

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบท่อหมุนพลังงานแก๊สชีวภาพเอนไซม์อัตโนมัติ :
กรณีศึกษาโรงสีชุมชนจังหวัดนครสวรรค์
Design and Development of a Gasifier-Powered Rotary Paddy Dryer with Automatic Control :
A Case Study of a Community Rice Mill in Nakhon Sawan Province

ภิญโญ ชุมมนี¹
Pinyo Chummanee¹

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบท่อหมุน (Rotary Drum Dryer) สำหรับการอบแห้งแบบต่อเนื่อง ที่ใช้พลังงานจากระบบแก๊สชีวภาพเชื้อเพลิงชีวมวล (แกลบ) ร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งและยกระดับคุณภาพผลผลิต โดยใช้โรงสีชุมชนจังหวัดนครสวรรค์เป็นกรณีศึกษา เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมี กำลังการผลิต 300 kg/h และสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของลมร้อนได้อย่างแม่นยำผ่านระบบเซนเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ลดความผิดพลาดจากการควบคุมด้วยแรงงานคน การทดสอบภาคสนามใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 25–28% wb โดยตั้งค่าอุณหภูมิการอบที่ 70, 80, 90 และ 100 °C และควบคุมอัตราการไหลของลมร้อนให้อยู่ระหว่าง 44–97 m³/min ผลการทดสอบพบว่า เครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นลงสู่ระดับมาตรฐาน 14–15% wb ได้ภายใน 5–6 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการอบแห้งเฉลี่ย 85–88% และใช้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแกลบเฉลี่ย 1.2–1.4 kg/kg ข้าวเปลือก ที่ลดความชื้นซึ่งประหยัดกว่าการใช้เชื้อเพลิง LPG ร้อยละ 18–22 เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งที่ควบคุมด้วยแรงงานคน ที่มีความผันผวนของอุณหภูมิสูงและให้คุณภาพผลผลิตต่ำกว่า ทั้งนี้ อุณหภูมิการอบที่ดีที่สุดคือ 90 °C ซึ่งให้สมดุลระหว่างการลดความชื้นของข้าวเปลือกระดับมาตรฐาน 14% wb และอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด 1.2 kg/kg ข้าวเปลือก โดยทำให้สัดส่วนข้าวต้น (whole kernels) เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3–4% เมื่อเทียบกับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอากาศอบแห้งแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก, ท่อหมุน, แก๊สชีวภาพ, ระบบควบคุมอัตโนมัติ, โรงสีชุมชน

Abstract

This research aimed to design and develop a rotary drum dryer for continuous drying using biomass (rice husk) gasifier energy and an automatic control system to increase drying efficiency and enhance product quality. A community rice mill in Nakhon Sawan Province was used as a case study. The developed dryer has a production capacity of 300 kg/h and can precisely control the temperature and humidity of the hot air via a sensor system and a microcontroller, reducing errors from manual control. Field tests used paddy with an average initial moisture content of 25–28% wb. The drying temperature was set at 70, 80, 90, and 100 °C and the hot air flow rate was controlled between 44–97 m³/min. The results showed that the dryer could reduce the moisture content to a standard level of 14–15% wb within 5–6 hours, with an average drying efficiency of 85–88%, and an average rice husk fuel consumption of 1.2–1.4 kg per kg of dehydrated paddy. This method is 18–22% more economical than LPG compared to manual drying, which has high temperature fluctuations and lower yield quality. The optimal drying temperature is 90 °C, which balances the standard paddy moisture reduction of 14% wb and the most efficient fuel consumption rate of 1.2 kg/kg paddy. It increases the whole kernel proportion by an average of 3–4% compared to traditional drying temperature and humidity control

Keywords: rice dryer, rotary pipe, gasifier, automatic control system, community rice mill

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

¹ Division of Mechanical Engineering, Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan,

คำนำ

ข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทยที่มีความสำคัญทั้งในด้านการบริโภคและการส่งออก อย่างไรก็ตาม ข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวมักมีความชื้นสูง (มากกว่า 25% wb) ซึ่งหากไม่ได้รับการอบแห้งอย่างเหมาะสมจะเกิดการเสื่อมคุณภาพ ราขึ้น และทำให้เมล็ดแตกหักระหว่างการสีเพิ่มขึ้น โรงสีชุมชนจำนวนมากยังคงใช้วิธีการอบแห้งแบบตากแดดหรือใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น แก๊สหุงต้ม (LPG) ซึ่งมีต้นทุนสูงและขาดความยั่งยืน งานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นว่า วิธีการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการแตกร้าวของเมล็ดและลดคุณภาพการสีซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kumar *et al.* (2015)

การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยเฉพาะแกลบ ถือเป็นทางเลือกที่เหมาะสมทั้งในด้านต้นทุนและความยั่งยืนซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Srivastava และ Prasad (2001) การผสมผสานเครื่องอบแบบทอหมุนซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Mujumdar *et al.* (2014) เข้ากับระบบแก๊สซิไฟเออร์เชื้อเพลิงแกลบ และการควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Theerarattananoon และ Srisuwan (2018) จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการทดแทนพลังงานฟอสซิล ระบบแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) สามารถเปลี่ยนแกลบให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงสะอาดสำหรับการอบแห้งได้ นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติยังช่วยรักษาเสถียรภาพของอุณหภูมิและความชื้นในกระบวนการอบแห้ง

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบทอหมุน (Rotary Drum Dryer) ที่ใช้พลังงานจากแก๊สซิไฟเออร์เชื้อเพลิงแกลบ ร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง ลดต้นทุน และยกระดับคุณภาพข้าวสารที่ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาสภาพและปัญหา

ข้าวเปลือกเก็บเกี่ยวจากนาข้าวเกษตรกรในพื้นที่ตำบลท่าตะโก อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาแบ่งเป็นพันธุ์ข้าวเปลือก 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ข้าวดอกหอมมะลิ 105 และข้าวพื้นเมืองพันธุ์หอมใบเตย โดยนำพันธุ์ข้าวเปลือกมาชั่งน้ำหนักให้ได้ชุดทดลองอย่างละ 300 kg จากนั้นทำการเตรียมพันธุ์ข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัยโดยเตรียมพันธุ์ข้าวเปลือกให้มีค่าความชื้นในเมล็ดก่อนเข้าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมักมีความชื้นสูง (25–28% wb)

2. การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบทอหมุนพลังงานแก๊สซิไฟเออร์ควบคุมอัตโนมัติ

2.1 การออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบทอหมุน (Rotary Drum Dryer)

การออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบทอหมุน (Rotary Drum Dryer) ในช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงสำหรับโรงสีข้าวชุมชนจังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้เทคนิคโรตารีหมุนต่อเนื่องชนิดอากาศร้อนไหลตาม ภิญโญ ชุมมณี และ วีระชาติ จิตงาม (2562) ซึ่งได้ออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกทำงานแบบต่อเนื่องที่มีกำลังผลิต 300 kg/h แสดง Figure 1

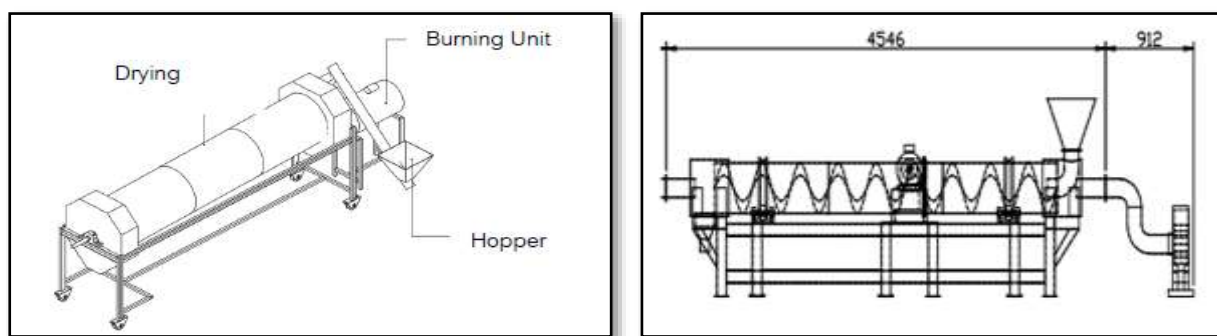


Figure 1 Rotating paddle type concurrent flow hot air paddy dryer for community level

2.2 การออกแบบระบบแก๊สซิไฟเออร์เชื้อเพลิงชีวมวล (แกลบ)

