



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

การพัฒนาตู้อบแห้งข้าวเกรียบปลาแบบลมร้อนไหลตามธรรมชาติโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล
Development of the Fish Cracker (Keropok) Drying Chamber
with Natural Hot Air Flow Using Biomass Fuel

กิตติพงษ์ ศิริพร (Kittipong Siriporn)¹ นิโอะ ปูซู (Ni-oh Puzu)²

บทคัดย่อ

ฤดูฝนตั้งแต่เดือนตุลาคม-ธันวาคม ในจังหวัดนราธิวาส ประเทศไทย ทำให้การผลิตข้าวเกรียบปลาที่ตากแห้งด้วยแสงแดดเป็นอุปสรรค การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาวิธีการอบแห้งด้วยพลังงานชีวมวลเป็นทางเลือกแทนวิธีการแบบดั้งเดิม การวิจัยนี้ตรวจสอบประสิทธิภาพของตู้อบแห้งที่พัฒนาขึ้นในการแปรรูปแผ่นข้าวเกรียบปลาที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 42% มาตรฐานเปียก (wb) ที่อุณหภูมิระหว่าง 70-90°C ตู้อบแห้งสามารถลดปริมาณความชื้นลงเหลือ 6-12 %wb ภายใน 240 นาที ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของวิสาหกิจชุมชนในท้องถิ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะทางกายภาพของข้าวเกรียบปลาที่ได้จากการอบด้วยตู้อบแห้งพลังงานชีวมวลนั้นเทียบได้กับเครื่องอบที่ตากแห้งโดยใช้วิธีทั่วไป ซึ่งบ่งชี้ว่ามีผลกระทบต่อการตลาดของผู้บริโภคเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจยังเผยให้เห็นว่าต้นทุนเชื้อเพลิงชีวมวลคิดเป็น 4.7% ของราคาขายผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยเบื้องต้นเหล่านี้บ่งชี้ถึงความเหมาะสมของการใช้ตู้อบแห้งชีวมวลในการนำไปใช้จริงโดยวิสาหกิจชุมชน โดยเสนอวิธีแก้ปัญหาด้านข้อจำกัดในการผลิตที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในขณะที่ยังคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้

คำสำคัญ ตู้อบแห้ง เตาชีวมวล ข้าวเกรียบปลา กรือเป๊ะ

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ 6591203010@pnu.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ nioh.p@pnu.ac.th



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference

Abstract

Seasonal rainfall from October to December in Narathiwat Province, Thailand impedes the production of fish crackers traditionally dried by the sun. This study investigated a biomass-powered dryer as an alternative to traditional methods. The research examines the efficacy of the developed dryer in processing fish cracker sheets with an initial moisture content of 42% wet basis (wb). At temperatures between 70-90°C the dryer reduced moisture content to 6-12% wb within 240 minutes which aligns with the requirement of local community enterprises. Notably, the physical characteristics of crackers from the biomass-powered dryer were comparable to those dried using conventional methods, suggesting a minimal impact on consumer decisions. Additionally, economic analysis revealed that biomass fuel costs constitute 4.7% of the product's selling price. These preliminary findings indicate the viability of the biomass dryer for practical implementation by community enterprises, offering a solution to weather-dependent production constraints while maintaining product quality.



Keywords: Drying chamber, Biomass instead, Fish cracker, Keropok



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14 The 14th STOU National Research Conference

บทนำ

ข้าวเกรียบปลา หรือในภาษาท้องถิ่น เรียกว่า กรือโป๊ะ เป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับทานเล่นที่ได้รับความนิยมทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย เป็นต้น ชื่อเรียกข้าวเกรียบปลาในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันไป เช่น ในประเทศมาเลเซียเรียกว่า Keropok ประเทศอินโดนีเซียเรียกว่า Krapuk (วิภาดา มุรินทร์พมาศ และ ภารดี พลไชย, 2554) ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ ข้าวเกรียบปลาจึงมีตลาดรองรับทั้งในและต่างประเทศสำหรับวิสาหกิจผู้ผลิตในประเทศไทย ในส่วนของนราธิวาสถือเป็นจังหวัดที่มีวิสาหกิจผลิตข้าวเกรียบปลาที่มีชื่อเสียงหลายกลุ่ม ข้าวเกรียบปลาเป็นสินค้าที่มีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักโดยทั่วไปทั้งในพื้นที่จังหวัดและต่างจังหวัด เป็นสินค้าชนิดหนึ่งที่สะท้อนอัตลักษณ์ของสังคมจังหวัดนราธิวาสที่มีอาชีพเป็นอาชีพสำคัญ และข้าวเกรียบปลายังมีศักยภาพที่จะส่งเสริมให้เป็นสินค้าติดมือนักท่องเที่ยวเพื่อเป็นของฝาก มีส่วนสร้างรายได้ขับเคลื่อนเศรษฐกิจระดับชุมชนที่สำคัญเนื่องจากผู้ผลิตข้าวเกรียบปลาส่วนใหญ่จะเป็นแบบวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็ก

