

สมรรถนะของระบบการอบแห้งข้าวแต๋นโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนแบบผสมผสาน

PERFORMANCE OF RICE CRACKER DRYING SYSTEM USING HYBRID HEAT SOURCE

วันรับ 4 มีนาคม 2562
วันแก้ไข 1 พฤษภาคม 2562
วันตอบรับ 31 พฤษภาคม 2562

ภคมน ปินตานา^{1*}, และ ปฏิพัทธ์ ธนอมพงษ์ชาติ²
Pakamon Pintana^{1*}, and Patipat Thanompongchart²

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

¹School of Renewable Energy, Maejo University

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

²Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University

*Corresponding author e-mail: p.pintana@gmail.com



บทคัดย่อ

ขั้นตอนของกระบวนการผลิตข้าวแต๋น ที่สำคัญคือการทำแห้ง เมื่อข้าวเหนียวขึ้นรูปแล้ว หากไม่ทำให้แห้งจะเกิดการเน่าเสียได้ การตากแดดต้องอาศัยธรรมชาติ แม้ต้นทุนต่ำมากแต่ก็ควบคุมสภาวะได้ยาก หากใช้โรงอบด้วยพลังแสงอาทิตย์ หากท้องฟ้าครึ้มก็ไม่สามารถอบตากได้ แต่การใช้เตาอบก็มีต้นทุนสูงจากค่าก๊าซเชื้อเพลิง ในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบการอบแห้งข้าวแต๋นโดยใช้แหล่งความร้อนแบบผสมผสานระหว่างแสงอาทิตย์ และชีวมวล โดยดำเนินการออกแบบและทดสอบเครื่องอบร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการผลิตข้าวแต๋นของห้างหุ้นส่วนสามัญข้าวแต๋นทวีพรรณคือ เจ้าของกิจการ หัวหน้าฝ่ายผลิต และช่างซ่อมบำรุง การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวแต๋นใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite design โดยมีตัวแปรต้นคือ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในโดม ผลการทดสอบพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุดทำงานคือ 35 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิสำหรับเริ่มจุดเตาคือ 45 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการอบแห้ง 1,320 นาที ความชื้นผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์คือ ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต้นทุนคงที่ 670,000 บาท และต้นทุนผันแปร 167 บาท ต่อรอบการผลิตข้าวแต๋นครั้งละ 2,000 กิโลกรัม โดยเครื่องอบแห้งและสภาวะในการทดสอบที่ได้สามารถนำไปใช้เพื่อการผลิตข้าวแต๋นให้มีคุณภาพและช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

คำสำคัญ: การอบแห้ง ข้าวแต๋น โดมอบพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล



Abstract

The important step of rice cracker production process is drying. When steamed sticky rice is not dried, it can cause spoilage. The sun is a natural habitat. Although the cost is very low but difficult to control. The use of solar dome cannot be used in sky's overcast. But using the oven has a high cost due to the fuel cost. In this research, the rice cracker drying system was developed using a combination of solar and biomass heat sources. The rice cracker drying are designed and tested, the researchers had collaborated with stakeholders from Khaotan Taweeapan Ordinary partnership (Owner, Production supervisor, and Technician). The experiment for optimization condition using the experimental design method of Central Composite design with the initial variable is relative humidity and temperature in the dome. The results found that the relative humidity that caused the fan to stop working was 35 percent and the temperature for starting the furnace was 45 degrees Celsius. The drying time is 1,320 minutes. The product moisture content is not more than 10 percent db. Fixed cost is 670,000 baht and variable cost is 167 baht per 2,000 kilograms of rice cracker production. The dryer and optimization condition obtained can be used for the production of quality rice cracker and reduction production costs.

Keywords: Drying, Rice Cracker, Solar Dome, Biomass



บทนำ

ข้าวเหนียวแห้งทอดกรอบปรุงรส หรือที่รู้จักกันในชื่อ ข้าวแต๋น ซึ่งเป็นหนึ่งในของขึ้นชื่อประจำท้องถิ่นจังหวัดลำปาง ที่ผลิตจากภูมิปัญญาชาวบ้านในการถนอมอาหารโดยการนำข้าวที่เหลือจากการบริโภคประจำวันมาปั่นแล้วตากแดดเพื่อเก็บรักษาไว้ นำมาทอดให้สุกเพื่อรับประทาน ข้าวแต๋นเป็นขนมโบราณของคนภาคเหนือ ทำเพื่อเลี้ยงแขกในงานมงคลต่างๆ เช่น งานขึ้นบ้านใหม่ งานแต่งงาน งานปีใหม่มงกุฎ เป็นต้น ปัจจุบันมีการขยายระดับขนาดตลาดจากของบริโภคพื้นบ้านมากมายเป็นสินค้า OTOP เป็นสินค้าที่ได้รับการยอมรับทั้งจากผู้บริโภคในประเทศ และต่างประเทศ มีการส่งออก สร้างรายได้ต่อท้องถิ่นอย่างมาก ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมนี้มีมากขึ้นทั้งในรูปแบบผู้ผลิตรายเดียว การรวมกลุ่มกัน หรือการตั้งเป็นบริษัท ในประเทศไทยมีการผลิตข้าวแต๋นในหลายจังหวัดภาคเหนือ และภาคอีสาน ในพื้นที่จังหวัดลำปางมีผู้ผลิตข้าวแต๋นมากกว่า 50 ราย จ้างแรงงานท้องถิ่นกว่า 2,500 คน (ปวิพท์ ถนอมพงษ์ชาติ และภคมน ปินตานา, 2561) กระบวนการผลิตข้าวแต๋นมีขั้นตอนการทำให้แห้งด้วยการตากหรืออบ ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการแปรรูป เมื่อข้าวเหนียวขึ้นรูปแล้วหากไม่ทำให้แห้งจะเกิดการเน่าเสียได้ ขั้นตอนนี้เป็นคอขวดของการผลิตหากตากหรืออบได้เร็วจะทำให้ผลิตข้าวแต๋นได้มาก การตากแดดต้องอาศัยธรรมชาติแม้ต้นทุนพลังงานต่ำมากแต่ทำให้คุ้มค่า และมีข้อจำกัด การตากแดดแบบเดิมอาจใช้เวลา 1-2 วัน หากใช้โรงอบตากด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หากท้องฟ้าครึ้มก็ไม่สามารถอบตากไม่ได้ ต้องอาศัยเตาอบที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มให้การเผาให้ความร้อนทดแทนแสงอาทิตย์