การออกแบบเครื่องแก๊สซิไฟเออร์จากเชื้อเพลิงแกลบ สำหรับใช้อบแห้งข้าวเปลือกช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงในโรงสีข้าวชุมชน โดยใช้เทคนิคผลิตแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลลงต่อเนื่อง ซึ่งออกแบบเครื่องแก๊สซิไฟเออร์จากเชื้อเพลิงแกลบสำหรับใช้อบแห้งข้าวเปลือกกำลังผลิต 300 kg/h โดยอุณหภูมิขึ้นเผาไหม้เฉลี่ย 850 °C และอัตราการไหลของอากาศ 0.03 m³/min และอัตราการป้อนแกลบ 0.5 kg/min สอดคล้องกับรายงานของ ภิญโญและคณะ (2555) แสดง Figure 2

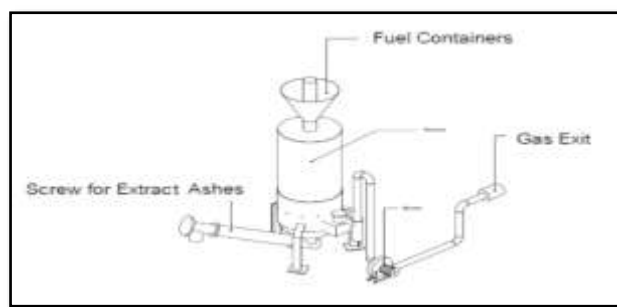


Figure 2 Design and test of the gasifier with rice husk as a fuel for drying paddy for community rice mill.

2.3 การออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ (Microcontroller + Sensors สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น)

การออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติของโปรแกรมระบบสมองกลฝังตัว (Arduino) เริ่มต้นจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (AMT1001) ส่งสัญญาณทางไฟฟ้าเข้ามายังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำค่าอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดมาประมวลผล และส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปยัง relay เพื่อไปควบคุมการทำงานของระบบควบคุมป้อนกลับ และระบบควบคุมป้อนข้าวเปลือกซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ภิญโญและคณะ (2554) แสดง Figure 3

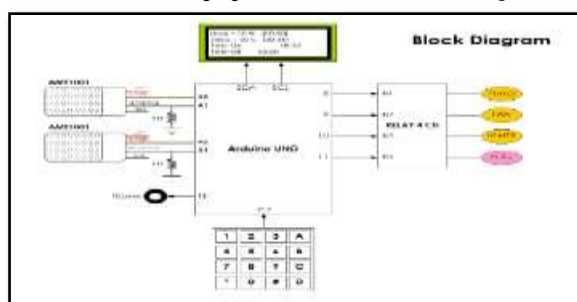


Figure 3 Diagram Arduino

3. การวางแผนการทดลอง

- พันธุ์ข้าวดอกหอมมะลิ 105 และข้าวพื้นเมืองพันธุ์หอมใบเตย จำนวน 300 kg ต่อครั้ง
- อัตราการป้อน จำนวน 300 kg/h
- การทดลอง 3 ซ้ำ
- จับเวลาให้เป็นมาตรฐานทุก 1 ชั่วโมงในการวัดความชื้น

4. การเก็บผลทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบทอหมุนพลังงานแก๊สซีฟิเออร์ควบคุมอัตโนมัติ

- เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกความชื้นเริ่มต้น 25–28% wb จากโรงสีชุมชนอำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์
- ทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบทอหมุน (Rotary Drum Dryer) พลังงานแก๊สซีฟิเออร์ควบคุมอัตโนมัติ
- ทำการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบข้าวเปลือกที่พัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิที่ 70, 80, 90 และ 100 °C

และอัตราการไหลของลมร้อน 44–97 m³/ton

- บันทึกค่าความชื้นเป็นมาตรฐานช่วง ๆ ทุก 1 ชั่วโมง จนได้ระดับความชื้นมาตรฐาน 14–15% wb

- นำไปสีเพื่อประเมินสัดส่วนข้าวตันตามมาตรฐานข้าวไทย ร้อยละความแตกร้าว

ผล

1. การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบทอหมุนพลังงานแก๊สซีฟิเออร์ควบคุมอัตโนมัติ

1.1 สร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบทอหมุน (Rotary Drum Dryer)

