กระบวนการนึ่งและอบแห้งข้าวฮางงอกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับคลื่นอินฟราเรด
A Parboiled GABA Rice (Khaohang) and Drying Process with Solar Energy and Infrared Electromagnetic Wave

นพพร พัชรประกิติ* พงศธร จันทร์แก้ว และวัชรพงษ์ มโหรี
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120
*ผู้รับผิดชอบบทความ: pnopporn@rmutl.ac.th โทรศัพท์ 053-729600-5

บทคัดย่อ
บทความนี้นำเสนอกระบวนการนึ่งข้าวฮางงอกด้วยระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับหม้อนึ่งเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม LPG และกระบวนการอบแห้งเพื่อลดความชื้นข้าวฮางงอกโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดแทนกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมที่ใช้การตากแดดตามธรรมชาติ ซึ่งช่วยลดปัญหา ความเสียหายของผลิตภัณฑ์จาก สภาพอากาศ ฝนตก ไม่มีแสงแดด และลดความสกปรกจากฝุ่นละออง ในกระบวนการนึ่งได้นำระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาอุ่นน้ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 70 องศาเซลเซียสก่อนเข้าสู่หม้อนึ่งเพื่อลดการใช้พลังงานจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า และได้พัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับคลื่นอินฟราเรด ผลการทดสอบและการเปรียบเทียบระยะเวลา การใช้พลังงานเทียบกับระบบดั้งเดิม พบว่า ในการนึ่งสามารถลดค่าใช้ด้านพลังงานเชื้อเพลิงได้ และในการอบแห้งวิธีต่างๆ ปรากฏว่าการตากแดดตามธรรมชาติใช้เวลา 8 ชั่วโมง 20 นาที อบแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลา 7 ชั่วโมง และอบแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดใช้เวลา 4 ชั่วโมง 40 นาที โดยความชื้นเริ่มต้น 65% และความชื้นสุดท้าย 14%
คำสำคัญ ข้าวฮางงอก การนึ่ง อบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ คลื่นอินฟราเรด

Abstract
This paper proposes a parboiled rice and drying in order to reduction of humidity rice Khaohang gok by using a solar energy dryer combine with infrared electromagnetic wave to reduce moisture. The advantage of this method is to reduce the product loss from weather story, rain and dust. The solar hot water is used to pre-heat water temperature to 70^{o}C before parboiled process. The duration of drying process to reduce moisture of rice from 65% to 14% is compared. The dryer with conventional naturally drying with solar takes 8.33 hours and solar dryer oven takes 7 hours, and drying with solar energy oven with infrared take only 4.66 hours. The economic analysis of proposed method is presented.
Keywords: Parboiled GaBA Rice (Khaohang), Steaming, Drying, Solar Energy, Infrared wave

1. บทนำ

ข้าวฮางงอกเป็นข้าวที่เพาะงอกจากข้าวเปลือก เป็นภูมิปัญญาชาวภูไท [1-2] ซึ่งข้อดี คือ มีสารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุ ไฟเบอร์ และกลิ่นหอม จากเปลือกมาเคลือบที่เมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น จึงทำให้ข้าวฮางมีสารอาหารกาบามากกว่าข้าวกล้องงอกและข้าวฮาง และมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าธัญพืชทั้งหลาย ช่วยให้สุขภาพแข็งแรงและสมดุล เพิ่มภูมิต้านทาน ช่วยป้องกันเชื้อโรคหรือโรคที่ไม่ได้เกิดจากเชื้อโรคได้ดี [3] ในกระบวนการผลิตข้าวฮางงอกประกอบด้วยกระบวนการนึ่งและอบแห้ง [4-5] ซึ่งโดยปกติจะใช้เชื้อเพลิง LPG เป็นหลักในการนึ่ง [6] ซึ่งจะทำให้เกิดความสิ้นเปลือง จึงได้มีการระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยเพิ่มอุณหภูมิน้ำก่อนให้ความร้อนเป็นไอน้ำสำหรับนึ่ง ทำให้ประหยัดการใช้ก๊าซหุงต้ม ได้ [7] กระบวนการต่อไปเป็นการอบแห้งซึ่งนิยมใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งมีข้อเสีย อาทิ สภาพอากาศ ฝุ่นละออง แมลง เชื้อรา และมีความไม่แน่นอนของแสงอาทิตย์โดยเฉพาะฤดูฝน [8] จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีหลายรูปแบบเพื่อลดความชื้นก่อนจะนำไปสีเพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ อาทิ ตู้อบแสงอาทิตย์ [9] ฮีทปั๊ม [10] ไมโครเวฟและหลอดรังสีอินฟราเรด [11-12] เป็นพลังงานอีกรูปแบบที่นิยมมาใช้เนื่องจากง่ายและมีการแผ่รังสีใกล้เคียงแสงอาทิตย์ ดังนั้นในบทความนี้จึงมีแนวคิดนำข้อดีของเทคโนโลยีแต่ละแบบผสมผสานกัน [13-16] โดยใช้ระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ช่วยลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง และการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับหลอดอินฟราเรดในกระบวนการอบ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนผลิตข้าวฮางงอก มีข้อแตกต่างจากข้าวฮาง ตรงที่มีการบ่มให้เกิดรากก่อนนำไปนึ่ง ขั้นตอนการทำ ดังแสดงในรูปที่ 5 มีขั้นตอนหลัก ดังรูปที่ 1 คือ นำข้าวเปลือกมาแช่น้ำ การบ่มให้รากงอก การนึ่งให้สุก การตากแดด หรือผึ่งลมให้แห้ง การสีเป็นข้าวกล้อง และแยกสิ่งเจือปนและเก็บในภาชนะที่แห้งสนิท หรือบรรจุในถุงสุญญากาศ