ประเภทของข้าวเกรียบปลาที่ผลิตโดยวิสาหกิจชุมชนจะเป็นแบบแท่งกลมและแบบแผ่นบาง อัตราการผลิตต่อวันประมาณ 100-200 กิโลกรัม กระบวนการผลิตที่สำคัญมี 5 ขั้นตอน 1. เตรียมเนื้อปลากับแป้ง 2. ผสมเนื้อปลากับแป้ง 3. ปั่นเป็นแท่งกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-10 cm ยาว 40 cm 4. ต้มสุกเป็นเวลา 3 ชั่วโมงและผึ่งให้ผิวแห้ง เป็นเวลา 20 นาที 5. หั่นเป็นแผ่นบางหนาประมาณ 2 mm 6. ตากแห้ง และ 7. บรรจุถุง สำหรับขั้นตอนที่มีผลต่อความสามารถในการผลิตที่สุดคือการตากแห้งในช่วงที่มีแดดจ้าท้องฟ้าเปิด แต่เนื่องจากกระหว่างเดือนตุลาคม - ธันวาคม ของทุกปีจะเป็นช่วงฤดูฝน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2565) ทำให้ไม่สามารถตากแห้งข้าวเกรียบปลาได้ ดังนั้นวิสาหกิจชุมชนจะหยุดผลิตข้าวเกรียบปลาวิธีแก้ปัญหานี้ในปัจจุบันคือการผลิตขึ้นสำหรับจำหน่ายในช่วงฤดูฝน แต่ก็ไม่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ทั้งหมดเนื่องจากการเกิดเชื้อราเมื่อตุณสินค้าเป็นระยะเวลานาน สำหรับวิธีแก้ปัญหานี้ในกระบวนการตากแห้ง การนำเทคนิคการอบแห้งโดยใช้ตู้อบร้อนเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีศักยภาพเนื่องจากมีผลการศึกษาในการอบแห้งอาหาร ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากใช้ตู้อบแห้งอาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเนื่องจากแหล่งพลังงานความร้อน ดังนั้นการเลือกแหล่งพลังงานความร้อนที่สามารถยอมรับได้สำหรับวิสาหกิจชุมชนจึงเป็นโจทย์ที่ต้องพิจารณาควบคู่กับโจทย์พัฒนากระบวนการอบแห้งด้วย

สำหรับการศึกษาการอบแห้งข้าวเกรียบปลาผู้วิจัยได้ทำการศึกษาไว้ดังนี้ พิชราภรณ์ ยาบา (2558) ได้ทดลองอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบตะแกรงเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง ช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา 45-70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาอบแห้ง 480 นาที กำหนดความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเกรียบ 11.44 - 83.69 %db ผลการทดลองพบว่าความชื้นในกรณีอุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงจะลดลงเร็วกว่ากรณีอุณหภูมิต่ำกว่า และพบว่าอุณหภูมิ 50-65 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเกรียบ โดยข้าวเกรียบจะมีการพองตัวที่ดี เก็บรักษาได้นานและเนื้อข้าวเกรียบมีสีเหลืองไม่มีลักษณะไหม้ ค่าความชื้นหลังการอบแห้งที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 8-12 %db (Sari et al, 2021) ได้ทำการทดลองอบแห้งข้าวเกรียบที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 65.24%wb ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดด้วยวิธีพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจากกะลามะพร้าวเพื่อหาอัตราการอบแห้งต่อความแปรผันของมวลและอุณหภูมิระดับอุณหภูมิที่ทดลอง 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส น้ำหนักข้าวเกรียบเริ่มต้นที่ 50 ,100, 150 กรัม สำหรับผลทดลองสรุปว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 70 องศาเซลเซียส ที่น้ำหนัก 50 กรัม ใช้เวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง ด้วยความเร็วลม 5.2 เมตรต่อวินาที มีอัตราการอบแห้ง 0.0358 กิโลกรัม/ชั่วโมง ความชื้นคงเหลือ 9.84 %wb โดยใช้กะลามะพร้าวแห้งจำนวน 5.24 กิโลกรัม ผลการศึกษาดังกล่าวนี้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ SNI No. 8272-2016 (ประพันธ์พงษ์ สมศิลา และ



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14 The 14th STOU National Research Conference

คณะ, 2565) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลในการอบแห้งเนื้อหมูแดดเดียว โดยใช้เทคนิคให้ความร้อนจากการเผาไหม้ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้ง อุณหภูมิในตู้อบที่ศึกษาได้แก่ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ความเร็วลมภายในห้องอบแห้ง 1.0, 3.0 และ 6.0 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาในการอบแห้ง 240 นาที ผลทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วลมทำให้ความชื้นลดลงเร็วขึ้น โดยปริมาณการลดลงของความชื้นอยู่ในช่วง 0.12-0.29 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ในช่วง 0.05 – 0.08 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (นิชาภัทร มุรรัตน์ และคณะ, 2564) ได้ทดลองอบแห้งเมล็ดกาแฟที่ความชื้นเริ่มต้นในช่วง 220 – 240 %db โดยกำหนดอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง ผลทดลองพบว่า สามารถทำให้ความชื้นในเมล็ดกาแฟลดลงเหลือ 90 % db เพื่อชะลอการเติบโตของเชื้อรา สามารถเก็บรักษาไว้เพื่อรอเวลาที่มีแสงแดดก่อนนำมาตากให้เหลือความชื้น 13 % db เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อราต่อไป สำหรับเครื่องอบแห้งที่ศึกษามีประสิทธิภาพการอบแห้ง 5.5-11.4% อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 25.1-47.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเตาชีวมวล (สุปราณี วุ่นศรี และคณะ, 2563) ได้พัฒนาเตาชีวมวลประหยัดพลังงานสำหรับแปรรูปหอยตลับ และทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาดังกล่าวด้วยวิธีต้มน้ำเดือด พบว่ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ย 31.98% และจากการทดลองต้มหอยตลับจำนวน 200 กิโลกรัม ต้องใช้เวลา 95±21 นาที ต้องใช้ไม้ฟืน 107.50±3.54 กิโลกรัม ผลสรุปจากผลการศึกษาของงานวิจัยที่ได้กล่าวมานี้สามารถสรุปประเด็นสำคัญคือ การอบแห้งข้าวเกรียบปลาสามารถใช้ตู้อบแห้งทดแทนการตากได้และการใช้พลังงานชีวมวลเป็นแนวทางที่เหมาะสมในกรณีต้องการลดต้นทุนด้านเชื้อเพลิงให้ความร้อนตู้อบสำหรับวิสาหกิจชุมชน

