

การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ครีบนำความร้อนรูปทรงกระบอกสำหรับอบแห้งขมิ้นชัน Thermal Efficiency Enhancement of a Solar-Powered Dryer Equipped with Cylindrical Heat Fins for Turmeric Drying

สมมาตร สุบรรณพงษ์¹ และ จารุมาศ รักทองหล่อ^{2*}
Sommart Subannapong¹, and Jarumast Raktonglor^{2*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

²สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

¹Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

²Department of Logistics Management, Faculty of Management Science, Thepsatri Rajabhat University

*Email: Jarumast.r@lawasri.tru.ac.th

Received: May 7, 2025; Revised: September 17, 2025; Accepted: November 14, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยติดตั้งครีบนำความร้อนรูปทรงกระบอกสำหรับการอบแห้งขมิ้นชัน โดยตู้อบแห้งต้นแบบมีขนาดพื้นที่ $1 \times 1 \text{ m}^2$ เป็นรูปแบบหลังคาพาราโบลาพร้อมติดตั้งครีบนำความร้อนที่มีความยาวต่างๆ (10, 20, 30, 40 และ 50 mm) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง อัตราการถ่ายเทความร้อน ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ การศึกษาเชิงทดลองดำเนินการภายใต้สภาวะจำลองด้วยรังสีแสงอาทิตย์ด้วยหลอดฮาโลเจนขนาด 1500 วัตต์ พบว่าครีบที่มีความยาว 40 mm สามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบได้สูงสุด 54°C และให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดถึง 37 W และส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงสุดเฉลี่ยในช่วง 4.7–6.3% ที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศอยู่ในช่วง 2.5×10^{-3} – $7.0 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$ ซึ่งสูงกว่าครีบนำความร้อนที่ค่าความยาวอื่นๆ สำหรับการศึกษาศักยภาพเชิงความร้อนระหว่างตู้อบแห้งที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งครีบนำความร้อนที่ติดตั้งจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยตลอดการอบแห้งสูงกว่ากรณีไม่ติดตั้งประมาณ 2% โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นกระบวนการอบแห้ง (10.30–12.00 น.) ตู้อบแห้งที่ติดตั้งจะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดถึง 36% และตู้อบแห้งที่ติดตั้งสามารถลดอัตราความชื้นได้รวดเร็วกว่าในช่วงแรก โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านความชื้น เนื้อสัมผัส สี และกลิ่น จากการประยุกต์ใช้งานจริงในระดับชุมชนตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นสามารถลดต้นทุนค่าไฟฟ้าเฉลี่ยได้ประมาณ 5 บาท/กิโลกรัม/วัน เมื่อเทียบกับการใช้ตู้อบไฟฟ้าแบบดั้งเดิม โดยการใช้งานตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้รับบริการในภาพรวมอยู่ในระดับระดับดีมากโดยมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 91.55 สะท้อนถึงความเหมาะสมของเทคโนโลยีนี้ในการนำไปขยายผลใช้งานจริงสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในระดับชุมชน

คำสำคัญ : ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ครีบนำความร้อนรูปทรงกระบอก, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, การอบแห้งขมิ้นชัน

Abstract

This research aimed to enhance the thermal efficiency of a solar-powered dryer by integrating cylindrical heat fins for turmeric drying. The prototype dryer was designed with a drying area of $1 \times 1 \text{ m}^2$ and a parabolic-shaped roof, equipped with cylindrical heat fins of varying lengths (10, 20, 30, 40, and 50 mm) to investigate their effects on internal temperature, heat transfer rate, energy efficiency, and thermal efficiency of the solar dryer. Experimental studies were conducted under simulated solar radiation conditions using a 1,500 watt halogen lamp. The results indicated that the heat fin with a length of 40 mm achieved the highest internal temperature of 54°C and the highest heat transfer rate of 37 W. Additionally, it provided the highest average energy efficiency, ranging between 4.7% and 6.3%, at an air mass flow rate of 2.5×10^{-3} – $7.0 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$, which outperformed fins of other lengths. When comparing

the thermal efficiency between dryers with and without heat fins, the fin-equipped dryer exhibited an average thermal efficiency approximately 2% higher throughout the drying process, with a peak thermal efficiency of 36% during the initial drying stage (10:30–12:00 hrs). Moreover, the fin-equipped dryer demonstrated a faster reduction in moisture content during the initial drying phase without compromising the quality attributes of the product, including moisture content, texture, color, and aroma. From practical application at the community level, the developed solar-powered dryer was able to reduce electricity costs by approximately 5 baht/kilogram/day compared to conventional electric dryers. The evaluation of user satisfaction revealed an overall satisfaction rating at a "very good" level, with an average score of 91.55%, reflecting the suitability of this technology for further application in community-based agricultural product processing.

Keywords : Solar-powered dryer, Cylindrical heat fins, Thermal efficiency, Turmeric drying