ในกระบวนการผลิตข้าวฮางงอกนี้จะมีการใช้พลังงานอยู่ 2 ส่วน คือ กระบวนการนึ่ง และอบแห้ง โดยปกติจะใช้เชื้อเพลิงหรือฮีตเตอร์ไฟฟ้าในการนึ่ง ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน จึงได้นำเทคโนโลยีแผงน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาช่วยในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำเพื่อลดการใช้พลังงานเดิม และใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าในการระเหยน้ำให้เป็นไอน้ำ ในการอบแห้งจะใช้ตู้อบพลังงานแสง อาทิตย์ในการอบแห้ง และในกรณีที่แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ จะใช้หลอดอินฟราเรดเป็นพลังงานเสริม ซึ่งทั้งการนึ่งและอบ จะใช้หลักการถ่ายเทความร้อน แบบนำความร้อน (Conduction) และ การพาความร้อน (Convection) ผสมผสานกัน

รูปที่ 1 กระบวนการผลิตข้าวฮางงอก

2.2 กระบวนการนึ่ง (steaming)

คือ วิธีการทำอาหารให้สุกด้วยการใช้ความร้อนจากไอน้ำร้อน ที่ได้จากการต้มน้ำเดือด การนึ่งโดยทั่วไปจะทำที่ความดันบรรยากาศปกติ ที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ อุณหภูมิอยู่ ระหว่าง 100 -105 องศาเซลเซียส ความร้อนจากไอน้ำจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของอาหาร ด้วยการพาความร้อน และเข้าสู่ภายในชิ้นอาหารด้วยการนำความร้อน ความร้อนจากการนึ่งเป็นความร้อนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (moist heat) และทำให้อาหารสุกเปรียบเทียบกับการต้ม อาหารที่ทำให้สุกด้วยการนึ่งไม่ได้แช่อยู่ในน้ำ ทำให้ลดการสูญเสียสารอาหารต่างๆ เช่น วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ และสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน เป็นต้น เปรียบเทียบกับการทอด การนึ่งไม่ต้องใช้น้ำมันเป็นตัวกลาง ทำให้อาหารนึ่งมีพลังงานต่ำกว่าอาหารทอด อาหารนึ่งจึงเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ในการนึ่งจะต้องใช้พลังงาน 2 ส่วน คือ ความร้อนสัมผัสในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำเป็น 100 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ (1) และสามารถหากำลังวัตต์ได้ เมื่อทราบเวลาที่ต้องการต้มน้ำ ดังสมการที่ (2) ในการแปลงค่าปริมาณน้ำให้เป็นมวล จะใช้สมการที่ (3) ในการคำนวณ

$$Q\ [kJ] = mc\Delta T \quad [kg][\ kJ/kg\ ^{\circ}C][^{\circ}C] \tag{1}$$

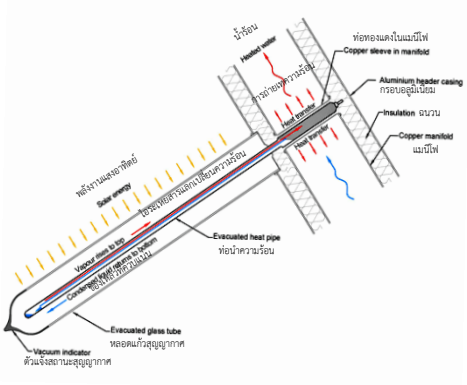
$$P\ [kW] = Q/t = mc\Delta T/t \quad [kJ]/[sec] \tag{2}$$

$$m = \rho V\ [kg/m^3][m^3] \tag{3}$$

เมื่อ

- Q ปริมาณความร้อน หน่วย KJ
- m มวลน้ำ หน่วย kg
- c ความจุความร้อนจำเพาะน้ำ = 4.187kJ/kg $^{\circ}C$
- ΔT ผลต่างอุณหภูมิ $^{\circ}C$
- t เวลาที่ใช้ในการต้ม (วินาที)
- ρ ความหนาแน่นของน้ำ 1000 kg/m^3
- η คือ ประสิทธิภาพของฮีตเตอร์ = 0.85

เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานในการให้ความร้อนจากแหล่งอื่น ในช่วงการเพิ่มอุณหภูมิน้ำก่อนระเหยเป็นไอน้ำสำหรับนึ่ง จึงได้เลือกระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหลอดสุญญากาศและท่อความร้อน (Vacuum Tube Solar Collector with Heat Pipe) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง ผลิตน้ำร้อนได้ถึงเกือบ 100 องศาเซลเซียส ดังในรูปที่ 2 คือ



รูปที่ 2 ระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ชนิดหลอดสุญญากาศ

ก) ตัวดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ (The Absorber) ที่ผ่านกรรมวิธี เคลือบผิวพิเศษด้วย Aluminum Nitride ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับแสงอาทิตย์ และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ได้สูงเกินกว่า 92%

ข) หลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated Glass Tube) จะมีลักษณะเป็นหลอดแก้วสองชั้น ด้านในเป็นสุญญากาศ

ค) คอนเดนเซอร์ (Condenser) เป็นส่วนถ่ายเทความร้อนของสารทำงานหลังจากรับพลังงานความร้อนจนกลายเป็นไอให้กับน้ำและกลั่นตัวกลับเป็นของเหลวตกลงไปด้านล่างของท่อทองแดง

ง) อุปกรณ์อื่นๆ เช่น แมนนิโฟน (Manifold) ถังเก็บน้ำร้อน ระบบปั๊ม และอุปกรณ์ประกอบเครื่อง เช่น แท่งแมกนีเซียม สำหรับจับตะกรันให้ย่อยสลายในถังป้องกันถังน้ำร้อนตัน และชุดควบคุมสำหรับควบคุมฮีทเตอร์และอุณหภูมิพร้อมบุอกอุณหภูมิในถัง วาวส์ลดแรงดัน สำหรับลดแรงดันในถังน้ำร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงเดือดมาก

พลังงานความร้อนอีกส่วนที่ใช้ในการนึ่ง คือ ความร้อนแฝงกลายเป็นไอ ที่ใช้ระเหยน้ำร้อนให้กลายเป็นไอน้ำ ดังสมการที่ (4)

$$Q = mL \tag{4}$$

เมื่อ L คือ ค่าความร้อนแฝงกลายไอของน้ำ 2,257 kJ/kg สำหรับสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ที่ใช้ในการต้มน้ำให้เดือดเป็นระยะเวลา t นาที (ชั่วโมง) ได้ดังสมการที่ (5)

$$P = \frac{Q}{\eta t} \tag{5}$$

เมื่อ

P คือ กำลังไฟฟ้า หน่วย kW
Q คือ ปริมาณความร้อน หน่วย kJ หรือ kWh
η คือ ประสิทธิภาพของฮีตเตอร์ = 0.85
t คือ เวลาที่ใช้ในการระเหย (วินาที) หรือ ชั่วโมง

ซึ่งฮีตเตอร์ไฟฟ้า(Electric Heater) จะใช้สำหรับทำอุณหภูมิให้น้ำร้อนเสถียรในกรณีไม่มีแสงอาทิตย์ และการระเหยน้ำให้กลายเป็นไอน้ำ

2.3 กระบวนการอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้น พร้อม ๆ กัน ความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ส่วนมากแล้วได้รับมาจากความร้อนสัมผัสของอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจะมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี แต่โดยทั่วไปแล้ว จะเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนเป็นหลัก โดยอัตราการทำแห้ง (drying rate) หรืออัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหย ต่อหน่วยเวลาระหว่างการทำแห้ง ขึ้นอยู่กับสภาพธรรมชาติของอาหารเริ่มต้นก่อนการทำแห้ง และสภาวะแวดล้อมระหว่างการทำแห้ง เช่น ชนิดของเครื่องทำแห้ง อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient) เป็นต้น กราฟระหว่างอัตราการทำแห้ง (drying rate) และความชื้น

ค่าความชื้น (Moisture content, M) คือค่าความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือวัสดุแห้งการบอกความชื้นในวัสดุมี 2 แบบ คือ ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ เป็นสัดส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักรวมของวัสดุ ดังสมการที่ (6)