จากผลสรุปการศึกษางานวิจัยที่ได้กล่าวข้างต้น บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการอบแห้งข้าวเกรียบปลาจากวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดนราธิวาสที่ออกแบบและสร้างขึ้น โดยตู้อบลมร้อนรับความร้อนจากเตาชีวมวลไม่ต่างเหมือนกับที่วิสาหกิจชุมชนใช้อยู่ เพื่อให้ตู้อบแห้งสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องสร้างเตาชีวมวลเพิ่ม ลมร้อนในตู้อบไหลตามธรรมชาติซึ่งไม่จำเป็นต้องมีพัดลม ดังนั้นการทำงานของตู้อบแห้งไม่จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้า เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อนภายในตู้อบแห้งอยู่ในช่วง 70-90 องศาเซลเซียส ผลการทดลองที่วิเคราะห์การทำงานของตู้อบแห้งได้แก่ ระยะเวลาในการอบแห้ง ลักษณะทางกายภาพของข้าวเกรียบ และปริมาณไม้ฟืนที่ใช้เพื่อคำนวณเป็นต้นทุน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบแห้งข้าวเกรียบปลาที่ใช้ความร้อนจากชีวมวลทดแทนการตากแห้งในช่วงฤดูฝน
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงานของข้าวเกรียบปลากรณีตู้อบแห้งชีวมวลกับตู้อบไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาผลการประเมินต้นทุนเชื้อเพลิงชีวมวลไม่ต่างพาราคาจากการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งข้าวเกรียบปลา

ระเบียบวิธีวิจัย

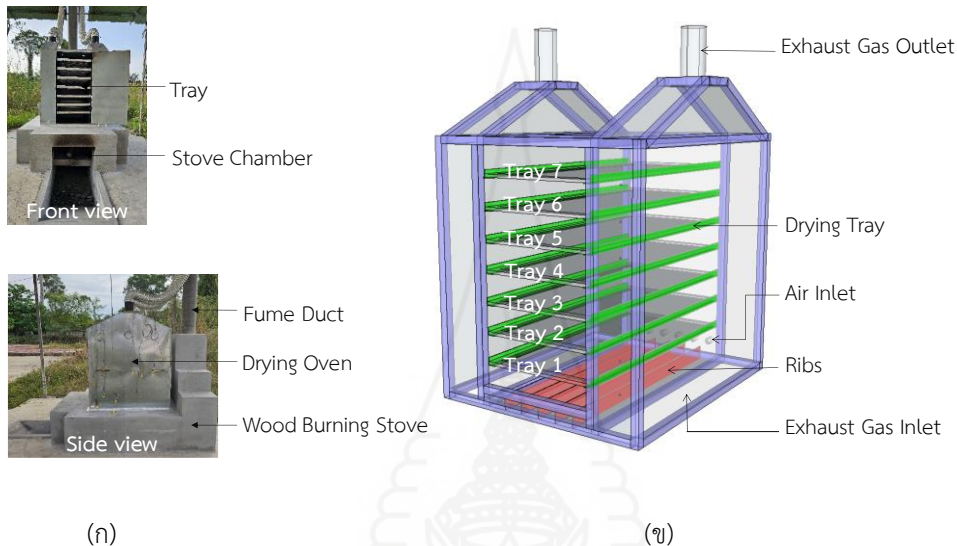
1. ตู้อบแห้งข้าวเกรียบปลา

ตู้อบแห้งข้าวเกรียบปลาออกแบบให้สามารถใช้งานร่วมกับเตาชีวมวลของผู้ผลิตข้าวเกรียบปลาของวิสาหกิจชุมชน โดยมีมิติของตู้อบแห้งมีขนาด $0.74 \times 0.87 \times 1.09$ เมตร³ ดังแสดงในภาพที่ 1(ก) รายละเอียดโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 1(ข)



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ผนังด้านนอกของตู้อบจะมีการบุฉนวนใยแก้วหนา 5 เซนติเมตรและปิดด้วยเหล็กแผ่นชุบสังกะสีอีกชั้น การทำงานของตู้อบ
แห้งสามารถแบ่ง 2 ส่วน คือ 1. ส่วนของการไหลของลมร้อน และ 2. ส่วนการไหลของอากาศระบายความชื้น



ภาพที่ 1 ตู้อบแห้งข้าวเกรียบปลา

ส่วนของการไหลของลมร้อนเป็นช่องการไหลให้ไอร้อนจากการเผาไหม้ไม้ยางที่มีขนาด 0.12×0.81 เมตร² ที่ติดตั้ง
ด้านข้างทั้งสอง ในขณะที่ไอร้อนไหล ความร้อนส่วนหนึ่งส่งถ่ายไปยังอากาศด้านในตู้อบผ่านผนังแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีหนา
1.2 มิลลิเมตร ก่อนที่จะไหลออกภายนอกผ่านปล่องควันทั้งสองด้านบน ความร้อนอีกส่วนที่ส่งเข้าไปในตู้อบจะเป็นความร้อน
จากเตาชีวมวลที่อยู่ด้านล่างโดยความร้อนจะผ่านแผ่นเหล็กพื้นที่มีการติดครีบน้ำมัน 0.05×0.81 เมตร² หนา 3 มิลลิเมตร
จำนวน 5 ครีบอกเพื่อเพิ่มแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแผ่นพื้นกับอากาศด้านในตู้