1. บทนำ

กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรตำบลบ้านทราย อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี ที่ทำธุรกิจแปรรูปหมั่นชั้นอบแห้ง ประสบปัญหาต้นทุนพลังงานที่สูงจากการใช้ตู้อบไฟฟ้าในการอบหมั่นชั้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้กำไรและศักยภาพในการแข่งขันของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีที่มาจากความจำเป็นในการหาแนวทางในการลดต้นทุนด้านพลังงานการใช้ไฟฟ้าในการอบแห้ง และได้เห็นถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนเนื่องจากระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีต้นทุนต่ำ สามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทน ระบบการทำงานไม่ซับซ้อน เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับเกษตรกรทั่วไป งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาเทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต ซึ่งเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดย Ajay Kumar et al. [1] ได้เสริมแนวคิดการกระจายลมร้อนแบบหลายจุด (MPAS) ภายในตู้อบหลายชั้นเพื่อแก้ไขปัญหาความไม่สม่ำเสมอในการอบแห้ง ช่วยลดระยะเวลาอบแห้ง 22% และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ยขึ้น 23.3% ขณะเดียวกันในประเทศไทยมีการพัฒนาเทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง ในปี 2022 Barghi Jahromi et al. [2] ได้ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) ในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเสถียรภาพอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบได้สูงสุดถึง 39% ต่อมา Kebede et al. [3] ได้นำแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการเสริมพัดลมโซลาร์เซลล์และกระจกสะท้อนแสงในตู้อบขนาดเล็กสำหรับพื้นที่สูงในเอธิโอเปีย ทำให้ลดความชื้นของเมล็ดกาแฟได้อย่างรวดเร็วภายใน 2 วัน พร้อมเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ถึง 35.2% นอกจากนี้ Kerse et al. [4] ได้พัฒนาตู้อบโดยรวมระบบกักเก็บพลังงาน PCM และออกแบบแผงรับแสงแบบ Double Pass Solar Air Heater เพื่อเร่งกระบวนการอบแห้งพริกแดงและรักษาคุณภาพสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ต่อเนื่องด้วยการศึกษาของ Kumar et al. [5] ที่นำเสนอการออกแบบโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานรูปทรงโค้งและสี่เหลี่ยม ซึ่งช่วยลดเวลาการอบแห้งและลดต้นทุนพลังงานลงอย่างชัดเจน พร้อมเพิ่มอัตราการคืนทุนในระยะเวลาอันสั้น ในปี 2564 กฤษภากร ศุภระมูล และคณะ [6] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตากแห้งโดยตรงสำหรับกล้วยน้ำว้าในระดับชุมชน โดยได้ดำเนินการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิและประสิทธิภาพการกระจายความร้อนระหว่างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์กับเครื่องอบลมร้อนทั่วไป โดยใช้การวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบทุก 15 นาที ตั้งแต่ 09.00–16.00 น. เป็นเวลา 10 วัน พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำอุณหภูมิเฉลี่ยได้ 62.68°C ซึ่งช่วยลดการปนเปื้อนและใช้พลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมาในปี 2565 ชาญฉติ วรรณนุรักษ์ [7] ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบที่ติดตั้งท่อทองแดงพันสี่ดำจำนวน 30 ท่อ เพื่อเพิ่มการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผลการอบกล้วยน้ำว้าพบว่าสามารถลดน้ำหนักจาก 1 กิโลกรัมเหลือ 0.35 กิโลกรัมภายใน 5 วัน โดยมีค่าความชื้นเฉลี่ยลดลงได้ถึง 74.29% และมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ 63.5% อีกทั้งสามารถคืนทุนได้ภายใน 9 วัน และสร้างรายได้สุทธิสูงถึง 52,459.68 บาทต่อปีในปีเดียวกัน เสริมศักดิ์ ทิพย์วงศ์ และคณะ [8] ได้พัฒนาเทคโนโลยีห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำโดยใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตโปร่งแสงแทนกระจก ซึ่งสามารถลดการซึมผ่านของรังสี UVA และ UVB ได้มากถึง 88% ขณะที่ยังสามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องอบได้สูงสุดถึง 58 °C ในช่วงกลางวัน การอบแห้งเนื้อมะขามพบว่าสามารถลดน้ำหนักได้สูงสุด 1,217 กรัม และลดค่าความชื้นได้ 30% ภายในเวลา 8 ชั่วโมง พร้อมผลการประเมินความพึงพอใจในระดับ "มากที่สุด" เฉลี่ย 4.70 คะแนน จากการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ต่อเนื่องในปี 2567 เอกราช

นาคนวล และ แม้นวาด รชนีกรไกรลาศ [9] ได้ออกแบบตู้อบพลังงานร่วมที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าสำรองจากแบตเตอรี่ ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 35–40 °C ได้อย่างต่อเนื่องแม้ในช่วงที่ไม่มีแสงแดด โดยผลการทดสอบพบว่า สามารถรักษาเสถียรภาพของอุณหภูมิในทุกสภาวะอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสมต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในทุกฤดูกาล ขณะที่ อภิณูญา สายศรีแก้ว และคณะ [10] ได้นำเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) มาใช้ควบคุมตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านเซ็นเซอร์ DHT21 และระบบควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน โดยผลการทดสอบพบว่า ในโหมดใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างเดียวสามารถอบหมูแดดเดียวเสร็จภายใน 2 ชั่วโมง และในโหมดพลังงานรวมสามารถลดระยะเวลาอบเหลือเพียง 1 ชั่วโมง ทั้งนี้ระบบได้รับการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญในระดับ “มากที่สุด” ด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.78 คะแนน

จากพื้นฐานแนวคิดและผลงานวิจัยที่ผ่านมา ผู้วิจัยจึงพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบแบบเรือนกระจกที่ติดตั้งครีบน้ำความร้อนทรงกระบอกบริเวณหลังคารับแสง เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในตู้อบแห้งสำหรับช่วยให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบได้เร็วขึ้น ลดระยะเวลาในการอบแห้งขึ้นและส่งผลให้มีการใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยตอบโจทย์ทั้งทางด้านวิศวกรรมและความยั่งยืนทางเศรษฐกิจสำหรับกลุ่มเกษตรกรระดับชุมชน

2. วิธีการวิจัย

2.1 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบ

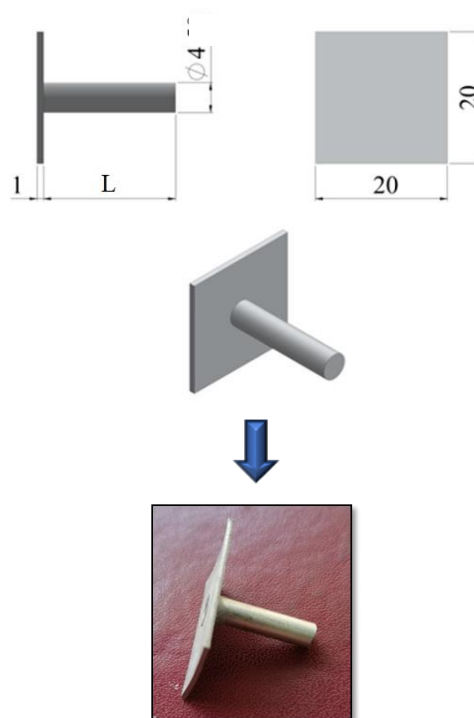
ตู้อบแห้งพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ต้นแบบเป็นชนิดหลังคาแบบพาราโบลาที่มีขนาดพื้นที่ที่อบแห้งเท่ากับ 1x1 m² และมีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ (A_s) เท่ากับ 1.16 m² ตู้อบแห้งมีโครงสร้างเป็นเหล็กกล่องเคลือบสารป้องกันสนิมและปิดผิวด้วยแผ่นโพลีคาบอนเตชนิดโปร่งใส ดังรูปที่ 1



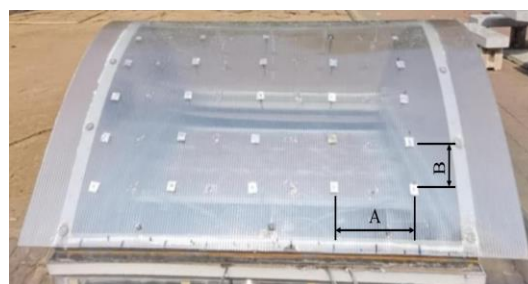
รูปที่ 1 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหลังคาพาราโบลา ขนาด 1x1 m2