การสร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบทอหมุน (Rotary Drum Dryer) ในช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงสำหรับโรงสีข้าวชุมชนจังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้เทคนิคโรตารีหมุนต่อเนื่องชนิดอากาศร้อนไหลตาม สามารถอบแห้งข้าวเปลือกที่มีกำลังผลิตอัตราป้อน 5 kg/min หรือ 300 kg/h โดยท่ออบมีขนาดความยาว 4.5 m และเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m แสดง Figure 4



Figure 4 Rotating paddle type concurrent flow hot air paddy dryer for community level

1.2 การสร้างและทดสอบเครื่องแก๊สซิไฟเออร์จากเชื้อเพลิงแกลบ

การสร้างและทดสอบเครื่องแก๊สซิไฟเออร์จากเชื้อเพลิงแกลบ สำหรับใช้อบแห้งข้าวเปลือกช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงในโรงสีข้าวชุมชน โดยใช้เทคนิคผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลลงต่อเนื่อง เครื่องแก๊สซิไฟเออร์จากเชื้อเพลิงแกลบโดยอัตราป้อนเชื้อเพลิงแกลบที่ 6 kg/min สามารถใช้อบแห้งข้าวเปลือกที่มีกำลังผลิต 300 kg/h โดยมีอุณหภูมิชั้นเผาไหม้เฉลี่ย 850 °C และอัตราการไหลของอากาศ 0.03 m³/min และอัตราการป้อนแกลบ 0.5 kg/min แสดง Figure 5



Figure 5 Design and test of the gasifier with rice husk as a fuel for drying paddy for community rice mill.

1.3 การสร้างและทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติ (Microcontroller + Sensors สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น)

การสร้างและทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติของโปรแกรมระบบสมองกลฝังตัว (Arduino) เริ่มต้นจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น ส่งสัญญาณทางไฟฟ้าเข้ามายังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำค่าอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดมาประมวลผล และส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปยัง Relay เพื่อไปควบคุมการทำงานของระบบควบคุมควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 70, 80, 90 และ 100 °C และอัตราการไหลของลมร้อน 44–97 m³/ton สอดคล้องกับงานวิจัยของพิรสิทธิ์และคณะ (2557) การทดสอบและแก้ไขโปรแกรมของการควบคุมการอบแห้งข้าวเปลือก ภายหลังจากเขียนโปรแกรมเสร็จสิ้น โดยต้องทำการทดสอบโปรแกรมเพื่อหาข้อผิดพลาด (error) ซึ่งข้อผิดพลาดที่พบในขั้นตอนการทดสอบโปรแกรมจะต้องนำมาปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ แสดง Figure 6

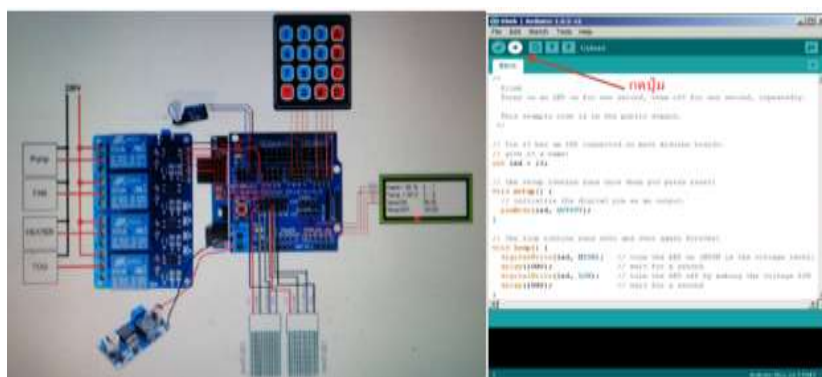


Figure 6 Arduino

1.4 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบท่อหมุนที่ใช้พลังงานจากระบบแก๊สซิฟิเคชันควบคุมอัตโนมัติ

จากการศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) กับการใช้แก๊สผ่านระบบแก๊สซิฟิเคชันสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก พบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของลมร้อนเพิ่มสูงขึ้น โดยสำหรับกรณีใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิการเป่า 70, 80, 90 และ 100 °C เท่ากับ 0.0260, 0.0220, 0.0185 และ 0.0167 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก ตามลำดับ ในขณะที่กรณีใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงผ่านระบบแก๊สซิฟิเคชัน มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิเดียวกันเท่ากับ 0.138, 0.117, 0.0984 และ 0.0888 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก ตามลำดับ แสดง Figure 7