สำหรับขนาดห้องอบแห้งมีขนาด $0.39 \times 0.81 \times 0.90$ เมตร³ มีช่องอากาศสำหรับระบายความชื้นทางเข้าที่บริเวณ
ด้านล่างของผนังด้านหลัง เป็นรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 6 ช่อง อากาศเย็นที่ไหลเข้าด้านล่างจะรับความร้อนจาก
แผ่นเหล็กพื้นของตู้อบ อากาศที่ร้อนขึ้นจะไหลขึ้นด้านบนผ่านตะแกรงข้าวเกรียบและรับความชื้นจากผลิตภัณฑ์ก่อนจะไหล
ออกด้านบน และไหลออกทางช่องระบายอากาศขึ้นที่มีขนาด 0.10×0.24 เมตร² จำนวน 2 ช่อง ตู้อบสามารถอบแห้งข้าว
เกรียบปลาแบบแผ่นบางได้ 5 กิโลกรัมต่อครั้งจากการจัดเรียงแผ่นข้าวเกรียบแบบไม่ซ้อนกันในตะแกรงทั้งหมด 7 ชั้น
โดยตะแกรงมีขนาด 0.38×0.81 เมตร² ระยะห่างตะแกรงแต่ละชั้น 10 เซนติเมตร

2. การวัดความชื้นข้าวเกรียบ

ลักษณะของข้าวเกรียบปลาจากผู้ผลิตรายย่อยระดับครัวเรือนในชุมชนกาแลตาแป ตำบลบางนาค อำเภอมือง
นราธิวาส จังหวัดนราธิวาส แบบแห้งกลมดังแสดงในภาพที่ 2(ก) และแบบแผ่นบาง ดังแสดงในภาพที่ 2(ข)



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 ข้าวเกรียบปลาแบบแท่งกลมก่อนหั่น และข้าวเกรียบปลาแบบแผ่นบางหลังหั่น

การเก็บตัวอย่างของข้าวเกรียบเพื่อติดตามปริมาณความชื้นตั้งแต่ก่อนการทดลองเพื่อหาความชื้นเริ่มต้น การทดลองจะเริ่มต้นเมื่อใส่ข้าวเกรียบในตู้อบและเริ่มบันทึกอุณหภูมิ ตะแกรงที่ 1 , 4 และ 7 ใช้เวลาในการทดลอง 240 นาที และทุก ๆ 30 นาที จะดึงตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนัก ซึ่งตลอดการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลจำนวน 8 ครั้ง โดยเก็บตัวอย่างจากตำแหน่งซ้ายและขวาของด้านหน้าและด้านหลังกับตำแหน่งตรงกลางของแต่ละตะแกรงรวม 5 ตัวอย่าง ตาชั่งดิจิทัล (Shimadzu® TW3202L) ที่ใช้มีความผิดพลาด ± 0.002 g ค่าความเที่ยงตรง 0.001 g สามารถชั่งน้ำหนักสูงสุดได้ 3,200 g ผลต่างของน้ำหนักจะถูกนำมาคำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงในแต่ละรอบของการเก็บตัวอย่าง สำหรับข้าวเกรียบปลาที่ใช้ในการทดลอง ได้ทดลองหาความชื้นเริ่มต้นได้เท่ากับ 42.0 %wb การคำนวณค่าความชื้นคงเหลือใช้วิธีคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือฐานแห้ง (%db) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$M, (\%db) = \frac{w-d}{d} \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่ w คือน้ำหนักของตัวอย่างก่อนชั่งน้ำหนัก และ d คือน้ำหนักของตัวอย่างหลังชั่งน้ำหนัก

งานวิจัยนี้จะนำเสนอค่าอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, **MR**) เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเกรียบ ซึ่งค่าที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละตะแกรงจาก 5 ตัวอย่างดังที่กล่าวมาข้างต้น สมการคำนวณดังแสดงในสมการที่ (2)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_o - M_{eq}} \quad (2)$$

โดย M_o และ M_t คือความชื้นเริ่มต้นของข้าวเกรียบปลาและความชื้น ณ เวลาที่เก็บข้อมูล (%db) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1) และสำหรับค่า M_{eq} คือความชื้นสมดุล ซึ่งปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบปลากับสภาวะแวดล้อมภายนอกอยู่ในสภาวะสมดุล โดยในการทดลองนี้กำหนดค่าความชื้นสมดุลเป็นศูนย์ เนื่องจากมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นหรือความชื้นตามระยะเวลาที่เก็บข้อมูล

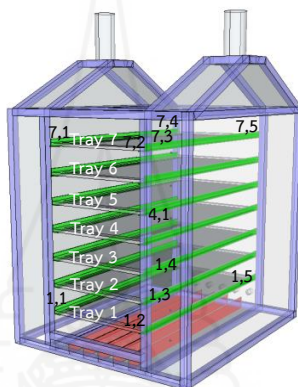


การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference

3. การวัดอุณหภูมิตู้อบแห้ง

อุณหภูมิในตู้อบจะบันทึกโดยใช้อุปกรณ์บันทึกค่าอัตโนมัติ (Extech® SDL200) ร่วมกับหัววัดอุณหภูมิ Type k มีค่าความผิดพลาด ± 0.2 องศาเซลเซียส บริเวณตะแกรงชั้นที่ 1, 4 และ 7 โดยกำหนดให้ส่วนบนห้องอบแห้งคือตะแกรงชั้นที่ 7 (ตำแหน่งที่ 7,1-7,5), กึ่งกลางห้องอบแห้งคือตะแกรงชั้นที่ 4 (ตำแหน่งที่ 4,1), ส่วนล่างห้องอบแห้งคือตะแกรงชั้นที่ 1 (ตำแหน่งที่ 1,1-1,5) รายละเอียดดังภาพที่ 3



1,2 = (Tray No., temp. sensor No.)