2.2 การติดตั้งครีบน้ำความร้อน

การวิจัยด้านการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการติดตั้งครีบน้ำความร้อนทรงกระบอกที่มีความยาวแตกต่างกัน (L) 10, 20, 30, 40 และ 50 mm. ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 เพื่อประเมินผลกระทบของความยาวครีบน้ำความร้อนต่อการถ่ายเทความร้อนภายในตู้อบแห้ง ครีบน้ำความร้อนติดตั้งในตำแหน่งที่ระยะ A=200 mm. และ B=100 mm. จากจุดอ้างอิงภายในตู้อบแห้ง ดังรูปที่ 3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของความยาวครีบน้ำความร้อนที่ค่าต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน



รูปที่ 2 ครีบน้ำความร้อนแบบทรงกระบอก



รูปที่ 3 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหลังคาสามเหลี่ยมมุมฉากที่ติดตั้งครีบน้ำความร้อน

2.3 ตู้อบแห้งไฟฟ้า

ตู้อบแห้งที่ใช้ภายในปัจจุบันของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรตำบลบ้านทราย เป็นตู้อบแห้งที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการอบแห้ง มีอัตราการผลิตขึ้นชั้นอบแห้ง จำนวน 10 กิโลกรัม/ครั้ง

ซึ่งมีต้นทุนการอบแห้งเฉลี่ยอยู่ที่ 5 บาท/วัน คิดเป็น 5 บาท/กิโลกรัม/วัน (8 ชั่วโมง) โดยเก็บผลต้นทุนการอบแห้งจากเครื่องมือวัดวัตต์มิเตอร์



รูปที่ 4 ตู้อบแห้งไฟฟ้า

3. การดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการทดลอง

1) เก็บผลในห้องทดลอง

ทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งครีบทวนำความร้อนที่ความยาวต่าง ๆ โดยจ่ายพลังงานความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนเสมือนจากหลอดไฟฮาโลเจน ขนาด 1500 W จำนวน 1 หลอด ทำการทดสอบดังนี้

1.1) ทดสอบหาค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เสมือนของหลอดไฟฮาโลเจน ด้วยเครื่องวัดค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ จำนวน 100 จุด ดังรูปที่ 5

1.2) ทดสอบหาค่าอัตราการไหลจากเครื่องวัดค่าความเร็วของอากาศ รุ่น DT-619 บริเวณทางเข้าและทางออกอากาศของตู้อบแห้ง จำนวน 6 ค่าความเร็ว ดังรูปที่ 6

1.3) ทดสอบหาค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งบริเวณพื้นที่อบแห้ง (ถาดอบแห้ง) โดยติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิ จำนวน 10 จุดเฉลี่ยเท่า ๆ กัน เต็มพื้นที่ ดังรูปที่ 7

1.4) นำผลการทดสอบมาคำนวณหาค่าอัตราการไหลของอากาศ การถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพเชิงพลังงานตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (η_e) ที่ค่าอัตราการไหลต่าง ๆ

2) ทดสอบเก็บผลผลิตภัณฑ์

2.1) ทดสอบหาค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้ง ณ ช่วงเวลาทดสอบต่าง ๆ

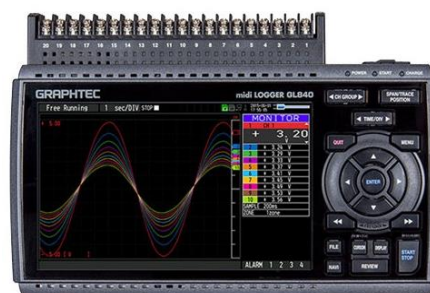
2.2) นำผลการทดสอบมาคำนวณหาอัตราความชื้นของผลิตภัณฑ์ (drying rate) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 5 เครื่องวัดค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ รุ่น SMP-1116SD



รูปที่ 6 เครื่องวัดค่าความเร็วของอากาศ รุ่น DT-619



รูปที่ 7 เครื่องวัดค่าอุณหภูมิ รุ่น midi logger gl840

3.2 สมการ

อัตราส่วนความชื้น คือ สัดส่วนของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบเมื่อเทียบกับมวลของวัตถุดิบ โดยสามารถแสดง 2 รูปแบบ ได้แก่ อัตราส่วนความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis) และอัตราส่วนความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis)

ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis): M_w

$$M_w = \frac{W - d}{W} \times 100 \quad (1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis): M_d

$$M_d = \frac{W - d}{d} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, % w.b.

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, % db.

W คือ มวลของวัสดุ, kg
 d คือ มวลของวัสดุแห้ง, kg

อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) คือ อัตราการไหลของปริมาณของไหลที่แสดงโดยมวลในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\dot{m} = \rho \bar{V} A_c \quad (3)$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s
 ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m³
 $\bar{V}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอากาศ, m/s
 A_c คือ พื้นที่หน้าตัดทางเข้าและทางออก, m²

อัตราการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) คือ ความสามารถในการถ่ายโอนพลังงานจากแหล่งสะสมความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งสะสมความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_e - T_i) \quad (4)$$

เมื่อ $\dot{Q}$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อน, W
 $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s
 C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ย, J/kg.°C
 T_i คือ อุณหภูมิที่ทางเข้าตู้อบแห้ง, °C
 T_e คือ อุณหภูมิที่ทางออกตู้อบแห้ง, °C

ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (η_E) คือ ความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนที่ใช้สำหรับอบแห้ง

$$\eta_E = \frac{\dot{m} C_p (T_e - T_i)}{G_T A_s} \quad (5)$$

เมื่อ η_E คือ ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน
 A_s คือ พื้นที่รับแสงอาทิตย์, m²
 G_T คือ รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบพื้นที่รับแสงอาทิตย์, W/m²

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (η_T) หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ให้กับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

$$\eta_T = \frac{\dot{m}_w h_{fg}}{G_T A_s} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ η_T คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงเก็บรังสีดวงอาทิตย์, %

$\dot{m}_w$ คือ อัตราน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์, kg/s

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ (ไอน้ำ), kJ/kg

สถิติในงานวิจัย หมายถึง สถิติพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย โดยเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยใช้สถิติคำนวณค่าร้อยละ (Percentage) เพื่อแปลความหมายข้อมูลส่วนบุคคล และใช้สูตรค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) ดังนี้

การหาค่าร้อยละ (Percentage)

$$P = \frac{f}{n} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ P คือ ค่าร้อยละ
 f คือ ความถี่ที่ต้องการแปลงค่าร้อยละ
 n คือ จำนวนความถี่ทั้งหมด

การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (8)$$

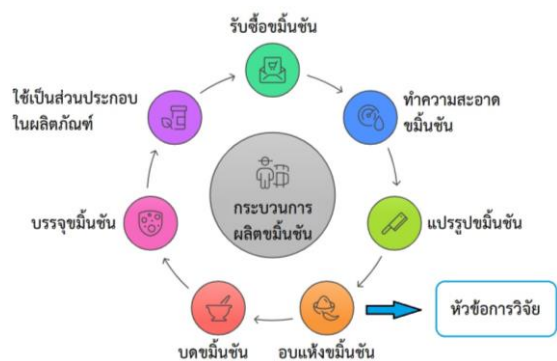
เมื่อ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
 x_i คือ ค่าความถี่ที่ตำแหน่งใด ๆ

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์กระบวนการผลิตขมิ้นชันอบแห้ง

จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลวิจัยสำหรับพัฒนา กับประธานกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรตำบลบ้านทราย พบว่ากระบวนการผลิตขมิ้นชันอบแห้งในระดับชุมชนเริ่มต้นจากการรับซื้อขมิ้นชันสดจากชาวบ้านในพื้นที่ใกล้เคียงเพื่อเป็นการสร้างรายได้แก่เกษตรกรท้องถิ่น พร้อมทั้งช่วยลดต้นทุนด้านการขนส่งวัตถุดิบต่อมาได้นำขมิ้นชันมาทำความสะอาดเพื่อขจัดสิ่งสกปรกและเศษดินออก ก่อนจะนำแปรรูปเป็นแผ่นบาง ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับการอบแห้ง ลดระยะเวลาในการทำแห้ง และรักษาคุณภาพของสารสำคัญในขมิ้นชัน จากนั้นจะนำขมิ้นชันเข้าเครื่องอบแห้ง โดยใช้เวลาประมาณ 6 – 8 ชั่วโมง หลังจากขมิ้นชันผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วจะมีขมิ้นชันมาดเป็นผงละเอียดเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปแปรรูปในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ถัดมาจะทำการบรรจุขมิ้นชันผงลงในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท เพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอกซึ่งเป็นการรักษาคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ในระยะยาว สุดท้ายจะนำขมิ้นชันไปใช้

เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์สมุนไพรต่าง ๆ เช่น ยาหม่อง น้ำยาสระผม ครีมนวด หรือผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพอื่น ๆ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนภาพกระบวนการผลิตผงขมิ้นชันสำหรับนำไปเป็นส่วนผลิตผลิตภัณฑ์

จากการศึกษากระบวนการผลิตผงขมิ้นชันของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน พบว่ากระบวนการผลิตประกอบด้วยหลายขั้นตอน ได้แก่ การรับซื้อวัตถุดิบ การทำความสะอาด การแปรรูปเป็นแผ่นบาง การอบแห้ง การบด การบรรจุ และการนำไปใช้ในส่วนผลิตภัณฑ์สมุนไพร ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีต้นทุนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบ ค่าแรงงาน และต้นทุนพลังงาน โดยข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์ประธานกลุ่มฯ และผู้ปฏิบัติงานระบุว่า ต้นทุนด้านวัตถุดิบและค่าแรงเป็นตัวแปรที่มีความผันผวนและไม่สามารถควบคุมได้ ในขณะที่ต้นทุนพลังงานโดยเฉพาะจากกระบวนการอบแห้งเป็นปัจจัยที่สามารถบริหารจัดการได้

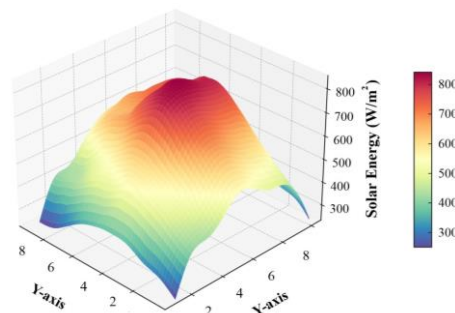
ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาต้นทุนการผลิตอย่างเป็นรูปธรรม ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการพัฒนาอุปกรณ์อบแห้งที่สามารถลดการใช้พลังงาน โดยอาศัยข้อมูลกระบวนการผลิตขมิ้นชันอบแห้งที่วิเคราะห์ได้เป็นฐานในการออกแบบวิจัย โดยเน้นการพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อทดแทนการใช้ตู้อบแห้งไฟฟ้าแบบดั้งเดิม การดำเนินการดังกล่าวเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ทั้งในด้านการลดต้นทุนการผลิตและการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนอย่างยั่งยืนในภาคการเกษตร

4.2 การกระจายความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

รูปที่ 9 (ก) จากการทดลองการกระจายพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้ภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้การจำลองรังสีแสงอาทิตย์ด้วยหลอดฮาโลเจนถูกนำเสนอในรูปแบบแผนภาพ 3 มิติ โดยแสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) บนแกนตั้ง (z-axis) ส่วนแกนระนาบ (x-y axis) แทนตำแหน่งพื้นที่รับแสงของหลังคาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็นช่วงแนวระนาบเพื่อแสดงตำแหน่งที่วัดค่าได้จริง

		BACK											
LEFT	237	309	330	364	380	377	354	337	326	242	RIGHT		
	400	454	506	540	569	560	511	500	472	413			
	478	554	630	715	771	759	697	653	611	526			
	490	580	661	747	809	798	772	721	635	556			
	529	611	690	765	832	829	755	713	677	589			
	549	637	713	788	834	817	746	665	641	577			
	481	575	650	733	788	750	687	651	600	512			
	426	486	544	589	632	621	567	520	450	430			
	397	442	495	537	554	512	497	452	422	404			
	240	294	319	360	371	365	342	297	252	243			
		FRONT											