$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \tag{6}$$

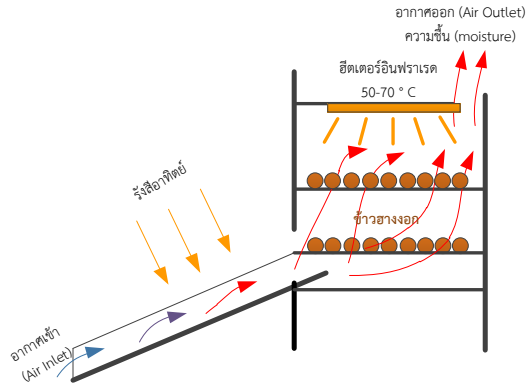
ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งและใช้ในบทความนี้ เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ โดยบอกเป็นสัดส่วนระหว่างน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักแห้งของวัสดุ ดังสมการที่ (7)

$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \tag{7}$$

โดยที่ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก
M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง
w คือ น้ำหนักของวัสดุ (kg)
d คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุ (kg)

ในการอบข้าวฮางงอกได้เลือกใช้การอบด้วยวิธีเครื่องอบแห้งโดยอ้อม เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบนี้วัสดุอบแห้งไม่ได้รับรังสี อาทิตย์โดยตรง ทำให้ลดการเปลี่ยนสีและผลกระทบ อื่นๆ ของวัสดุอบแห้ง ซึ่งเป็นผลมาจากการสัมผัสรังสี โดยตรง โดยระบบดังกล่าวจะมีส่วนของอุปกรณ์ผลิตอากาศร้อน สำหรับใช้ในห้องอบแห้ง ที่หุ้ม ฉนวนไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกภายนอก ภายในห้องอบแห้งอาจทำเป็นชั้น หลายๆ ชั้น เพื่อให้ บรรจุวัสดุในการอบแห้งได้มากขึ้น เพื่อให้ บรรจุวัสดุในการอบแห้งได้มากขึ้น ลักษณะโครงสร้างของเครื่องอบแห้งนี้แสดงในรูปที่ 3 ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระบบอากาศ (solar air system collector) หรือใช้หลักการสะท้อนรังสีอาทิตย์ไป ยังแผ่นดูดกลืนรังสีสำหรับผลิตอากาศร้อนในการให้ ความร้อนกับวัสดุเพื่อระเหยความชื้นออกจากวัสดุโดยหลักการถ่ายเทความร้อนโดยการพาระหว่างอากาศร้อน และวัสดุเปียก บนพื้นฐานของความแตกต่างความเข้มข้นของความชื้นระหว่างอากาศที่ใช้อบแห้งกับความชื้น ของอากาศบริเวณผิวของวัสดุเปียกในส่วนของ

การถ่าย โอนความร้อนและมวล ตามลำดับ ในกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ จะใช้หลอดรังสีอินฟราเรดในการอบแห้งเสริม ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นรังสีอินฟราเรด โดยการดูดซับรังสีอินฟราเรดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นอินฟราเรด ส่วนประกอบวัตถุ ลักษณะพื้นผิววัตถุ มุมตกกระทบ และสีของวัตถุ พลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะแผ่ไปยังวัสดุซึ่งจะทำให้น้ำภายในวัสดุสั่นและเกิดความร้อนขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว ลดระยะเวลาการอบแห้ง



รูปที่ 3 ตู้อบรังสีอาทิตย์ชนิดโดยอ้อม

3. ขั้นตอนการดำเนินการการทดลอง

3.1 การเลือกขนาดแผงน้ำร้อนและฮีตเตอร์ไฟฟ้า

ในกระบวนการนึ่งข้าวใช้หม้อนึ่งไอน้ำสำหรับกระบวนการนึ่งด้วยไอน้ำ โดยน้ำที่ป้อนเข้าหม้อนึ่ง ใช้น้ำร้อนที่ผลิตได้จากแผงรับรังสีความร้อน (Solar Collector) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จาก 25 °C ให้มีอุณหภูมิสูงใกล้เคียง 100 °C โดยระบบทำน้ำร้อนประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนได้แก่ แผ่นรังรังสีความร้อนแบบสุญญากาศ ถังน้ำร้อนขนาด 70 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 ระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์

ในกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ได้มีการเพิ่มขดลวดความร้อน สำหรับผลิตน้ำร้อนและไอน้ำสำหรับการนึ่ง โดยใช้การคำนวณหากำลังวัตต์ของฮีตเตอร์ไฟฟ้าดังนั้น ต้องการใช้ในการนึ่งข้าว 10 กิโลกรัม ต้มน้ำ 10 ลิตร จากอุณหภูมิ 25 °C ให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 °C ภายใน 10 นาที จึงสามารถหากำลังฮีตเตอร์ได้ จากสมการที่ (2) จะได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 6.24 kW และในการนึ่งใช้เวลา 40 นาที ใช้น้ำ 10 ลิตร หรือเทียบเท่า 10 kg ดังนั้นเมื่อหาขนาดกำลังของฮีตเตอร์ไฟฟ้าสำหรับต้มน้ำ จากสมการที่ (5) จะต้องแปลงค่า MJ ให้เป็นค่า kWh โดยหารด้วย 3.6 และหารด้วยเวลาชั่วโมง ก็จะได้ค่ากำลังวัตต์ของฮีตเตอร์ และเมื่อคิดประสิทธิภาพ 85% จึงเลือกใช้ฮีตเตอร์ที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 11 กิโลวัตต์