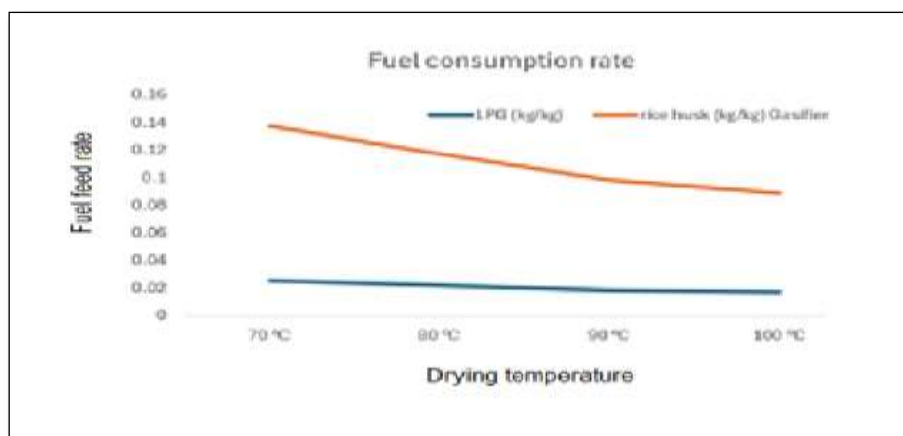


Figure 7 Fuel consumption rate

1.5 ประสิทธิภาพการอบแห้งและอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องอบแห้งแบบท่อหมุน

จากการศึกษาพบว่า ระยะเวลาอบแห้ง (Drying time) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น โดยลดจาก 6.0 ชั่วโมงที่ 70 °C เหลือ 5.0 ชั่วโมงที่ 100 °C ซึ่งบ่งชี้ว่าอุณหภูมิสูงช่วยเร่งการถ่ายเทความร้อนและความชื้น ทำให้ข้าวเปลือกแห้งเร็วขึ้น ในขณะเดียวกัน ประสิทธิภาพการอบแห้ง (Drying efficiency) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามอุณหภูมิ จาก 84.5% ที่ 70 °C เป็น 88.2% ที่ 100 °C โดยค่าต่าง ๆ ที่มีตัวอักษร a, b แสดงถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง แต่ผลต่างระหว่าง 90–100 °C ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนอัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel consumption rate) มีแนวโน้มลดลงจาก 1.40 kg/kg ที่ 70 °C เหลือ 1.18 kg/kg ที่ 100 °C ซึ่งสะท้อนว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนักข้าวเปลือก ช่วยประหยัดพลังงานและลดต้นทุนได้ แสดง Table 1

Table 1 Drying efficiency and average fuel consumption of rotary tube dryers.

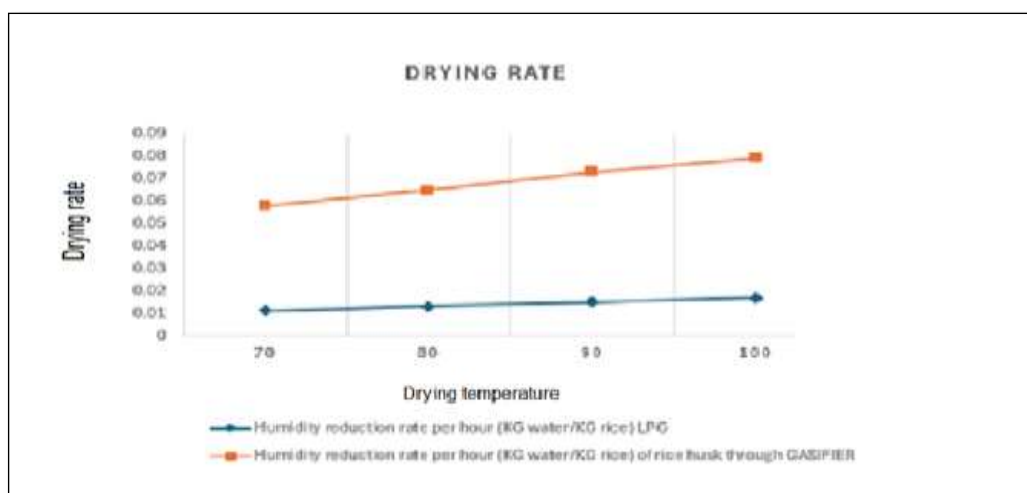
temperature (°C)	Drying time (hrs)	Drying efficiency (%)	Fuel consumption rate (kg/kg)
70	6.0 ± 0.2	84.5 ± 0.5 b	1.40 ± 0.05 a
80	5.5 ± 0.1	86.0 ± 0.6 ab	1.25 ± 0.04 b
90	5.2 ± 0.1	87.8 ± 0.7 a	1.20 ± 0.03 b
100	5.0 ± 0.1	88.2 ± 0.8 a	1.18 ± 0.03 b