(ก) แผนภาพการกระจายรังสีความร้อนเสมือน

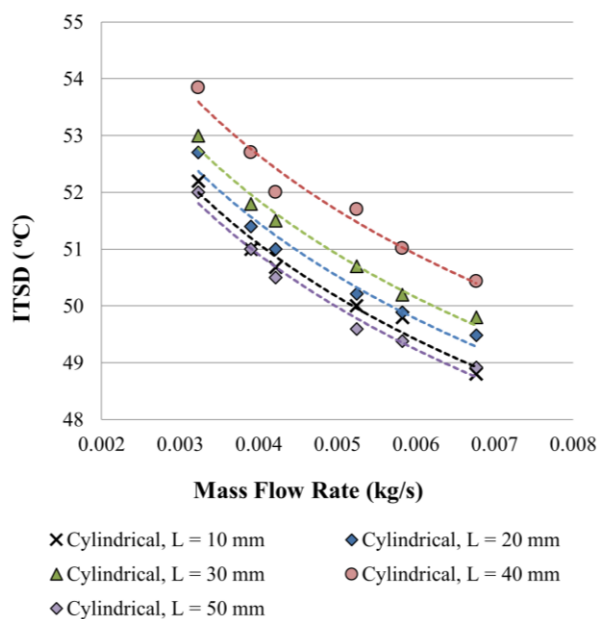


(ข) การกระจายรังสีความร้อนเสมือน 3 มิติ

รูปที่ 9 การกระจายความร้อนเสมือนที่หลังคาตู้อบแห้ง

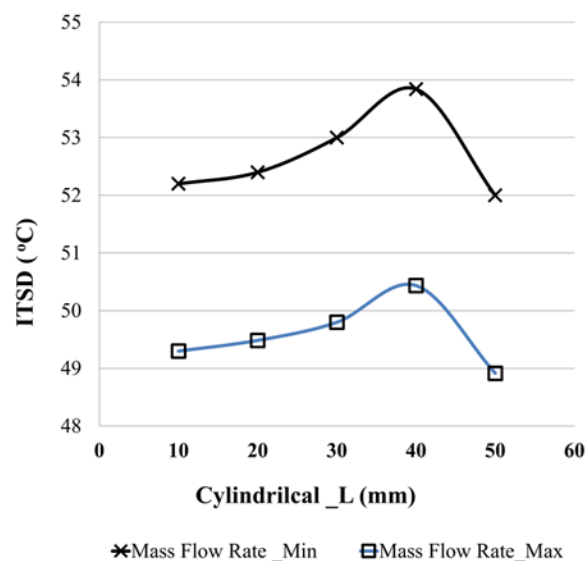
รูปที่ 9 (ข) แสดงการกระจายรังสีความร้อนเสมือน 3 มิติ พบว่า ลักษณะการกระจายรังสีพลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะรูปแบบโดมคว่ำ ซึ่งมีค่าสูงสุดบริเวณกึ่งกลางพื้นที่รับแสงและลดลงตามระยะห่างจากจุดศูนย์กลางไปยังขอบพื้นที่ ทำให้พลังงานรังสีจากหลอดฮาโลเจนถูกส่งออกแบบสมมาตรในแนวรัศมี โดยพื้นที่ของหลังคาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง 237–834 W/m² โดยมีบางตำแหน่งที่สามารถรับได้สูงถึงช่วง 834 W/m² ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของระบบ โดยค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้ตลอดพื้นผิวอยู่ที่ 547 W/m² ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการกระจายรังสีที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง

4.3 อิทธิพลของครีบทวนำความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลกับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ITSD) ที่ติดตั้งครีบทรงกระบอก

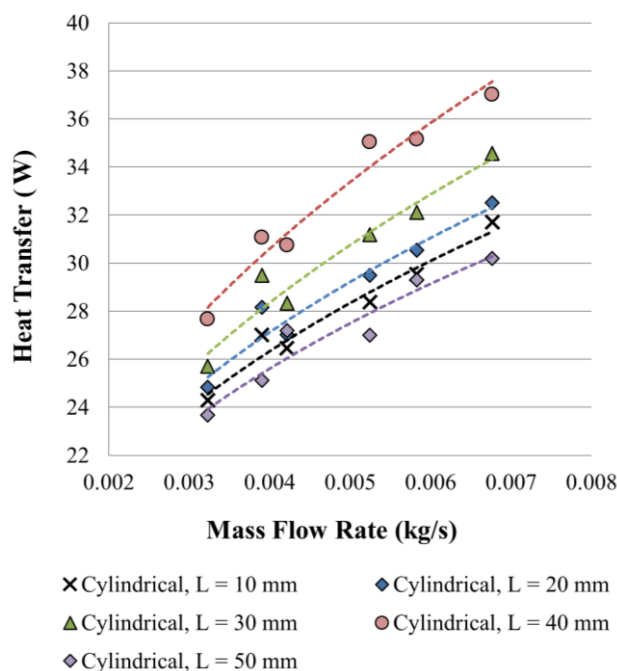
รูปที่ 10 แสดงผลข้อมูลเชิงทดลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลกับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ITSD) ที่มีการติดตั้งครีบทรงกระบอกที่มีความยาวแตกต่างกัน ($L=10-50$ mm.) พบว่า ความยาวของครีบทรงกระบอกจะส่งผลโดยตรงต่อระดับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยครีบทที่มีความยาว 40 mm. สามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้สูงสุดระหว่าง $54-51^{\circ}\text{C}$ รองลงมาคือครีบทยาว 30 mm. ($53-50^{\circ}\text{C}$), 20 mm. ($52-49.5^{\circ}\text{C}$), 10 mm. ($51-49^{\circ}\text{C}$) และ ต่ำสุดคือครีบทยาว 50 mm. ซึ่งให้ค่าอุณหภูมิระหว่าง $50.5-48.5^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเลือกความยาวของครีบทที่เหมาะสมมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน และเมื่อเลือกใช้ครีบทที่มีความยาวมากเกินไป เช่น ครีบทยาว 50 mm. อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนระหว่างทางการนำภายในครีบท ทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความสามารถในการนำความร้อนของครีบทมีขีดจำกัด ซึ่งสัมพันธ์กับความยาว ระยะการนำ และการสูญเสียพลังงานโดยการแผ่รังสี



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวครีบทรงกระบอกกับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวครีบทรงกระบอกกับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ITSD) ที่อัตราการไหลต่ำสุดและสูงสุด พบว่าเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลเพิ่มขึ้นจาก 2.5×10^{-3} เป็น $7.0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนในทุกความยาวครีบท ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศจะส่งผลให้พลังงานความร้อนภายในระบบถูกพาออกไปมากขึ้น ทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายในตู้อบแห้งน้อยลง แม้ในกรณีที่ใช้ครีบทที่มีประสิทธิภาพสูงอย่าง $L=40$ mm. ก็ยังได้รับผลกระทบจากการลดลงของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในทุกช่วงการไหลของอากาศที่ติดตั้งครีบท $L=40$ mm. ยังคงมีค่าสูงกว่าการใช้ครีบทความยาวอื่นภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ซึ่งสะท้อนถึงความเหมาะสมของการออกแบบครีบทที่มีความยาว 40 mm. จะช่วยในการเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

4.4 อิทธิพลของครีบทวนำความร้อนที่มีผลต่อการถ่ายโอนความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