3.2 การเลือกขนาดตู้อบแห้งและหลอดอินฟราเรด

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดที่สร้างขึ้น โดยประกอบด้วย กระจกหลังมี ขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 55x85x80 ซม. และใช้แผ่นเหล็กรับรังสีอาทิตย์ทาด้วยสีดำ เพื่อให้มีการดูดกลืนการแผ่รังสีสูง ปิดด้านบนไว้ด้วยกระจก ขนาด 100 x 100 ซม. ดังในรูปที่ 5

รูปที่ 5 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดยอ้อม

ฮีตเตอร์อินฟราเรด(Infrared Heater) เป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสี เหมือนกับที่ดวงอาทิตย์ส่งความร้อนมายังโลก จึงมีประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียต่ำ ประหยัดไฟได้ 30-50% สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อใน จึงทำให้ประหยัดเวลาได้ 1-10 เท่า ซึ่งการให้ความร้อน แบบการพาและการนำความร้อน จะทำให้วัตถุร้อนเฉพาะที่ผิว แล้วค่อย ๆ ซึมเข้าไปเนื้อใน จึงใช้เวลามากกว่า ขนาดจะมีขนาดเล็กกว่าฮีทเตอร์แบบทั่ว ๆ ไป ทำให้ประหยัดเนื้อที่การติดตั้ง และการถอดเปลี่ยนเพื่อซ่อมบำรุงง่าย มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไม่มีเปลวไฟ ตัวเรือนมีความเป็นฉนวนสูง ไฟไม่รั่ว ให้รังสีช่วง 3 – 10 mm. ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสี

ได้ดี ในการพิจารณาเลือกใช้ฮีตเตอร์อินฟราเรด พิจารณาจากอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสี ซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิได้ด้วยชุดควบคุม ให้มีค่าอยู่ที่ประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส กำลังไฟฟ้า 500-800 วัตต์ ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 อินฟราเรดฮีตเตอร์

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและพารามิเตอร์สำหรับทดสอบเครื่องนึ่งและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรด ข้าวเปลือกชื้นที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำมาแล้ว และมีค่าความชื้นเริ่มต้นที่ 65% จำนวน 10 กิโลกรัมต่อการผลิต 1 ครั้ง และวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการอบแห้งในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือกประกอบด้วย อุณหภูมิ ระยะเวลา และความเร็วลม โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีอิทธิพลต่อต่อคุณภาพข้าวเปลือกหลังอบแห้งมากที่สุด

โดยเกณฑ์ที่ใช้ประเมินคุณภาพข้าวเปลือก คือ หลังการนำไปสีของเมล็ดข้าว ข้าวจะต้องไม่แตกหัก ซึ่งหากอุณหภูมิสูงเกินจะทำให้ข้าวแตกหักได้ ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิที่มีค่าต่ำอบแห้งข้าวเปลือก จะไม่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของคุณภาพของข้าว โดยปกติใน การทดสอบอบแห้งข้าวเปลือกจะต้องทำไปพร้อมกับการตรวจสอบคุณภาพ จะทำให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสม ประหยัดพลังงานและได้ข้าวที่มีคุณภาพ โดยขั้นตอนการทดลอง มีดังต่อไปนี้

1) เตรียมข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 จำนวน 10 กก.
2) นำข้าวไปนึ่ง โดยใช้น้ำร้อนจาก Solar Collector ในการเพิ่มอุณหภูมิและใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าในการระเหยน้ำให้เป็นไอน้ำ
3) นำข้าวไปอบแห้งทั้ง 4 วิธี คือ ตากแสงอาทิตย์ธรรมชาติ อบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ อบแห้งด้วยตู้อบแสงอาทิตย์ร่วมกับหลอดอินฟราเรด และใช้หลอดอินฟราเรด ช่วงอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
4) เก็บบันทึกข้อมูลอัตราการลดความชื้นและระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือก โดยพิจารณาความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 65% และความชื้นสุดท้าย 14% ของแต่ละกรณี