ภาพที่ 3 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง

4. เชื้อเพลิงชีวมวลและวิธีการให้ความร้อนตู้อบแห้ง

เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นไม้พื้ประเภทปลายไม้ยางพาราขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 5-7 เซนติเมตร ยาวเฉลี่ย 50 เซนติเมตร มีค่าความชื้นประมาณ 28 %wb มีค่าความร้อน (LHV) 6.57 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556) ตู้อบแห้งจะรับความร้อนจากเตาชีวมวลผ่านผนังด้านล่างกับผนังด้านข้างจากการเผาไม้พื้ จำนวนไม้พื้จะถูกชั่งน้ำหนักก่อนนำไปเผาในเตา เมื่อเริ่มจุดไฟ อุณหภูมิภายในตู้อบจะเริ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นให้รอจนกว่าอุณหภูมิบริเวณกึ่งกลางห้องอบแห้ง (ตะแกรงชั้นที่ 4 ตำแหน่งที่ 4,1) อยู่ในช่วง 70-90 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษาในหลาย ๆ งานวิจัย เช่น งานวิจัยของ (สมชัย วะชุม, 2557) (สุรัชย์ อนุรักษ์ จันทร์ศรี, 2560) และ (ณิชภัทร มุลรัตน์ และคณะ, 2564) แล้วนำตะแกรงทั้ง 7 ชั้นไปวางภายในตู้อบแห้ง ไม้พื้จะป้อนเป็นระยะ ๆ โดยอาศัยการสังเกตอุณหภูมิภายในตู้อบ ไม้พื้ทั้งหมดที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นทดลองจนกระทั่งเสร็จถือเป็นปริมาณไม้พื้ที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง

ผลการวิจัย

ผลการทดลองที่จะนำเสนอได้แก่ 1. อุณหภูมิในตู้อบแห้ง 2. อัตราสิ้นเปลืองชีวมวล 3. พฤติกรรมการแห้งของตู้อบแห้งชีวมวลกับตู้อบไฟฟ้า 4. การอบแห้งข้าวเกรียบปลา และ 5. ลักษณะทางกายภาพของข้าวเกรียบปลา

1. อุณหภูมิในตู้อบแห้ง

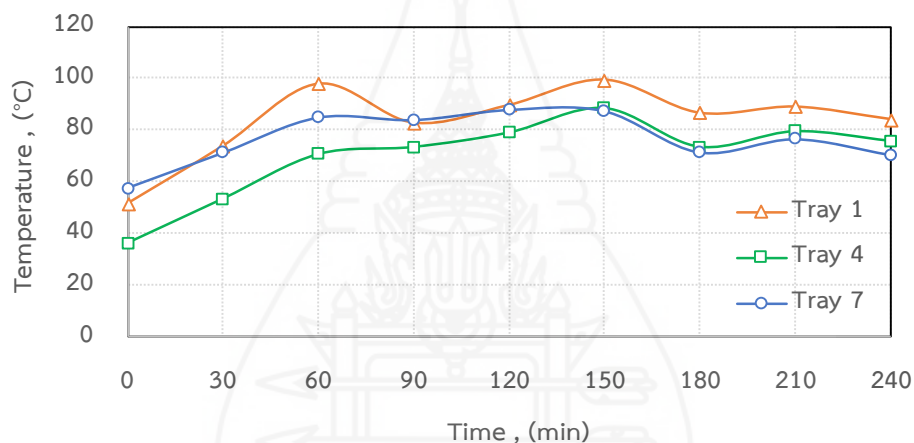
อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเป็นตัวแปรสำคัญต่อพฤติกรรมการแห้งของผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Sari et al, 2021) (ณิชภัทร มุลรัตน์ และคณะ, 2564) และ (ประพันธ์พงษ์ สมศิลา และคณะ, 2565) แต่เนื่องจากแต่ละผนังที่



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ความร้อนผ่านเข้าตู้อบแห้งจะไม่เท่ากันและไม่สม่ำเสมอทั้งพื้นผิว ดังนั้นการวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งจะช่วยให้สามารถคาดการณ์บริเวณที่ผลิตภัณฑ์จะมีอัตราการลดลงของความชื้นมากหรือน้อยได้

ภาพที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตะแกรงชั้นที่ 1, 4 และ 7 ตั้งแต่เริ่มต้นและทุก ๆ 30 นาที จนกระทั่งเสร็จสิ้นที่เวลา 240 นาที อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งจะเพิ่มขึ้นในช่วง 90 นาทีแรก และค่อนข้างคงที่หลังจากนั้น ตะแกรงที่ 1 ซึ่งอยู่ชั้นล่างที่สุดจะมีอุณหภูมิสูงที่สุดเนื่องจากความร้อนส่วนใหญ่ผ่านทางผนังพื้นและมีแผ่นครีบช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย เช่นเดียวกันนี้ ตะแกรงที่ 4 ก็จะมีอุณหภูมิสูงกว่าตะแกรงที่ 7 แต่ความแตกต่างจะไม่มาก ค่าเฉลี่ยโดยรวมของอุณหภูมิภายในตู้อบจะอยู่ในช่วง 70-90 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยตะแกรงชั้นที่ 1, 4 และ 7