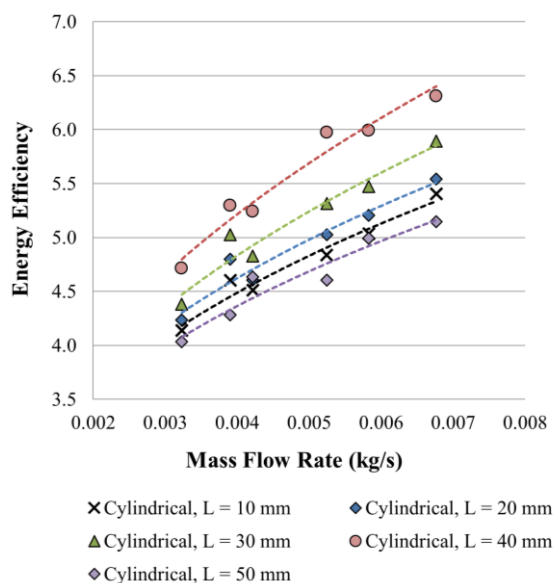


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลกับการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลกับการถ่ายเทความร้อน พบว่าการถ่ายเทความร้อนเกิดความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศกับค่าการถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขการติดตั้งครีบทรงกระบอกที่มีความยาวแตกต่างกัน ($L=10-50$ mm.) โดยเฉพาะครีบทที่มีความยาว $L=40$ mm. ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตลอดช่วงอัตราการไหลเชิงมวลทดสอบ โดยเริ่มต้นมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 28 W และเพิ่มขึ้นจนถึง 37 W เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องผลของการเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (รูปที่ 10-11) ที่แสดงว่า $L=40$ mm. สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในระดับสูงสุดและส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเพิ่มขึ้นสูงสุด สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของครีบทที่มีความยาวเหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน การเพิ่มความยาวของครีบทช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างแหล่งพลังงานกับอากาศที่ไหลผ่าน ส่งผลให้การถ่ายเทพลังงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามครีบทที่มีความยาวเกินเงื่อนไขที่เหมาะสม เช่น $L=50$ mm. ที่มีพื้นที่ผิวมากที่สุดในเงื่อนไขทดสอบ แต่กลับทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนผ่านครีบทมากกว่าที่สามารถถ่ายโอนได้ ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

เพิ่มขึ้น ค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามในทุกความยาวของครีบท เนื่องมาจากการพาความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการไหลของอากาศที่มีความเร็วสูงขึ้น แต่อัตราการแลกเปลี่ยนพลังงานกลับมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของครีบท $L=40$ mm. ซึ่งสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้กับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ในระดับสูงสุดในทุกช่วงของอัตราการไหลที่ทำการทดลอง

4.5 อิทธิพลของครีบทวนำความร้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงพลังงานของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

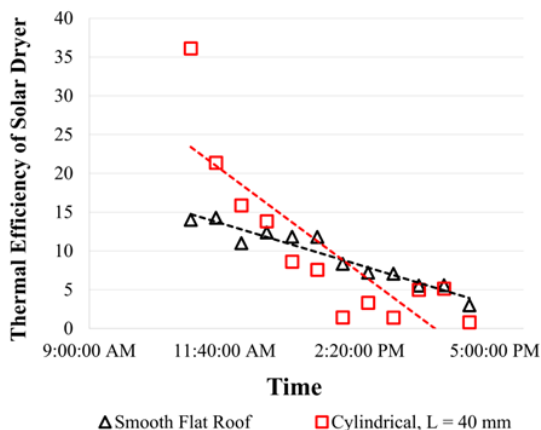


รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศกับประสิทธิภาพเชิงพลังงานของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (Mass Flow Rate) กับประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (Energy Efficiency) ของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้เงื่อนไขการติดตั้งครีบทรงกระบอกที่มีความยาวแตกต่างกัน ($L=10-50$ mm.) พบว่าครีบทที่มีความยาว $L=40$ mm. ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงที่สุดในทุกช่วงของอัตราการไหลเชิงมวล โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 4.7–6.3% ซึ่งสูงกว่าครีบทความยาวอื่นอย่างชัดเจน ขณะที่ครีบท $L=30$ mm. ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.4–5.9% ตามด้วย $L=20$ mm. (4.2–5.5%), $L=10$ mm. (4.1–5.4%) และต่ำสุดคือครีบท $L=50$ mm. (4.0–5.1%) ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนผ่านครีบท (รูปที่ 12) ที่ระบุว่า ความยาวครีบทที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนพลังงานจากพื้นผิวดูดซับเข้าสู่อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในระบบที่อาศัยการพาความร้อนจากการไหลของอากาศ แต่เมื่อครีบทมีความยาวมากเกินเงื่อนไขที่เหมาะสมจะเกิดการสูญเสียพลังงานจากการนำและแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวครีบท

ก่อนที่จะถ่ายโอนไปยังอากาศ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานโดยรวมลดลง

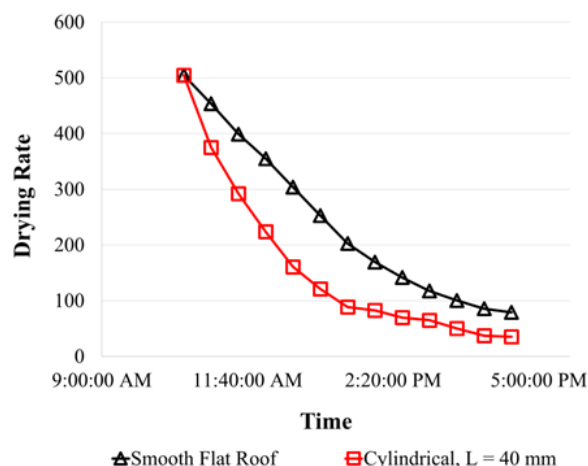
4.6 อิทธิพลของครีบทวนำความร้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างตู้อบแห้งที่ไม่ติดตั้งครีบทวนำความร้อนและระบบที่ติดตั้งครีบทวนำความร้อน