2. การทดสอบคุณภาพข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง

2.1 อัตราการอบแห้ง (Drying rate curve)

การทดลองอบแห้งข้าวเปลือกดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการควบคุมสองแบบ ได้แก่ การควบคุมด้วยพนักงาน (manual control) และ การควบคุมอัตโนมัติ (automatic control) โดยใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้งช่วง 70–100 °C เพื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกสด (ข้าวเปลือกที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้งก่อนการทดลอง) จากความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25–28 wb จนกระทั่งความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 wb พิรสิทธิ์ ทายนาคและคณะ (2556)

ผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้ง (Drying rate) ของข้าวเปลือกมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยอัตราการลดความชื้นเฉลี่ยต่อชั่วโมงสำหรับอุณหภูมิต่าง ๆ และเชื้อเพลิงที่ใช้ แสดง Figure 8

**Figure 8** Drying rate

2.2 อัตราส่วนข้าวต้น และร้อยละความแตกร้าว

อัตราส่วนข้าวต้น และร้อยละความแตกร้าวแสดง Table 2

Table 2 Quality of rice after drying and milling

temperature (°C)	Moisture after drying(%wb)	Drying efficiency (%)	Fuel consumption rate (kg/kg)
70	14.9 ± 0.2	84.2 ± 0.6 b	15.8 ± 0.3 a
80	14.7 ± 0.2	84.5 ± 0.5 ab	15.5 ± 0.2 b
90	14.5 ± 0.1	85.3 ± 0.4 a	14.7 ± 0.2 c
100	14.4 ± 0.1	85.9 ± 0.4 a	14.1 ± 0.3 bc

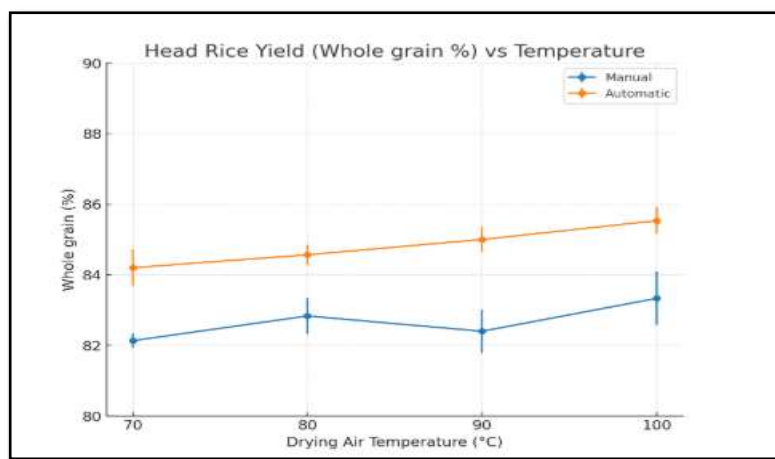


Figure 9 Head Rice Yield (Whole grain %) vs Temperature

2.2.1 อัตราสัดส่วนข้าวต้น (Whole grain proportion / Head rice yield)

กราฟแสดงผลผลิตข้าวต้น (Whole grain %) พบว่าแนวโน้มของข้าวต้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นจาก 70 ถึง 100 °C โดยการควบคุมแบบอัตโนมัติให้ผลผลิตข้าวต้นสูงกว่าการควบคุมด้วยพนักงานทุกช่วงอุณหภูมิ ความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 2–3% สะท้อนให้เห็นว่าระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถรักษาเสถียรภาพของอุณหภูมิและความชื้นในระหว่างการอบแห้งได้ดีกว่า ทำให้เมล็ดข้าวแห้งอย่างสม่ำเสมอและลดความเสียหายที่เกิดจากการแตกร้าว ส่งผลให้ได้ผลผลิตข้าวต้นมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wetchacama (*et al.* 1992) ที่ชี้ว่าการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมช่วยลดความเสียหายของเมล็ดได้จากการคำนวณด้วยสมการ อัตราสัดส่วนข้าวต้น (%) = สัดส่วนของเมล็ดข้าวที่ยังเป็นเมล็ดสมบูรณ์ (ไม่แตกหัก) หลังกระบวนการสี/แยก ต่อมวลตัวอย่างรวม (หรือต่อน้ำหนักข้าวขาวก่อนสี ขึ้นกับนิยาม) แสดง Figure 9