แต่ด้วยในสถานการณ์ปัจจุบันราคาก๊าซหุงต้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทำให้การผลิตข้าวแต๋นมีต้นทุนสูงจากอบแห้งในช่วงสภาวะที่ไม่มีแดด

อุตสาหกรรมผลิตข้าวแต๋นมีการอบแห้ง 4 รูปแบบ (ปวิพท์ ถนอมพงษ์ชาติ และภคมน ปินตานา, 2561) คือ การตากข้าวแต๋นด้วยแสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ใช้ต้นทุนต่ำ เนื่องจากเป็นพลังงานที่ไม่มีค่าใช้จ่าย สะอาด และใช้ได้ไม่วันหมด (กฤติเดช ดวงใจบุญ, 2561) รูปแบบที่สองที่พัฒนาขึ้นคือ การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกขนาดพื้นที่ 160 ตารางเมตร ซึ่งประยุกต์ใช้จากงานวิจัยของ (Janjai) (2012) ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตที่สะอาดขึ้นเนื่องจากโดมช่วยป้องกันฝุ่นละอองได้ อีกรูปแบบคือ การใช้ก๊าซไอเสียร้อนจากการเผาไหม้ก๊าซหุงต้มเพื่อให้ความร้อนแก่ห้องอบแห้ง เพื่อแก้ไขปัญหาการอบแห้งในฤดูกาลที่ไม่มีแสงอาทิตย์ แต่ก๊าซเผาไหม้โดยตรงจะทำปฏิกิริยาบางอย่างซึ่งทำให้ข้าวแต๋นมีสีแตกต่างไป ดังบทความวิจัยของ Thanompongchart et al. (2016) ทั้งนี้ข้าวแต๋นแห้งที่ผลิตจากการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ ก็มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนรูปแบบสุดท้ายคือ การอบแห้งด้วยระบบการให้ความร้อนแบบหมุนวนโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถอบแห้งข้าวแต๋นได้คุณภาพใกล้เคียงกับการตากแดดโดยตรง (สี ความแข็งแรงรอบ การหดและพอง) ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้ก๊าซไอเสียไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ด้วย และยังสามารถลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการดำเนินงานได้เป็นอย่างดี แต่ขนาดกำลังการผลิตยังไม่สอดคล้องกับความต้องการกับผู้ผลิต เพื่อให้สามารถใช้งานเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานทดแทนได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุดและช่วยในการผลิตข้าวแต๋นแห้งมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงทำให้เกิดโครงการเครื่องอบแห้งข้าวแต๋นโดยใช้แหล่งความร้อนแบบผสมผสานระหว่างแสงอาทิตย์ และชีวมวล



วัตถุประสงค์การวิจัย

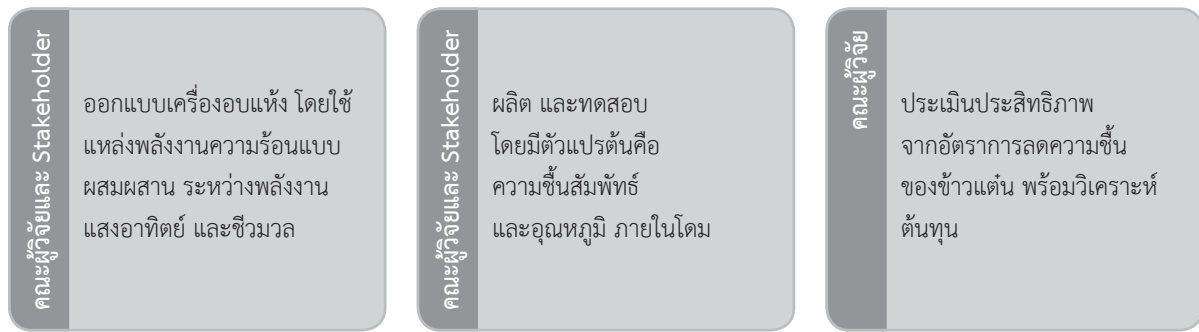
1. พัฒนาระบบการอบแห้งข้าวแต๋นโดยใช้แหล่งความร้อนแบบผสมผสาน
2. ทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวแต๋น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยสามารถลดต้นทุนได้



ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาและพัฒนาระบบการอบแห้งข้าวแต๋นโดยใช้แหล่งความร้อนแบบผสมผสานระหว่างแสงอาทิตย์ และชีวมวล โดยสร้างและทดสอบเครื่องอบในพื้นที่ ห้างหุ้นส่วนสามัญข้าวแต๋นทวีพรรณ ซึ่งเป็นประธานผู้ผลิตข้าวแต๋นของจังหวัดลำปาง การออกแบบและทดสอบเครื่องอบร่วมดำเนินการกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการผลิตข้าวแต๋นของโรงงานคือ เจ้าของกิจการ หัวหน้าฝ่ายผลิต และช่างซ่อมบำรุง และใช้วัตถุดิบข้าวแต๋นทงรี

กรอบความคิดในการวิจัย/สมมติฐานการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้กระบวนการวิจัยแบบผสม (Mixed-methods research) ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ร่วมดำเนินการกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการผลิตและจำหน่ายข้าวแต๋นของโรงงาน คือ เจ้าของกิจการ ตัวแทนพนักงานฝ่ายผลิต และตัวแทนช่างซ่อมบำรุง ของห้างหุ้นส่วนสามัญข้าวแต๋นทวีพรรณ จังหวัดลำปาง

1. ขั้นตอนการวิจัย

1.1 ศึกษารูปแบบการผลิตข้าวแต๋น คุณสมบัติสำคัญในการอบแห้ง โดยการสำรวจและสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interview)

1.2 จัดการสนทนากลุ่มแบบเจาะจง (Focus Group Discussion) เพื่อประเมินความต้องการปริมาณการผลิตและความเป็นไปได้ในการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการนำมาอบแห้งข้าวแต๋น โดยเงื่อนไขสำคัญคือ ผลิตภัณฑ์ต้องมีคุณภาพอย่างน้อยเทียบเท่ากับการผลิตเดิม สามารถผลิตได้โดยไม่ต้องพึ่งพาสภาพแวดล้อม และสามารถลดต้นทุนค่าก๊าซเชื้อเพลิง

1.3 รวบรวมองค์ความรู้จากเอกสารต่างๆ ทฤษฎีในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบโดมพลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบท่อลม การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในพื้นที่ การวิเคราะห์คุณภาพข้าวแต๋น และการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

1.4 ออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องอบแห้ง เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการอบลดความชื้น โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง (DOE) แบบ Central Composite Design เพื่อทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้จำนวนการทดลองที่น้อยที่สุดที่เชื่อถือได้ เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบและเวลาในการทดสอบ (Pintana et al., 2016; ปฏิพัทธ์ ถนอมพงษ์ชาติ และภคมน ปินตานา, 2561) ซึ่งมีการทดลองทั้งสิ้น 13 การทดลอง และค่าตัวแปร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดการทดลอง

การทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ความชื้นสัมพัทธ์ในโดม (เปอร์เซ็นต์)	25	25	25	30	30	30	30	30	30	30	35	35	35
อุณหภูมิในโดม (°C)	35	40	45	35	40	40	40	40	40	45	35	40	45



ภาพที่ 1 สภาพพื้นที่สำหรับการก่อสร้างเครื่องอบข้าวแต๋น

2. เครื่องมือในที่ใช้นงานวิจัย

2.1 การสำรวจพื้นที่ เพื่อวางแผนในการจัดหาสถานที่เพื่อสร้างห้องอบแห้งข้าวแต๋น ซึ่งจากการลงสำรวจพื้นที่พบว่า จำเป็นที่จะต้องถมพื้นที่สำหรับสร้างห้องอบแห้งใหม่ โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก และสามารถใช้พลังงานจากชีวมวลได้ ซึ่งจากการลงสำรวจพื้นที่กับผู้ประกอบการพบว่า มีพื้นที่เหมาะสมอยู่บริเวณด้านหลัง ข้างกับโดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เดิม โดยต้องขยายพื้นที่และจัดวางห้องอบแห้งใหม่ในทิศเหนือ-ใต้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สูงที่สุด จากการสำรวจและตรวจวัดดังภาพที่ 1 พบว่า มีพื้นที่ในการสร้างห้องอบแห้งได้ถึง 8×25 เมตร หรือกว่า 200 ตารางเมตร และต้องมีการดำเนินการปรับพื้นที่ให้พร้อมใช้งานโดยการถมดิน และรอการเซ็ดตัวของหน้าดินก่อนการก่อสร้าง เพื่อป้องกันการยุบตัวของดินซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของห้องอบแห้งได้

2.2 การสัมภาษณ์แบบเจาะลึก และการจัดสนทนากลุ่มแบบเจาะจงเจ้าของกิจการ ตัวแทนพนักงานฝ่ายผลิต และตัวแทนช่างซ่อมบำรุง