รูปที่ 14 แสดงผลประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างกรณีที่ไม่ติดตั้งครีบทวนำความร้อนกับกรณีที่ติดตั้งครีบทวนำความร้อน 40 mm. พบว่าในกรณีของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีการติดตั้งครีบทวนำความร้อนของค่าประสิทธิภาพที่ค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาอบแห้ง โดยเฉพาะในช่วงเวลา 10.30–16.30 น. ค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วงประมาณ 3–14% และมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยประมาณ 9% ซึ่งแสดงถึงความสามารถของระบบในการรักษาการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปยังวัสดุได้ในระดับคงที่ แม้จะไม่มีอุปกรณ์เสริมในการช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ในขณะที่ระบบที่ติดตั้งครีบทวนำ L = 40 mm. แสดงให้เห็นถึงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าอย่างชัดเจนในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง โดยมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 36% ในเวลา 10.30 น. และยังคงสูงกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งครีบทวนำอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณเวลา 12.30 น. และเมื่อเข้าสู่ช่วงบ่ายค่าประสิทธิภาพกลับลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าเฉลี่ยลดลงเหลือต่ำกว่า 10% ในช่วงบ่าย และต่ำกว่า 5% ในช่วงเวลา 14.00–16.30 น. ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยตลอดช่วงการอบแห้งของระบบที่ติดตั้งครีบทวนำอยู่ที่ประมาณ 11% ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการติดตั้งครีบทวนำจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ในช่วงต้นของกระบวนการอบแห้ง แต่การสูญเสียพลังงานความร้อนในช่วงบ่ายอาจเกิดจากการสะสมความร้อนที่ไม่สามารถถ่ายเทได้ทันหรือการไหลของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

4.7 อัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชัน



รูปที่ 15 เปรียบเทียบระหว่างอัตราการอบแห้งขมิ้นชันภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ติดตั้งครีบทวนำและแบบติดตั้งครีบทวนำทรงกระบอกยาว 40 mm.

รูปที่ 15 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งของขมิ้นชันระหว่างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ติดตั้งครีบทวนำและแบบที่ติดตั้งครีบทวนำทรงกระบอกยาว 40 mm. พบว่าในช่วงเริ่มต้นระหว่างเวลา 10.30 น. ทั้งสองระบบมีอัตราการอบแห้งเริ่มต้นเท่ากันที่ 500% db โดยตู้อบแห้งที่ติดตั้งครีบทวนำอัตราการอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็วกว่าตู้อบแห้งที่ไม่ติดตั้งครีบทวนำ โดยเฉพาะในช่วงเวลา 10.30–12.00 น. ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพในช่วงต้นของกระบวนการอบแห้ง โดยครีบทวนำทรงกระบอกมีบทบาทสำคัญในการถ่ายเทพลังงานความร้อนไปยังพื้นผิวของขมิ้นชันได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำอิสระที่อยู่บนผิววัสดุสามารถระเหยออกได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งเป็นลักษณะของช่วงอบแห้งแบบอัตราเร็ว (constant rate period) ขณะที่ระบบที่ไม่ติดตั้งครีบทวนำมีแนวโน้มลดลงของอัตราการอบแห้งที่ช้ากว่าและต่อเนื่องมากกว่า สะท้อนถึงกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่จำกัดในระบบที่ไม่มีครีบทวนำช่วยนำความร้อน เมื่อเข้าสู่ช่วงบ่ายทั้ง 2 ระบบ เข้าสู่ช่วงอบแห้งช้าลงอย่างชัดเจน เนื่องจากน้ำที่เหลืออยู่ในวัสดุส่วนใหญ่เป็นน้ำที่จับตัวแน่น (bound moisture) ซึ่งต้องใช้พลังงานในการระเหยมากขึ้น ทำให้เกิดการลดลงของอัตราการอบแห้งอย่างต่อเนื่อง ผลลัพธ์ดังกล่าวจึงยืนยันว่าการติดตั้งครีบทวนำสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและเร่งการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ในช่วงต้นของกระบวนการอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพ

4.8 การลดต้นทุนด้านพลังงานด้วยการตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การใช้งานตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับชุมชนพบว่าสามารถนำระบบดังกล่าวมาใช้แทนการอบแห้งด้วยตู้อบ

พลังงานไฟฟ้ามีส่วนสำคัญในการช่วยลดต้นทุนพลังงานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มเกษตรกรชุมชนที่มีข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายการผลิต การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งพลังงานสะอาดและไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจะช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 5 บาท/กิโลกรัม/วัน ในการอบแห้งขมิ้นชันเมื่อเทียบกับระบบอบแห้งด้วยพลังงานไฟฟ้าที่กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรตำบลบ้านทรายใช้งานในปัจจุบัน ผลลัพธ์นี้สะท้อนถึงศักยภาพของพลังงานทดแทนในการยกระดับความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์

การใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของฤดูกาล โดยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพในช่วงเดือนมกราคม - พฤษภาคม (ฤดูร้อน) เป็นช่วงที่มีค่าความหนาแน่นพลังงานแสงอาทิตย์ระดับสูงในประเทศไทย และเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม (ฤดูหนาว) เป็นช่วงที่มีค่าความหนาแน่นพลังงานแสงอาทิตย์ระดับปานกลางในประเทศไทย โดยในช่วงที่มีระดับพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอสำหรับการใช้ตู้อบแห้งขมิ้นชันทางกลุ่มจึงนำเครื่องอบแห้งมาใช้งานทดแทน โดยปัญหาดังกล่าวจึงเป็นปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาในการวางแผนการผลิตสินค้าเกษตรแปรรูปเพื่อให้สอดคล้องกับฤดูกาลและความพร้อมของพลังงานจากธรรมชาติ

ด้านประสิทธิภาพกระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เวลาในการลดความชื้นของขมิ้นชันนานกว่าตู้อบแห้งไฟฟ้าประมาณ 30% แต่ก็ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ความชื้นสุดท้ายที่วัดได้ยังคงอยู่ในช่วงมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานการแปรรูปเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญว่าสามารถใช้เทคโนโลยีนี้ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 1 ความพึงพอใจของผู้รับบริการ

ที่	หัวข้อ	คะแนนความพึงพอใจ					SD	ร้อยละ	ความหมาย
		5	4	3	2	1			
1	การออกแบบเครื่องอบแห้ง	65	28	-	-	-	4.65	0.49	มากที่สุด
2	ความปลอดภัยของเครื่องอบแห้ง	70	24	-	-	-	4.70	0.47	มากที่สุด
3	การบำรุงรักษาเครื่องอบแห้ง	85	12	-	-	-	4.85	0.37	มากที่สุด
4	คุณภาพของผลิตภัณฑ์	65	28	-	-	-	4.65	0.49	มากที่สุด
5	ความคุ้มค่าในการลงทุน	20	52	9	-	-	4.05	0.60	มาก
ภาพรวม							4.58	0.55	มากที่สุด

จากตารางพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจต่อโครงการ “การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบ

แห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ครีบน้ำความร่อนรูปทรงกระบอก”

ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.58$, $SD = .55$) คิดเป็นร้อยละ 91.60 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ โดยเรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยมากที่สุดไปน้อยที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การบำรุงรักษาเครื่องอบแห้ง ($\bar{x} = 4.85$, $SD = .37$) คิดเป็นร้อยละ 97 รองลงมา คือ ความปลอดภัยของเครื่องอบแห้ง ($\bar{x} = 4.70$, $SD = .47$) คิดเป็นร้อยละ 94 และการออกแบบเครื่องอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน ($\bar{x} = 4.65$, $SD = .49$) คิดเป็นร้อยละ 93 โดยผู้รับบริการเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบมีคุณภาพตรงตามความต้องการใช้งาน ทั้งในเรื่องของความชื้นที่เหมาะสม ลักษณะเนื้อสัมผัส สี และกลิ่นของขมิ้นชันที่คงคุณลักษณะเดิม นอกจากนี้ ด้านความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่องได้รับการประเมินว่าสามารถใช้งานได้ อย่างมั่นใจ ไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากความร้อนหรือการสัมผัสชิ้นส่วนที่เป็นอันตราย ขณะเดียวกันด้านการออกแบบก็ได้รับการยอมรับว่าเอื้อต่อการใช้งานจริง มีความสะดวกทั้งในด้านการจัดวางผลิตภัณฑ์ การเปิด-ปิด และการดูแลรักษาเครื่อง ทั้งนี้การได้รับคะแนนประเมินในระดับสูงสะท้อนว่าการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งครีบน้ำความร่อนรูปทรงกระบอกนั้นไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางเทคนิคในการอบแห้งเท่านั้น แต่ยังตอบสนองต่อความต้องการและความคาดหวังของผู้ใช้งานในเชิงปฏิบัติได้เป็นอย่างดี เป็นสัญญาณเชิงบวกต่อการขยายผลนำไปใช้จริงในระดับชุมชนหรือวิสาหกิจที่มีการผลิตสินค้าในด้านอื่น ๆ

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลอง พบว่าการติดตั้งครีบน้ำความร่อนรูปทรงกระบอกในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มอุณหภูมิภายในและการถ่ายเทความร้อนภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะครีบน้ำความร่อนยาว 40 mm. สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 54 °C และให้การถ่ายเทความร้อนสูงสุดถึง 37 W เมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การศึกษายังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความยาวครีบน้ำกับการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งความยาวครีบน้ำที่เหมาะสมสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทางกลับกัน ครีบน้ำที่มีความยาวมากเกินไป เช่น 50 mm. ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนผ่านผิวครีบน้ำมากเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบลดลงตามไปด้วย

สำหรับการติดตั้งที่ความยาว 40 mm. จะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานเพิ่มขึ้นสูงสุดในทุกช่วงของอัตราการไหล โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.7–6.3% ซึ่งสูงกว่าครีที่ความยาวอื่นอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการออกแบบครีที่เหมาะสมในการส่งผ่านพลังงานความร้อนจากพื้นผิวดูดซับไปสู่อากาศภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งครีกับไม่ติดตั้งพบว่า ตู้อบแห้งที่ติดตั้งครีจะให้ค่าประสิทธิภาพสูงกว่าอย่างชัดเจนในช่วงต้น (10.30–12.00 น.) โดยมีค่าสูงสุดถึง 36% เมื่อเข้าสู่ช่วงบ่ายค่าประสิทธิภาพจะลดลงแต่ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงการอบแห้งยังคงสูงถึง 11% เทียบกับระบบไม่ติดตั้งครีที่มีค่าเฉลี่ยเพียง 9% แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งครีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพระบบได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีพลังงานแสงอาทิตย์สูง

การนำตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานในระดับชุมชนสามารถลดต้นทุนค่าไฟฟ้าได้เฉลี่ยประมาณ 5 บาท/กิโลกรัม/วัน โดยเฉพาะในช่วงที่มีพลังงานแสงอาทิตย์หนาแน่นสูง (เดือนพฤศจิกายน-พฤษภาคม) แม้ว่าจะมีข้อจำกัดด้านฤดูกาลที่ต้องบริหารจัดการการผลิตให้เหมาะสมกับฤดูกาล สำหรับการสำรวจความพึงพอใจผู้รับบริการ พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 91.55 สะท้อนถึงความเหมาะสมของเทคโนโลยีนี้ในการประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตระดับชุมชนอย่างยั่งยืน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P.V. A. Kumar, A. James, and M. Srinivas, "Performance investigation of a novel multi-tray solar cabinet dryer with multi-point air supply," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 61, Art.no. 103515, 2025.
- [2] M. S. Barghi Jahromi, V. Kalantar, H. S. Akhijahani, and H. Kargarsharifabad, "Recent progress on solar cabinet dryers for agricultural products equipped with energy storage using phase change materials," *Journal of Energy Storage*, vol. 51, Art.no. 104434, 2022.
- [3] A. Y. Kebede, M. T. Tigabu, A. T. Admase, and A. J. Bezie, "Performance evaluation of diminutive solar dryer for drying of green coffee beans: In Ethiopian highlands," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 65, Art.no. 105653, 2025.
- [4] A. Y. Kerse, D. T. Embiale, and D. G. Gunjo, "Dehydration of red chilli using an indirect type forced convection solar dryer integrated with thermal energy storage," *International Journal of Thermofluids*, vol. 26, Art.no. 101045, 2025.
- [5] M. Kumar, P. Prabhansu, and P. V. Bhale, "Experimental investigation on dual-shaped solar greenhouse dryer: Performance and technoeconomic analysis," *The Journal of Stored Products Research*, vol. 112, Art.no. 102621, 2025.
- [6] C. Wannurak, "Solar dryer with solar collector to increase community economic value," *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University*, vol.12, no.2, pp.38–51, 2024. (In Thai).
- [7] P.Maneechote, K.Thiansa, C. Nakornchaisri, T. Keothavikul, W. Maneechote, and K. Panya-ud, "Development of a Solar Dryer with LPG Gas with Automatic Temperature Control," *Energy Innovation Journal*, vol.6,no.38, pp.418-422, 2021. (In Thai).
- [8] S. Thippawong, S.Srisawat, and S.Khieonok, "Development of Low-cost Solar Radiation Protection Drying Technology for Duangthong Community Enterprise Group, Phetchabun Province," *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University*, vol.17, no.2, pp.167–180, 2022. (In Thai).
- [9] E. Nakwanon and M. Rachaneekornkailas, "Design and Development of a Combined Energy Dryer for Temperature Control in All Weather Conditions," *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University*, vol.12, no.1, pp.71–78, 2024. (In Thai).
- [10] A. Saisrikaew, A. Wannakayon, A. Praisinthu, and S. Dumnil, "Development of a solar oven for food processing controlled by Internet of Things (IoT) system," *Surindra Rajabhat University Industrial Technology Journal*, vol.7, no.2, pp.42–52, 2022. (In Thai).