2.2.2 ร้อยละข้าวหัก (Broken percentage)

กราฟแสดงร้อยละข้าวหัก (Broken rice %) พบว่ามีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 70 ถึง 100 °C โดยผลการควบคุมอัตโนมัติให้ค่าข้าวหักต่ำกว่าการควบคุมด้วยพนักงานทุกช่วงอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถลดความผันผวนของอุณหภูมิและความชื้นในกระบวนการอบแห้ง ส่งผลให้เมล็ดข้าวเปลือกแห้งอย่างสม่ำเสมอและลดความเค้นภายในเมล็ดที่เป็นสาเหตุหลักของการแตกร้าว ดังนั้น การใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติไม่เพียงช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิต แต่ยังลดการสูญเสียจากการแตกร้าวของเมล็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งคำนวณด้วยสมการร้อยละข้าวหัก (%) = ร้อยละของเมล็ดข้าวที่แตก/หัก ต่อมวลตัวอย่างรวม (หรือต่อน้ำหนักข้าวขาวก่อนสี) แสดง Figure 10

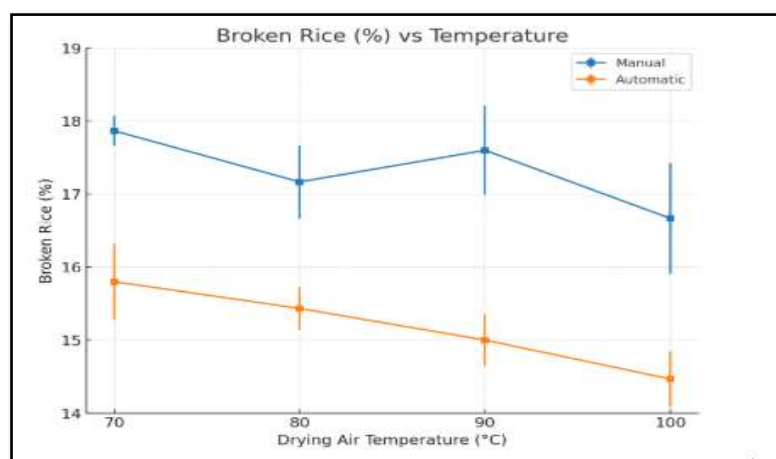


Figure 10 Broken Rice (%) vs Temperature

วิจารณ์ผล

ผลการวิจัยยืนยันว่าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบท่อหมุนที่ใช้พลังงานจากระบบแก๊สซีพีเออร์เชื้อเพลิงแอลบร่วมกับการควบคุมอัตโนมัติ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบดั้งเดิมและการควบคุมด้วยแรงงานคน อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแอลบที่ 1.2–1.4 กก./กก. ข้าวเปลือกที่ลดความชื้น แสดงถึงความคุ้มค่าและช่วยลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้ถึง 18–22% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Vattanukul และ Soponronnarit (2010) ขณะเดียวกัน สัดส่วนข้าวตันที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3–4% สะท้อนให้เห็นถึงคุณภาพผลผลิตที่ดีกว่า ทั้งนี้ เนื่องจากระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถรักษาเสถียรภาพของอุณหภูมิและความชื้นในกระบวนการอบแห้งได้อย่างสม่ำเสมอ ลดความเค้นภายในเมล็ดและความเสียหายจากการแตกร้าว ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและการแพร่กระจายความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกที่มีการอธิบายไว้ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Kumar *et al.* (2015) อธิบายว่า การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจะช่วยลดความต่างศักย์ของการแพร่กระจายไอน้ำในเมล็ด ทำให้การอบแห้งมีความสมดุลและลดการแตกร้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาในมิติของการประยุกต์ใช้ในโรงสีชุมชน เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบโจทยปัญหาความชื้นสูงของข้าวเปลือกที่เพิ่งเก็บเกี่ยว ลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (แอลบ) ที่มีอยู่ในพื้นที่ปริมาณมาก จึงถือเป็นการยกระดับเทคโนโลยีการแปรรูปข้าวในระดับท้องถิ่น ทั้งในด้านประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพผลผลิต และความยั่งยืนด้านพลังงานซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการพัฒนาอย่างยั่งยืนซึ่งสอดคล้องกับงานของ Chinsuwan และ Srichai (2016)