2.3 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นด้วยระบบอินฟราเรด KETT FD-660 ใช้วัดความชื้นวัตถุดิบข้าวแต๋น เพื่อคำนวณน้ำหนักที่หายไปจากการให้ความร้อนและการอบแห้ง โดยให้ค่าความละเอียด 0.01 เปอร์เซ็นต์ เก็บตัวอย่างวัตถุดิบข้าวแต๋นทุก 60 นาที เลือกจุดตรวจ 3 ตำแหน่ง จุดละ 3 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

2.4 ชุดวัดและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องอบแห้ง โดยติดตั้งเพื่อตรวจวัดจำนวน 3 จุด ซึ่งอยู่ภายในห้องอบแห้ง ด้านบนของโดมห้อยห่างจากพื้น 2 เมตร และด้านนอกของโดมจำนวน 1 จุด เพื่อวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อม โดยการวัดอุณหภูมิและความชื้นนี้สามารถควบคุมการทำงานของพัดลมระบายความชื้นได้ ถ้าความชื้นภายในห้องอบแห้งเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งในการทดลองได้ตั้งความชื้นความชื้นอากาศอยู่ที่ 25 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ พัดลมจะทำงานต่อเนื่อง แต่ถ้าความชื้นในห้องต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ พัดลมจะตัดการทำงานเพื่อป้องกันข้าวแต๋นในห้องแห้งจนเกินไปและก่อให้เกิดความเสียหายต่อข้าวได้ โดยแสดงผลผ่านหน้าจอควบคุม แสดงในภาพที่ 2 จดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากมิเตอร์ก่อนและหลังดำเนินงานเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย



ภาพที่ 2 ชุดวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องอบแห้ง

3. การวิเคราะห์ผล

3.1 การหาปริมาณความชื้นจะบอกในรูปของเปอร์เซ็นต์ซึ่งมีวิธีบอกอยู่ 2 แบบ คือแบบมาตรฐานเปียก (Wet-basis) แบบมาตรฐานแห้ง (Dry-basis) (รัชชัย ธรรมชั้นแก้ว และวีระ ฟ้าเพื่องวิทยากุล, 2558) โดยที่ความชื้นมาตรฐานเปียก เขียนในรูปสมการดังสมการที่ 1 และความชื้นมาตรฐานแห้ง เขียนในรูปสมการที่ 2

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

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

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, (เปอร์เซ็นต์)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, (เปอร์เซ็นต์)

M คือ มวลของวัสดุ, กิโลกรัม

d คือ มวลของวัสดุแห้ง, กิโลกรัม

3.2 การวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis) โดยต้นทุนหมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เสียไปในกระบวนการผลิตสินค้าหรือการให้บริการ ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ประเมินต้นทุนการผลิต ซึ่งแบ่งออกเป็น ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) หมายถึง รายจ่ายในการผลิตที่ไม่แปรตามยอดผลผลิต เช่น ค่าที่ดิน สิ่งก่อสร้าง และต้นทุนผันแปร (Variable Cost)

หมายถึง รายจ่ายที่เกิดขึ้น เช่น ค่าแรง ค่าขนส่ง ค่าวัตถุดิบ ค่าสาธารณูปโภค ที่แปรตามจำนวนการผลิต (แมนนูกมาศ ที่ตั้ง, 2558)