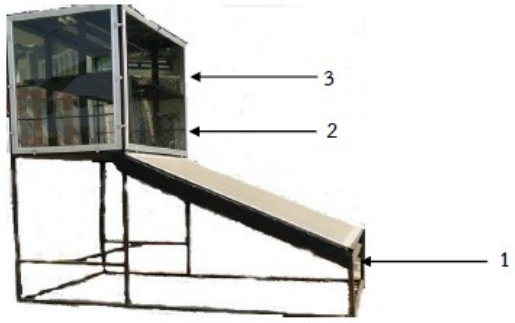
4. ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 ผลการนึ่งข้าวฮางงอก

ผลการทดลองนึ่งข้าวฮางงอก โดยใช้แหล่งพลังงานได้แก่ การใช้ไฟฟ้าร่วมกับแผงรับน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีอุณหภูมิสูงใกล้เคียง 100 องศาเซลเซียสก่อนแล้วจึงป้อนน้ำเข้าไปในระบบนึ่ง และใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าต้มให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ ทำให้สามารถประหยัดพลังงาน คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 3,694.41 kJ หรือ 1.026 kWh ต่อการนึ่งข้าวฮาง 10 kg หรือ 0.0102 kWh/kg และคิดเป็นพลังงานความร้อน 3.744 MJ เทียบเท่ากับเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่มีค่าความร้อน 50.22 MJ/kg ทำให้ประหยัดแก๊สได้ 0.0074 kg/kg

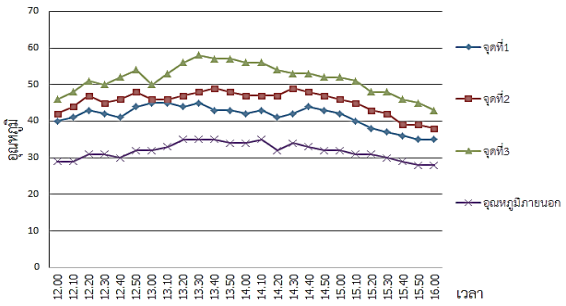
4.2 ผลการทดลองตู้อบข้าวฮางงอก

ผลการวัดอุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ในแต่ละจุดภายในตู้อบทั้งหมด 3 จุดด้วยกัน คือ ทางช่องลมเข้า ทางช่องลมเข้ามาในตู้อบ และกลางตู้อบ เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในตู้อบกับอุณหภูมิภายนอก แสดงได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 อุณหภูมิในจุดต่างๆ ของตู้อบ

ผลการวัดอุณหภูมิจากรูปที่ 7 การวัดอุณหภูมิในจุดที่ 1 ทางช่องลมเข้า จุดที่ 2 ทางช่องลมเข้ามาในตู้อบ จุดที่ 3 กลางตู้อบ และอุณหภูมิภายนอก เพื่อเปรียบเทียบวิเคราะห์ผลความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละส่วน

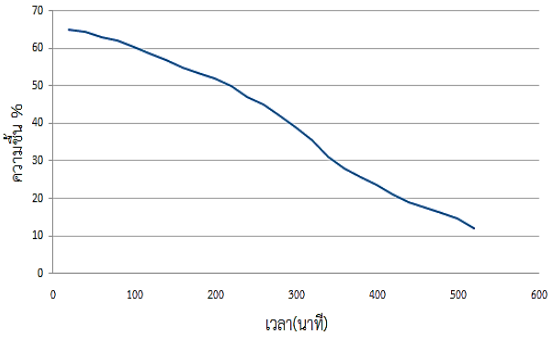


รูปที่ 8 อุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิภายในตู้อบ

อุณหภูมิ	จุดที่ 1 ทางช่องลมเข้า	จุดที่ 2 ช่องลมเข้าตู้อบ	จุดที่ 3 กลางตู้อบ	อุณหภูมิภายนอก
อุณหภูมิสูงสุด	45	49	58	35
อุณหภูมิต่ำสุด	35	38	43	28
อุณหภูมิเฉลี่ย	40	44	51	34

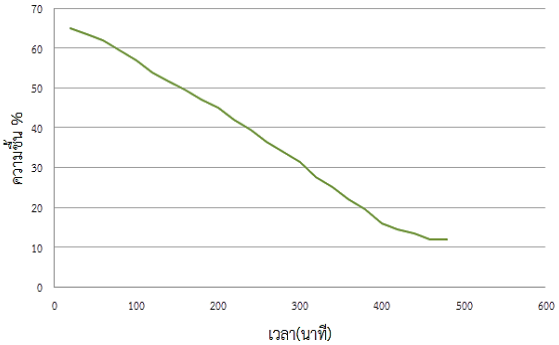
4.3 การลดความชื้นข้าวฮางงอกด้วยวิธีธรรมชาติ



รูปที่ 9 อัตราลดความชื้นของข้าวฮางงอกวิธีธรรมชาติ

ผลจากลดความชื้นข้าวฮางงอกรูปที่ 7 ด้วยวิธีธรรมชาติใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นจาก 65% ถึง 14% ใช้เวลาทั้งสิ้น 500 นาที (8 ชั่วโมง 20 นาที)