2. อัตราสิ้นเปลืองชีวมวล

เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงจนกระทั่งข้าวเกรียบเกิดการไหม้หรือลักษณะทางกายภาพผิดรูป ไม้ฟืนจะถูกป้อนเป็นระยะ ๆ ตลอดช่วงการทดลองขึ้นโดยอาศัยการติดตามอุณหภูมิในตู้อบแห้งให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ปริมาณไม้ฟืนที่ป้อนตลอดระยะเวลาการทดลอง 240 นาที เท่ากับ 11 กิโลกรัม รายละเอียดปริมาณการป้อนต่อครั้งและช่วงเวลาป้อนดังแสดงในตารางที่ 1 คุณสมบัติไม้ฟืนดังแสดงในตารางที่ 2

เมื่อคำนวณต้นทุนเฉพาะปริมาณไม้ฟืนโดยไม่พิจารณาต้นทุนด้านอื่น ๆ เช่น การขนส่ง แรงงาน เป็นต้น สามารถคิดเป็นต้นทุนเท่ากับ 11 กิโลกรัม $\times$ 1 บาทต่อกิโลกรัม = 11 บาท ต่อรอบการอบแห้งข้าวเกรียบน้ำหนักตอนเริ่มต้น 5 กิโลกรัม และคงเหลือหลังอบแห้ง 2.9 กิโลกรัม ดังนั้นต้นทุนที่เพิ่มขึ้นต่อน้ำหนักข้าวเกรียบแห้ง 3.79 บาทต่อกิโลกรัม หรือคิดเป็นต้นทุนที่เพิ่มขึ้นของราคาจำหน่าย 80 บาทต่อกิโลกรัมเท่ากับ 4.7%



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณไม้พินที่ป้อนในแต่ละครั้งที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ช่วงเวลาป้อนไม้พิน (นาทีก)	0	30	60	90	120	150	180	210	240
ไม้พิน (กิโลกรัม)	4.0	-	4.0	-	3.0	-	-	-	-

ตารางที่ 2 คุณสมบัติไม้พิน

ปริมาณ	ค่า
ความหนาแน่นของไม้พิน (g/cm ³)	0.75
ค่าความร้อนไม้พิน (MJ/kg)	6.57
ความชื้นไม้พิน (%wb)	28
ชนิดของไม้	ไม้ยางพารา
เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm)	5-7

3. พฤติกรรมการแห้งของข้าวเกรียบโดยใช้ตู้อบชีวมวลกับตู้อบไฟฟ้า

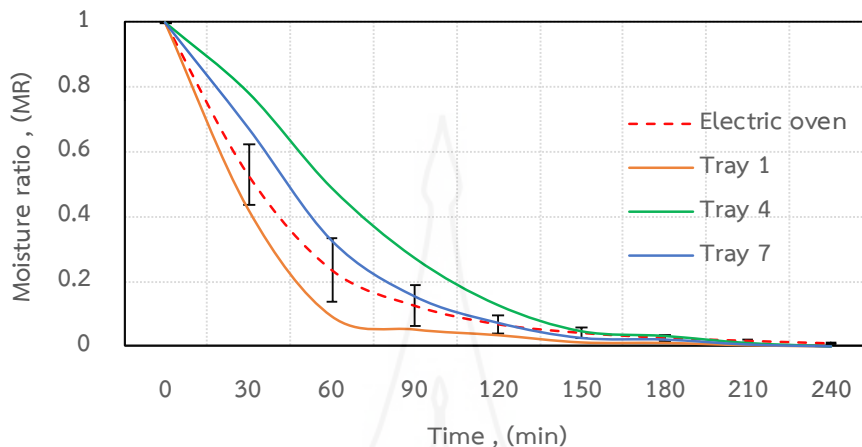
ในช่วงเริ่มต้นของการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการแห้งของข้าวเกรียบโดยใช้ตู้อบไฟฟ้ากับตู้อบแห้งชีวมวล เนื่องจากการทบทวนเอกสารพบว่าตู้อบไฟฟ้าสามารถอบแห้งเพื่อลดความชื้นได้หลากหลายผลิตภัณฑ์ เช่น งานวิจัยของ (พัชรภรณ์ ยาบ่า, 2558) (สมเกียรติ สุทธิยาพิวัฒน์, 2558) และ (Nugroho & Sukmawati, 2020) ดังนั้น พฤติกรรมการแห้งของข้าวเกรียบปลาควรมีลักษณะใกล้เคียงกับตู้อบไฟฟ้าเพื่อให้สามารถเป็นตู้อบแห้งทางเลือกสำหรับกรณีที่ผู้ใช้งานมีข้อจำกัดด้านต้นทุนไฟฟ้า

ภาพที่ 5 แสดงการลดลงของความชื้นของข้าวเกรียบด้วยตู้อบแห้งไฟฟ้าเทียบกับตู้อบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลที่พัฒนาผลการทดลองพบว่าพฤติกรรมการลดลงของความชื้นโดยภาพรวมของตะแกรงชั้น 1, 4 และ 7 เหมือนกับตู้อบแห้งไฟฟ้า ความชื้นในช่วง 60 นาทีแรก ค่า MR จะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นอัตราการลดลงจะค่อย ๆ ลด เมื่อพิจารณารายละเอียดจะพบว่าตะแกรงที่ 7 ที่ใกล้เคียงกับตู้อบแห้งไฟฟ้ามากที่สุด อย่างไรก็ตาม ทุกตะแกรงจะมีค่า MR ใกล้เคียง 0 ที่ระยะเวลาใกล้เคียงกันคือ 240 นาที



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 5 ค่า MR ของข้าวเกรียบปลาที่อบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60°C
เทียบกับค่า MR ที่อบด้วยตู้อบแห้ง กรณีอุ่นตู้อบแห้ง แบบไม่สลับตะแกรงตาก