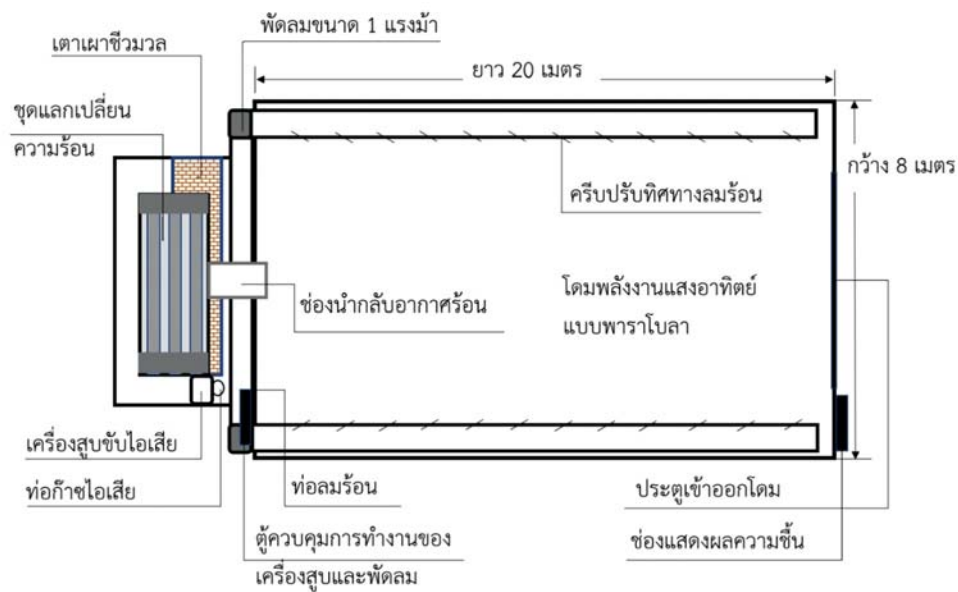


ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาระบบการอบแห้งข้าวแต๋นโดยใช้แหล่งความร้อนแบบผสมผสาน เริ่มจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลโดยการสำรวจและสัมภาษณ์เชิงลึก พบว่าปัจจุบันระบบการอบแห้งโดยใช้โดมแสงอาทิตย์ ได้ข้อมูลค่าความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษาข้าวแต๋นที่ได้จากการอบแห้ง ที่เหมาะกับการเก็บรักษาและข้าวสามารถทอดแล้วพองได้นั่นอยู่ที่ 7-10 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง และพบว่าความชื้นข้าวแต๋นก่อนเข้าห้องอบมีความชื้นประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ และหลังการอบแห้งมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 7-10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้คำนวณจากปริมาณน้ำที่ต้องนำออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำเข้ามาอบแห้ง โดยข้าวแต๋นปกติ 1 กิโลกรัม ต้องนำออกประมาณ 0.6 กิโลกรัม ซึ่งจะใช้พลังงานในการอบแห้งหรือการไล่ไอน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ประมาณ 200 กิโลวัตต์ต่อครั้ง และพลังงานความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอของน้ำเข้ามาช่วย หลังจากที่ได้พลังงานที่ต้องใช้แล้วจึงนำไปออกแบบเตาชีวมวลซึ่งมีขนาด 250-300 กิโลวัตต์ ลักษณะของเตาเผาชีวมวลที่ออกแบบไว้มีลักษณะเป็นท่อแลกเปลี่ยนความร้อนโดยเตาสร้างจากอิฐทนไฟติดตั้งอยู่บนโครงสร้างเหล็กและบุฉนวนโดยมีท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแหล่งให้ความร้อนภายในโดมซึ่งจะมีพัดลมดูดความร้อนจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากการไหลผ่านของไอเสียจากเตาเผาชีวมวลไปสู่ห้องอบแห้งต่อไปและก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ชีวมวลจะไหลออกทางปล่องควันด้านบนซึ่งจะมีระบบเครื่องสูบลมขับเคลื่อนไอเสียไม่ให้ไหลย้อนกลับลงสู่ด้านล่างหรือย้อนบริเวณหน้าเตา ชีวมวลในพื้นที่สำหรับนำมาเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับระบบการเผาไหม้ของเครื่องอบ คือ ไม้ลำไย ส่วนโดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ข้อมูลจากงานวิจัยของปฏิพัทธ์ ถนอมพงษ์ชาติ และภคมน ปินตานา (2561) ซึ่งมีรายละเอียดคือ ขนาดโดม กว้าง 8 เมตร ยาว 20 เมตร ทำจากโครงสร้างเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ดัดขึ้นรูปโค้ง มีระยะช่วงละ 2 เมตร ใช้วัสดุแผ่นโพลีคาร์บอเนต หนา 1 เซนติเมตร ในการสร้างเป็นผนัง ติดตั้งพัดลมขนาด 1 แรงม้า สำหรับจ่ายลมทางด้านข้างของโดมทั้ง 2 ข้าง ช่องลมขนาด 30×30 เซนติเมตร ยาว 18 เมตร ยกสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร เพื่อให้ง่ายสำหรับการทำความสะอาด และมีการเจาะช่องขนาด 10×6 เซนติเมตร เพื่อกระจายลมช่วงละ 50 เซนติเมตรตลอดความยาว ทั้งนี้คำนวณขนาดช่องจากอัตราการจ่ายลมของพัดลมและการสูญเสียในท่อเพื่อให้มีลมออกทุกช่องสม่ำเสมอ คือ 2-3 เมตรต่อวินาที ติดตั้งอุปกรณ์ท่อและพัดลมระบายความชื้นต่างๆ ในโดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอาศัยพัดลมระบายความชื้นจำนวน 2 ชุด ในการระบายความชื้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร โดยแผนภูมิส่วนประกอบของระบบแสดงดังภาพที่ 3 และภาพเครื่องอบที่จัดสร้างจริงแสดงดังภาพที่ 4

ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวแต๋น พิจารณาจากผลของความชื้นที่ลดลง ณ เวลาในการอบแห้งภายในโดม จากตัวอย่างของการทดลองที่ 5 แสดงดังภาพที่ 5 โดยเวลาเริ่มอบแห้งคือ 11.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิภายในโดมมีค่า 60 องศาเซลเซียส ทั้ง 3 ตำแหน่งที่สุ่มหยิบมาวัดความชื้นข้าวแต๋น ซึ่งพัดลมระบายอากาศทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในโดมเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิในโดมที่ใช้กำหนดการเริ่มจุดเตาชีวมวลคือ 40 องศาเซลเซียส (เวลา 17.00 น.) ชีวมวลใช้ครั้งละ 10 กิโลกรัม (ความชื้นชีวมวลประมาณ 15-30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง) การเติมชีวมวล 1 ครั้งสามารถรักษอุณหภูมิในเครื่องอบให้อยู่ในช่วง 35-45 องศาเซลเซียส ได้ครั้งละ 2 ชั่วโมง และเติมชีวมวลอีก 2 ครั้ง (สิ้นสุดการเติมเวลา 21.00 น.) ซึ่งเป็นเวลาในการอบทั้งสิ้น 600 นาที จากกราฟพบว่าวัตถุดิบยังมีแนวโน้มการลดลงของความชื้นอย่างต่อเนื่องไปจนถึงรอบ