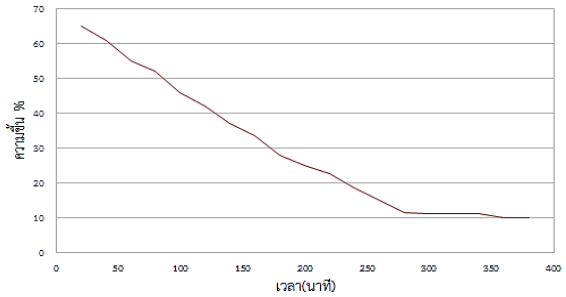
4.4 การลดความชื้นข้าวฮางงอกโดยการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 10 อัตราลดความชื้นข้าวฮางงอกด้วยตู้อบแสงอาทิตย์

ผลจากลดความชื้นข้าวฮางงอก พบว่าการลดความชื้นข้าวฮางงอกโดยการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นจาก 65% ถึง14% ใช้เวลาทั้งสิ้น 420 นาที (7 ชั่วโมง)

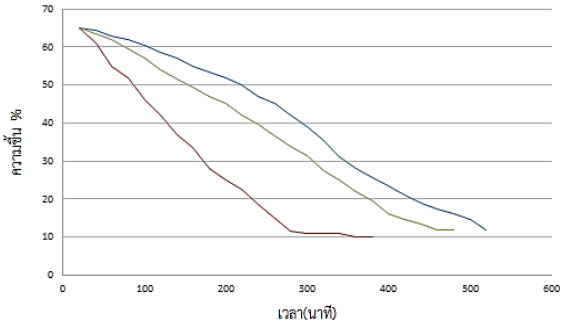
4.5 การทดลองลดความชื้นข้าวฮางงอกโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดที่อุณหภูมิคงที่ 70 องศา



รูปที่ 11 การลดความชื้นของข้าวฮางงอกกับเวลาโดยการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรด

ผลจากลดความชื้นข้าวฮางงอกรูปที่ 8 การลดความชื้นข้าว ฮางงอกโดยการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นจาก 65% ถึง 14% ใช้เวลาทั้งสิ้น 280 นาที (4 ชั่วโมง 40 นาที) และค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ฮีตเตอร์อินฟราเรด ใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 700 วัตต์ จะใช้พลังงานเท่ากับ 3.26 kWh ต่อการอบ 10 กก. หรือ 0.326 kWh/kg คิดเป็นค่าใช้จ่าย 1.3 บาท/กก.

4.6 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นของข้าวฮางงอก 3 วิธี



รูปที่ 12 การลดความชื้นของข้าวฮางงอก

จากรูปที่ 12 กราฟเส้นที่ 1 (บน) แสดงถึงการลดความชื้นวิธีธรรมชาติ กราฟเส้นที่ 2 (กลาง) แสดงถึงการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว และกราฟเส้นที่ 3 (ล่าง) แสดงถึงการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรด ผลที่ได้จากการทดลองลดความชื้นข้าวฮางงอกทั้ง 3 วิธีพบว่าการลดความชื้นวิธีที่เร็วที่สุดคือ ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรด เมื่อเทียบกับวิธีตากแดดธรรมชาติ และใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว และสามารถผลิตได้มากกว่า 2 ครั้งต่อวัน ข้อดีของ

อินฟราเรดมีการสูญเสียความร้อนน้อย มีปริมาณความร้อนสะสมจากแผงรับรังสีความร้อนจะลอยตัวขึ้นเข้ายังภายในตู้อบ และการแผ่รังสีจากหลอดอินฟราเรดจะดูดซับรังสีโดยตรง การทะลุทะลวงของรังสีทำได้ดี จึงทำให้น้ำสามารถระเหยออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้เร็ว และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดีขึ้นด้วย

5. สรุป

ในบทความนี้ได้นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตข้าวฮางงอก ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการนึ่ง โดยระบบผลิตน้ำร้อนแผงพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำที่ให้ความร้อนเป็นไอน้ำสำหรับนึ่ง และในกระบวนการอบเพื่อลดความชื้นได้ใช้กระบวนการเปรียบเทียบกัน 3 วิธี คือ วิธีตากแดดด้วยธรรมชาติใช้เวลา 8 ชั่วโมง 20 นาที วิธีตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวใช้เวลา 7 ชั่วโมง และวิธีใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดใช้เวลา 4 ชั่วโมง 40 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดสามารถทำได้ดีกว่าเนื่องจากทำการผลิตได้ 2 ครั้งต่อวันดีกว่าการตากแดดธรรมชาติประมาณ 2 เท่า ซึ่งข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ในการประเมินทางเทคนิคไปวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป ซึ่งมีปัจจัยขึ้นอยู่กับยอดขาย ราคาขายที่เพิ่มขึ้นจากการผลิตข้าวฮางงอก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ในโครงการยกระดับปริญญานิพนธ์ (Hands-on research :HR)