4. การอบแห้งข้าวเกรียบปลา

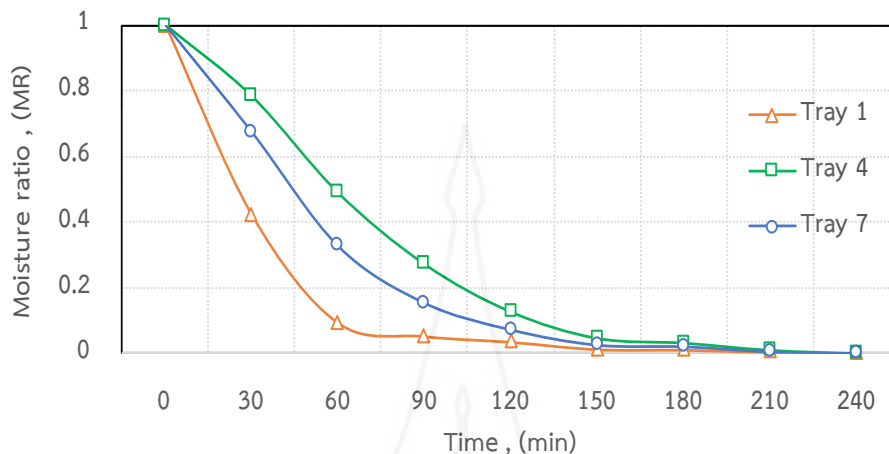
การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งจะใช้ตัวอย่างข้าวเกรียบปลาแผ่นบางจำนวน 5 กิโลกรัม ให้ความร้อนโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลไม้พิน ค่า MR จะใช้ในการนำเสนอปริมาณความชื้นคงเหลือทุก ๆ 30 นาทีตั้งแต่เริ่มต้นทดลอง

พฤติกรรมการลดลงของอัตราส่วนความชื้นของข้าวเกรียบปลาในตะแกรงที่ 1, 4 และ 7 แสดงในภาพที่ 6 ผลการทดลองพบว่า การลดลงของความชื้นในช่วง 150 นาทีแรก ของตะแกรงที่ 1 จะเร็วที่สุด รองลงมาเป็นตะแกรงที่ 7 และ 4 ตามลำดับ ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับอุณหภูมิของบริเวณแต่ละตะแกรงดังที่แสดงในภาพที่ 4 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้าวเกรียบปลาในตะแกรงบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะแห้งเร็วกว่าตะแกรงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ที่ระยะเวลา 120 นาที ข้าวเกรียบปลาทุกตะแกรงจะมีค่า MR น้อยกว่า 0.13 หรือ น้อยกว่า 6 %wb สำหรับการทดลองในช่วงหลังจาก 150 นาที ความชื้นจะลงในอัตราที่ใกล้เคียงกันและค่าเท่ากันที่ระยะเวลา 210 นาที ซึ่งที่เวลาดังกล่าวนี้อาจมีค่า MR น้อยกว่า 0.1 ทุกตะแกรงหรือความชื้นของข้าวเกรียบปลาทุกตะแกรงจะน้อยกว่า 6 %wb ซึ่งเป็นระดับความชื้นของวิสาหกิจชุมชนหลังจากการตากข้าวเกรียบปลา



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 6 ค่า MR ของข้าวเกรียบตะแกรงที่ 1, 4 และ 7

5. ลักษณะทางกายภาพของข้าวเกรียบปลา

ลักษณะทางกายภาพของข้าวเกรียบปลาที่ได้จากตูบแห้งจะต้องเป็นปัจจัยสำคัญต่อการประเมินศักยภาพในการใช้งาน ลักษณะของข้าวเกรียบปลาที่ทดลองจะต้องมีลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตด้วยสายตาว่าเหมือนหรือใกล้เคียงกับข้าวเกรียบปลาที่แห้งด้วยวิธีการตากด้วยแสงแดด

พฤติกรรมแห้งของข้าวเกรียบปลาในตะแกรงที่ 1, 4 และ 7 ดังแสดงในตารางที่ 3 ตัวอย่างที่แสดงจะเป็นช่วงเวลา 0, 120, 240 นาทีซึ่งสิ้นสุดการทดลอง ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ชัดคือสีและการหดตัว เมื่อเริ่มต้นทดลองหรือความชื้นค่อย ๆ ลดลง สีของแผ่นข้าวเกรียบปลาจะค่อย ๆ เข้มขึ้น ในขณะเดียวกันข้าวเกรียบปลาจะผิดรูปโดยการงอขึ้นด้านบน สาเหตุดังกล่าวนี้คาดว่าเกิดผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวด้านบนและด้านล่างของแผ่นข้าวเกรียบปลา การงอผิดรูปของข้าวเกรียบปลานี้จะเกิดขึ้นกับตัวอย่างทั้ง 3 ตะแกรง แต่ตะแกรงที่ 1 งอมากกว่าตะแกรงอื่น สำหรับข้าวเกรียบปลาจากวิสาหกิจชุมชนที่ตากแห้งจะเกิดการงอด้วยเช่นกัน เมื่อนำข้าวเกรียบปลาไปอบต่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลักษณะทางกายภาพจะยังคงใกล้เคียงกัน ผลดังกล่าวเป็นประโยชน์สามารถสรุปได้ว่าความชื้นคงเหลือจากการอบแห้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยไม่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพ ทำให้การใช้งานจริงของตูบแห้งมีความยืดหยุ่น ใช้งานสะดวกขึ้น จากประเด็นลักษณะทางกายภาพที่พิจารณาจากสีและการงอตัวนั้นจะพบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับการตากแห้ง ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการอบแห้งด้วยตูบแห้งนั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของข้าวเกรียบตะแกรงที่ 1, 4 และ 7