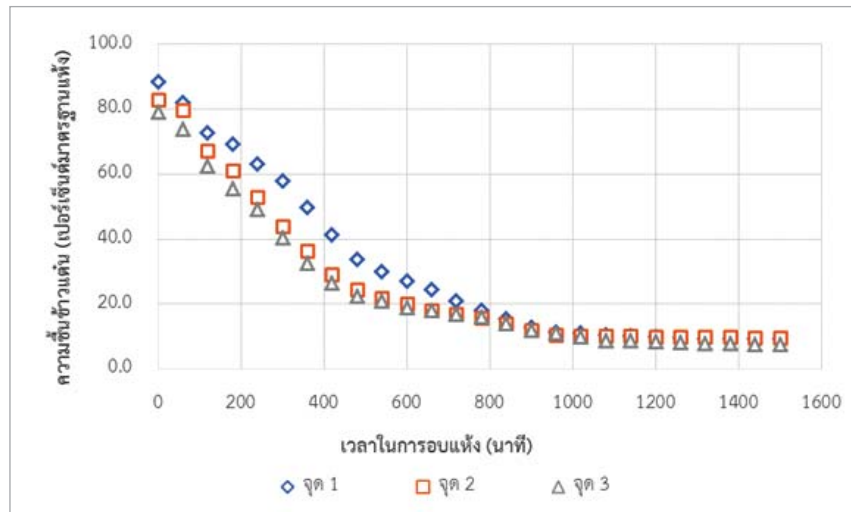
ของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในวันถัดไป ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้ค่าเฉลี่ยของ 13 การทดลอง ดังภาพที่ 6 แสดงให้เห็นแนวโน้มที่เป็นไปในทางเดียวกัน



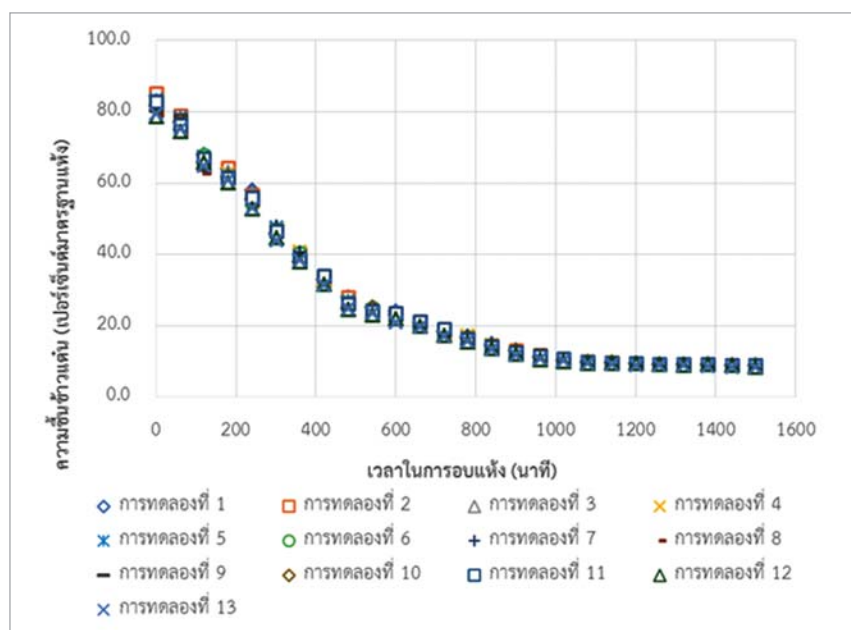
ภาพที่ 3 แผนภูมิส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งข้าวแต๋นใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล



ภาพที่ 4 เครื่องอบแห้งข้าวแต๋นใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและระยะเวลาในการอบแห้งของการทดลองที่ 5



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและระยะเวลาในการอบแห้งของ 13 การทดลอง

ผลการคำนวณต้นทุนของการผลิตข้าวแค้น แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2 ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่รวม 450,000 บาท แยกเป็นส่วนที่เพิ่มเติมสำหรับการใช้พลังงานชีวมวลคือ 200,000 บาท ในขณะที่ค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนแปรผันจากกระบวนการผลิตสามารถวิเคราะห์จากกำลังการผลิตครั้งละ 2,000 กิโลกรัม คือ 165 บาท

ตารางที่ 2 ต้นทุนของการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานผสมผสาน

ต้นทุนคงที่	ค่าวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างโดมพลังงานแสงอาทิตย์ (ขนาด 8 เมตร × 20 เมตร)	250,000	บาท
	ค่าวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเตาชีวมวลพร้อมระบบควบคุม	180,000	บาท
	ค่าวัสดุอุปกรณ์ระบบกระจายและความคุมความเร็วลมร้อน	20,000	บาท
	รวม	450,000	บาท
ต้นทุนแปรผัน	แสงอาทิตย์	ไม่มีค่าใช้จ่าย	
	ชีวมวลไม้ลำไย	100	บาท
	ค่าไฟฟ้า	65	บาท
	รวม	165	บาท