7. เอกสารอ้างอิง

[1] นันนิภา ประสันลักษณ์ และ ธนาภรณ์ อธิปัญญากุล (2557). การจัดการผลิตและการตลาดของข้าวพันธุ์สกลนครและข้าวก่ำ ในจังหวัดขอนแก่น, *วารสารวิจัย มข.*2(1):ม.ค.-เม.ย. 2557.

[2] ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล รัชฎาพร อินพา และ ทิพวรรณ ใจกว้าง (2555). การผลิตข้าวกล้องมอลต์จากข้าวไร่พื้นที่สูงในจังหวัดเชียงใหม่, *วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย (สสอท.)*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 1 พฤษภาคม 2555, หน้า 105-118.

[3] ชลิดา เนียมนุ้ย, สุขทิพย์ สุขใส, อนุกูล วัฒนสุข, กนกภรณ์ ครุฑภาพันธ์ และ โสรยา เกิดพิบูลย์ (2555). สมบัติเชิงกายภาพบางประการของซุปที่ผลิตจากข้าวกล้องและข้าวฮาง, *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, ปีที่ 43, ฉบับที่ 2 (พิเศษ), พฤษภาคม - สิงหาคม 2012, หน้า 237-240.

[4] กรรณิการ์ ห้วยแสน (2556). วิธีการเตรียมและการอบแห้งต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวฮางงอกจากข้าวพันธ์ขาวดอกมะลิ 105,*วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*, 2556.

[5] ชัยวัฒน์ ทองวันชัย และเอกราช ตากกระโทก, “การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ผลิตข้าวเปลือกงอกที่ให้สาร GABA สูง”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, ตุลาคม 2555, จังหวัดเชียงราย

[6] อธิคม จิรจินดาเลิศ (2546). การนึ่งข้าวกล้องด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[7] Saeid, S., Xiaolin, W., Alan D. H. and Ziwen X., (2015). Solar domestic hot water systems using latent heat energy storage medium: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 49, September 2015, Pages 517–533.

[8] วิภาดา ราญมีชัย, พนิดา บุญฤทธิ์ธงชัย, อภิรดี อุทัยรัตน์กิจ และ ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย(2557). ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนต่อคุณภาพข้าวฮางงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105, *วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร* 45(2), 2557, หน้า 129-132.

[9] Vijayaven, k., Sanjairaj , Iniyan, S., and Ranko, G., (2012). A review of solar drying technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, June 2012; Vol 16(5), 2012, 2652-2670.

[10] Best, R., Soto, W., Pilatowsky, I., and Gutierrez, L.J., (1994). Evaluation of a rice drying system using a solar assisted heat pump, *Renewable Energy*, Volume 5, (1–4), August 1994, Pages 465-468.

[11] ธวัชชัย ธรรมขันแก้ว และ วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล (2555). การประเมินสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพื่อใช้กับวัสดุเกษตร, *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13*, เมษายน 2555.

[12] กิตติ สถาพรประสาธน์ และ ฉัตรชัย นิมมล (2556). อิทธิพลของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบการอบแห้งด้วยเจตสเปาเต็ดเบดเป็นจังหวะ, *KKU Research Journal*, 18(2), 2013; page 325-343.

[13] Amer, B.M., Hossain, M.A., and Gottschalk, K. (2013). Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana, *Energy Conversion and Management*, September 2013.

[14] สุทธิชัย ภมรสมิต (2550). การศึกษาการอบแห้งเนื้อปลานิลด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมรังสีอินฟราเรด, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน*, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[15] มะลิ นาชันสินธุ์, จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ และชลิดา เนียมนุ้ย (2556). Instant Parboiled Germinated Brown Rice (Khao Hom Tong Sakonthawapee) Prepared by Far Infrared Assisted Drying Technique, *The Fifth International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB V)*, กันยายน 2013, Luang Prabang, สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว.

[16] Chantana, P., Rattanachai, P., Sirinuch, C. and Somchai, M., (2009). Simulation design and evaluation of hybrid PV/T assisted desiccant integrated HA-IR drying system (HPIRD), *Food and Bioproducts Processing*, Volume 87 (2), June 2009, Pages 77–86.

[17] Abe, T., and Afzal. T.M., (1997). Thin-Layer Infrared Radiation Drying of Rough Rice, *Journal of Agricultural Engineering Research*, Volume 67, (4), August 1997, Pages 289–297.