สรุป

งานวิจัยนี้สามารถออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบท่อหมุนที่ขับเคลื่อนด้วยระบบแก๊สซีพีเออร์เชื้อเพลิงแอลบและควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติได้สำเร็จ โดยเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นสามารถ

1. ลดความชื้นข้าวเปลือกจาก 25–28% wb เหลือ 14–15% wb
2. มีประสิทธิภาพการอบแห้งเฉลี่ย 85–88%
3. ประหยัดเชื้อเพลิงมากกว่าการใช้ LPG ประมาณ 18–22%
4. เพิ่มสัดส่วนข้าวตัน (Whole grain) หลังการสีได้เฉลี่ย 3–4%

ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบโจทยการแก้ปัญหาความชื้นสูงของข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของโรงสีชุมชน โดยใช้ทรัพยากรชีวมวลที่มีอยู่ในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์สูงสุด อันสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการพัฒนาอย่างยั่งยืน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องของสถานที่ และอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Basu, P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Academic Press.
- Chinsuwan, W., and S. Srichai. 2016. Performance evaluation of a rice husk gasifier for drying applications in community rice mills. *Energy Procedia*, 100, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.163>
- Kumar, C., M.U.H. Joardder, T.W. Farrell, M.A. Karim and R.J. Brown. 2015. Multiphase porous media modelling of rice drying: A review. *Journal of Food Engineering*, 149, 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.031>
- Mujumdar, A. S. 2014. *Handbook of Industrial Drying* (4th ed.). CRC Press.
- Srivastava, R. K., and S. Prasad. 2001. Design and performance evaluation of an inclined bed dryer for paddy. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(2), 203–210. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0700>
- Theerarattananoon, K., and C. Srisuwan. 2018. Development of automatic control systems in paddy drying for energy saving and product quality improvement. *Kasetsart Journal of Natural Science*, 52(3), 391–402.
- Vattanukul, S., and S. Soponronnarit. 2010. Energy analysis in paddy drying using biomass gasification system. *Renewable Energy*, 35(11), 2439–2447. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.007>
- Wetchacama, S. and S. Soponronnarit. 1992. Drying characteristics of high-moisture paddy in a rotary drum dryer. *Drying Technology*, 10(4), 953–968. <https://doi.org/10.1080/07373939208916397>

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2561. รายงานสถานการณ์การผลิตและการตลาดข้าว. เกียรติศักดิ์ ใจโต. 2561. รายงานผลการสำรวจคุณภาพข้าวสารในโรงสีจังหวัดนครสวรรค์.
- ภิญโญ ชุมมณี, วีระชาติ จรติงาม, ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง และ วชิระ ชัยสงคราม. 2554. ออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกสำหรับโรงสีข้าวชุมชน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42 (3 พิเศษ): 597-600.
- ภิญโญ ชุมมณี, วีระชาติ จรติงาม, ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง และ วชิระ ชัยสงคราม. 2555. การออกแบบและทดสอบเครื่องแกสซิไฟเออร์จากเชื้อเพลิงแกลบสำหรับใช้ออบแห้งข้าวเปลือกในโรงสีข้าวชุมชน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43 (3 พิเศษ): 151-154
- ภิญโญ ชุมมณี และ วีระชาติ จรติงาม. 2562. การทดสอบประสิทธิภาพตู้อบแห้งปลาคุ้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาแก๊สซีพีไฟเออร์แบบไหลลงโดยใช้เชื้อเพลิงแกลบอัดแท่ง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 49 (3 พิเศษ) : 343-346.
- ภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรง. 2556. การออกแบบและประเมินสมรรถนะเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์. วารสารวิศวกรรมเกษตร, 20(2), 45-53.
- พิรสิทธิ์ ทวยนาค, มณฑล ชูโซนาค, มุสตาฟา ยะกา และประชา บุญยวนิชกุล. 2557. ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 25(3), 12-20.