ตารางที่ 3 ต้นทุนเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนแบบผสมผสานเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม

เครื่องอบแห้ง	ต้นทุน	การผลิต 1 ครั้ง*	การผลิต 300 ครั้ง*	การผลิต 500 ครั้ง*
ใช้พลังงานความร้อน แบบผสมผสาน	ต้นทุนคงที่	450,000	450,000	450,000
	ต้นทุนแปรผัน	165	49,500	82,500
	รวม	450,165	499,500	532,500
ใช้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม	ต้นทุนคงที่	200,000	200,000	200,000
	ต้นทุนแปรผัน	1,010	303,000	505,000
	รวม	201,010	503,000	705,000

*การผลิตข้าวแค้นแห้ง 1 ครั้ง คือวัตถุดิบ 2,000 กิโลกรัม



อภิปรายผลการวิจัย

การใช้เครื่องอบแห้งข้าวแค้นโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนแบบผสมผสานเครื่องนี้จะเห็นว่าความชื้นผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์คือ ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thanompongchart et al. (2016), Intharapongnuwat et al. (2008) และ Saii & Chitthep (2014) ตั้งแต่เวลาการอบ 1,320 นาที (22 ชั่วโมง) หมายความว่าเมื่อเริ่มอบข้าวแค้นที่เวลา 11.00 น. จะสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ข้าวแค้นแห้งได้ในเวลา 9.00 น. ของวันถัดไป ซึ่งเหมาะสมกับการทำงานประจำของพนักงาน และทำให้สามารถเริ่มรอบ

การผลิตใหม่ได้ในเวลา 11.00 น. ซึ่งทำให้สามารถเร่งปริมาณการผลิตได้เร็วขึ้นกว่าการตากแห้งธรรมชาติ ค่าความร้อนของชีวมวลในพื้นที่สำหรับนำมาเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับระบบการเผาไหม้ของเครื่องอบ คือ ไม้ลำไย ซึ่งมีค่าความร้อนสูงสุด 21.3 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นทั้ง 2 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ในโดม และอุณหภูมิในโดม สามารถทำให้ความชื้น อย่างไรก็ตามการที่ผลต่ออัตราการลดลงของตัวแปรตามคือค่าความชื้นของข้าวแต๋น แตกต่างกันไปเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโดม ที่ส่งผลให้อัตราความชื้นสัมพัทธ์ภายในโดมเปลี่ยนแปลงตาม เนื่องจากไม่มีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าการกินไฟและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม้ลำไย จะพบว่าแม้จะตั้งค่าขั้นต่ำของความชื้นสัมพัทธ์ไว้ต่ำสุดที่ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้พัฒนาระบายความชื้นทำงานยาวนานกว่าการทดลองอื่น แต่ด้วยพัฒนาระบายความชื้นมีการใช้พลังงานเพียงตัวละ 1 วัตต์ ซึ่งส่งผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมเพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับการตั้งอุณหภูมิเริ่มจุดเตาชีวมวลไว้ที่ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าทำให้ต้องจุดเตาเร็วกว่าการทดลองอื่น แต่ทั้งนี้การเติมชีวมวลมีข้อจำกัดคือ แรงงานคนเติมฟืน ที่ทำงานไม่เกิน 21.00 น. ทำให้ผลรวมของการเติมชีวมวลคือ 3 ครั้งเช่นเดิม ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมเมื่อประเมินร่วมกับผู้ประกอบการ คือ สภาวะการทดลองที่ 13 ความชื้นสัมพัทธ์ที่พัฒนาลดหยุดทำงาน 35 เปอร์เซ็นต์ เพราะลดเวลาในการทำงานของพัดลมทำให้ยืดอายุของพัดลมได้ และอุณหภูมิสำหรับเริ่มจุดเตาคือ 45 องศาเซลเซียส เพราะทำให้คนเติมชีวมวลไม่ต้องอยู่ทำงานถึงเวลา 21.00 น. จากผลการคำนวณต้นทุนของเครื่องอบแห้งข้าวแต๋นโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนแบบผสมผสานจากตารางที่ 2 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบการใช้ก๊าซหุงต้มดังตารางที่ 3 พบว่าเครื่องอบพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และชีวมวลเครื่องนี้ทำให้ลดค่าใช้จ่ายได้มากขึ้น เพราะชีวมวลมีราคาถูกกว่าเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มในขณะที่โดมแสงอาทิตย์รูปแบบทั่วไปใช้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มสำหรับผลิตข้าวแต๋นปริมาณเท่ากัน ขนาด 48 กิโลกรัม 1 ถึง ราคา 960 บาท ค่าไฟฟ้าราคา เงิน 50 บาท รวมเป็น 1,010 บาท ดังนั้นการใช้เครื่องอบพลังงานผสมผสานช่วยประหยัดต้นทุนผันแปรได้ครั้งละ 845 บาท (ปฏิพัทธ์ ถนอมพงษ์ชาติ และภคมน ปินตานา, 2561) และเมื่อคำนวณทางเศรษฐศาสตร์แล้วสามารถคืนทุนจากการติดตั้งระบบเผาไหม้ชีวมวลได้จากการผลิต 298 ครั้ง โดยการผลิต 1 ครั้งคือ 1 วันทำการปกติของสถานประกอบการ ดังนั้นเครื่องอบพลังงานความร้อนแบบผสมผสานสามารถคืนทุนได้ภายใน 1 ปีเมื่อเทียบกับระบบการใช้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มแบบเดิม อีกทั้งระบบที่ออกแบบใหม่นี้ทำให้โอกาสของการเผาไหม้ชีวมวลไม่สัมผัสกับข้าวแต๋นโดยตรง ทำให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าระบบเดิม จากการทดลองร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของห้างหุ้นส่วนสามัญข้าวแต๋นทวีพรรณ จังหวัดลำปาง คือ เจ้าของกิจการ ตัวแทนพนักงานฝ่ายผลิต และตัวแทนช่างซ่อมบำรุงในการผลิตและจำหน่ายข้าวแต๋น พบว่ามีความพึงพอใจต่อระบบนี้เป็นอย่างมาก



สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เครื่องอบแห้งและสภาวะในการทดสอบที่ได้ สามารถนำไปใช้เพื่อการผลิตข้าวแต๋นให้มีคุณภาพและช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างข้าวแต๋นทรงรีเท่านั้น ซึ่งในการผลิตข้าวแต๋นยังมีรูปทรงของข้าวแต๋นที่หลากหลาย ดังนั้นในการนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองนี้ไปใช้ อาจยังไม่ใช่ว่าที่เหมาะสม จึงควรทำการทดลองก่อนนำไปใช้ในการดำเนินการ รวมทั้งเชื้อเพลิงชีวมวลที่เลือกใช้คือ ไม้ลำไยเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจไม่ใช่เชื้อเพลิงที่มีศักยภาพสำหรับท้องถิ่นอื่นๆ ค่าความร้อนที่ถ่ายเทให้กับเครื่องแลกเปลี่ยน

ความร้อนที่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในโดม ในการดำเนินงานในช่วงฤดูฝน ชีวมวลที่นำมาใช้อาจมีค่าความชื้นมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ดังนั้นอาจจะทำให้ประสิทธิภาพของเตาชีวมวลในการให้ความร้อนแกโดมลดลง ควรพิจารณาพลังงานเสริมอื่น เช่น ก๊าซหุงต้ม ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ โดยการต่อเข้ากับระบบถ่ายเทความร้อนได้



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอุทยานวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินงานครั้งนี้ และขอบคุณทางหุ้นส่วนสามัญ ข้าวแต๋นทวีพรรณ จังหวัดลำปาง ที่ให้การสนับสนุนข้อมูล วัตถุดิบ และในการวิจัยครั้งนี้



เอกสารอ้างอิง

- กฤติเดช ดวงใจบุญ. (2561). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์แบบผสมผสานสำหรับอาคารประเภทโรงแรม. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*, 13(1), 65-78.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. *โครงการสนับสนุนการลงทุนติดตั้งใช้งานระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ปี 2560*. กระทรวงพลังงาน. สืบค้น 5 มกราคม 2562, จาก www.solar dryer dede.com
- ธวัชชัย ธรรมชนแก้ว, และ วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล. (2558). สมรรถนะของลูบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้เป็นอุปกรณ์ประหยัดพลังงานในระบบอบแห้งชนิดเครื่องสูบลมความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 22(2), 1-13.
- ปฎิพัทธ์ ถนอมพงศ์ชาติ, และ ภคมน ปินตานา. (2561). *การอบแห้งข้าวแต๋นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล*. รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติประจำปี 2561 มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 11-13 ธันวาคม 2561. 390-397.
- แมนนฤมาศ ที่ตั้ง. (2558). *การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า: กรณีศึกษาบริษัทผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า ABC จำกัด*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต วิชาเอกบัญชี. คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- Intharapongnuwat, W., Arkanit, K., Wancharoen, W., and Warasawas, P. (2008). Process improvement for Thai-style fried rice crackers. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 1(3), 155-166.
- Janjai, S. (2012). A greenhouse type solar dryer for small scale dried food industries: development and dissemination. *International Journal of Energy and Environment*, 3(3), 383-398.
- Pintana, P., Thanompongchart, P., Phimphilai, K., and Tippayawong, N. (2016). Combined effect of air temperature and velocity on drying of Thai rice cracker. *KKU Engineering Journal*, 43(S2), 244-246.
- Saiai, S., Chitthep, S. (2014). *Estimate of energy dissipation on cabinet dryer for decreased moisture of cracker*. Proceedings of the 5th Endemic Conference, May 20-21 2014, Maejo University, Chiang Mai, Thailand.
- Thanompongchart, P., Pintana, P., Phimphilai, K., and Tippayawong, N. (2016). Effect of drying methods on property of Thai rice cracker. *KKU Engineering Journal*, 43(S3), 459-461.