Tray	Sample form drying oven				Sample form area
	Time				Time
	0 min	120 min	240 min	24 hour	240 min
1					
4					
7					

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาโดยการทดลองอบแห้งข้าวเกรียบปลาแผ่นบางโดยใช้ตู้อบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาขั้นตอนการผลิตในกระบวนการตากแห้งของวิสาหกิจชุมชน สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของข้าวเกรียบปลาที่ได้จากตู้อบแห้งไม่แตกต่างจากข้าวเกรียบที่ตากแห้งของวิสาหกิจชุมชน
2. ต้นทุนด้านเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้วิธีการอบแห้งด้วยตู้อบเชื้อเพลิงชีวมวลเท่ากับ 4.7 % ของราคาจำหน่ายที่อัตราการอบแห้ง 5 กิโลกรัมต่อครั้ง
3. ตู้อบแห้งสามารถลดความชื้นข้าวเกรียบลงเหลือเท่ากับหรือน้อยกว่าการตากแห้งได้ ดังนั้นข้าวเกรียบไม่จำเป็นต้องลดความชื้นด้วยตู้อบไฟฟ้าต่อ ทำให้มีศักยภาพและสะดวกในการใช้งานจริง

จากข้อสรุปข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่าตู้อบแห้งพลังงานชีวมวลมีศักยภาพโดยรวมเบื้องต้นในการนำไปทดสอบการใช้งานจริงเพื่อเก็บข้อมูลด้านอื่น ๆ ประกอบ เช่น ความสะดวกในการใช้ ประสิทธิภาพในระยะยาว หรือการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากการทดลอง เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการนำไปทดลองใช้งานกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ทำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาจำหน่ายหรือส่งเสริมการใช้ตู้อบแห้งควบคู่กับเตาชีวมวลประหยัดพลังงาน
2. ทำการทดลองอบแห้งข้าวเกรียบปลาด้วยตู้อบแห้งโดยเพิ่มปริมาณจาก 5 กิโลกรัม เป็น 10-15 กิโลกรัม เพื่อดูพฤติกรรมการแห้งและลักษณะของข้าวเกรียบปลาที่ได้
3. ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นนี้คาดว่าจะสามารถลดลงได้ถ้าเพิ่มปริมาณการอบแห้งต่อครั้ง เช่น การขยายขนาดตู้อบหรือการจัดเรียงแผ่นข้าวเกรียบซ้อนกัน เป็นต้น



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

เอกสารอ้างอิง

- Nugroho, T. S., & Sukmawati, D. U. (2020). Pengaruh metode pengeringan kerupuk udang windu (Panaeus monodon) terhadap daya kembang dan nilai organoleptik. *Manfish Journal* 1(2), 107-114.
เข้าถึงได้จาก <http://ejurnal.polnep.ac.id/index.php/manfish>
- Sari, D. Y., Zamhari, M., & Junaidi, R. (2021). Design of kemplang crackers dryer using tray dryer by utilizing biomass energy. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 14(1), 26-34.
doi:<http://dx.doi.org/10.18860/neu.v14i1.13210>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (25 9 2556). เข้าถึงได้จาก www.dede.go.th:
http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (ม.ป.ป.). เรียกใช้เมื่อ 11 ตุลาคม 2565 จาก ปริมาณฝน (มม) ค่ามาตรฐาน 30 ปี (1981-2010):
https://www.tmd.go.th/province_weather_stat.php?StationNumber=48583
- เจษฎา วิเศษมณี, และสำรวม โกศลนันท์. (2565). ผลของอุณหภูมิและความเร็วลมที่มีต่ออุณหภูมิการอบแห้งเมล็ดกาแฟ ด้วยความร้อนจากชีวมวลโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอินทร์* 3(3), 56-66.
- นิชาภัทร มุรธาณ, อารีย์ อัจฉริยวิริยะ, และศิวัช อัจฉริยวิริยะ (2564). การพัฒนาการทำแห้งเมล็ดกาแฟโดยใช้เครื่องอบแห้ง พลังงานชีวมวลสำหรับการทำแห้งช่วงแรก. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ* 31(2), 191-200.
doi:10.14416/j.kmutnb.2020.12.002
- ประพันธ์พงษ์ สมศิลา, เอกภูมิ บุญธรรม, และธนกร หอมจาปา. (2565). การพัฒนาเครื่องอบแห้งที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม* 4(1), 107-124.
- พัชรภรณ์ ยาบ. (2558). *การศึกษาพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์การอบแห้งกรือโป๊ะ*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ไม่ได้ดีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วิภาดา มุรินทร์พมาศ, และภารดี พลไชย. (2554). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านชายแดนใต้: หัวข้าวเกรียบ (ปาลอ-กรือโป๊ะ)*. รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- สมเกียรติ สุทธิยาพิพัฒน์. (2558). การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งข้าวเกรียบปลา. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์* 7(1), 71-80.
- สมชัย ะชุม. (2557). *การอบแห้งต้นกกโดยใช้พลังงานความร้อนจากเตาชีวมวล*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ไม่ได้ดีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุปราณี วุ่นศรี, นพดล โพธิ์กำเนิด, ชุมพูนุช โสมาลัย, และโกสินทร์ ทีปักษ์พันธ์. (2563). การพัฒนาเตาชีวมวลประหยัดพลังงาน สำหรับการแปรรูปหอยตลับโดยการมีส่วนร่วมของชุมชนลุ่มน้ำปะเหลียน จังหวัดตรัง. *วารสารเพื่อการวิจัยเชิงพื้นที่* 12(3), 223-236.
- สุรัชย์ ณัฐ จันทรศรี. (2560). การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ เชื้อเพลิงชีวมวล. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ* 12(1), 1-10.