ต่อสกุล, จงกล สุภารัตน์ และนทีชัย ผัสดี, "การออกแบบและสร้างเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยระบบดายน์อัด," ใน *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี, 2558, หน้า 91-94.

[8] รัชนี พุทธา, ทัศนีย์ สีเสนชุย, ศรัณพงษ์ บัณฑิตภักดิ์, สพล สมนาม และกาญจนา จอมสังข์, "ประสิทธิภาพของชีวมวลอัดเม็ดจากฟางข้าว รำข้าว และแกลบ ในการเป็นวัสดุปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค," *วารสารผลิตกรรมการเกษตร*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, หน้า 149-164, ม.ค. – เม.ย. 2566. [ออนไลน์]. Available: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/japmju/article/view/253932

[9] รัฐกร สวัสดิ์แดง, ต่อพงษ์ กรีฑาชาติ และศักดิ์สิทธิ์ อิ่มแมน, "การประเมินความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกกะลากาแฟ," *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, ปีที่ 32, ฉบับที่ 1, หน้า 25-31, ม.ค. – เม.ย. 2561. [ออนไลน์]. Available: https://so05.tci-thaijo.org/index.php/teej/article/view/192227

[10] ลักขณา พิทักษ์, เรวัฒน์ เติมกล้า และลิขิต มั่งมี, "การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากใบอ้อย," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, หน้า 8-17, ม.ค. – มิ.ย. 2563. [ออนไลน์]. Available: https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/journalindus/article/view/240965