วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.1) January – April 2023 บทความวิจัย

การศึกษาสภาวะการลดความชื้นและคุณภาพของข้าว ด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอาทิตย์แบบพองขนาดเล็ก

Study on Dehydration Conditions and Quality of Dried Paddy by Small Inflatable Solar Dryer

พัชราภรณ์ อินริราย*, นรกมล แก้วสระแสน, ดลยา หรศาสตร์ และ สุรินทราพร ชั่งไชย

Patcharaporn Inrirai, Naragamon Kaewsasaen, Donlaya Horasart and Surintraporn ChangChai

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

Food Engineering, Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

Received : 5 May 2022

Revised : 13 June 2022

Accepted : 15 August 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพองขนาดเล็กที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการให้ความร้อน ซึ่งตัวเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กที่ใช้ในการศึกษาทำจากพลาสติก 2 ชนิด คือ LLDPE และ PVC ที่ทำให้สามารถยุบพองได้ ตัวเครื่องอบแห้งแบบพองมีขนาดกว้าง 1 m และยาว 2 m ที่ทำงานร่วมกับแผงโซล่าเซลล์ขนาด 80 W โดยเครื่องอบแห้งแบบพองสามารถทำอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทดสอบมีค่าเท่ากับ 41.8±2.3°C ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วงเท่ากับ 488–959 W/m^2 ในสภาวะที่ไม่มีผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่า การใช้เครื่องอบแห้งแบบพองเมื่อปริมาณตัวอย่างในการลดความชื้นเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราส่วนความชื้นมีการลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการตากลานในสภาวะการทดสอบเดียวกัน โดยที่ระยะเวลาการลดความชื้นเท่ากับ 7 hr ทำให้ข้าวเปลือกในทุกสภาวะทดสอบมีค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 14 และค่าปริมาณน้ำอิสระมีค่าน้อยกว่า 0.65 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ โดยจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพพบว่าการลดความชื้นมีผลต่อความกว้างของข้าวเปลือกและข้าวดิบที่มีขนาดลดลงจากข้าวเปลือกและข้าวดิบสด และค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการลดความชื้นพบว่าการลดความชื้นทั้งสองวิธีมีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองของข้าวดิบที่ทำให้ข้าวดิบมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับข้าวดิบสด ($p \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบพองที่ระยะเวลาทดสอบเท่ากับ 5 hr ตัวอย่างเริ่มต้นเท่ากับ 10 kg มีค่าเท่ากับร้อยละ 23.02±0.12 จากผลการศึกษาพบว่าเครื่องอบแห้งแบบพองสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการลดความชื้นข้าวเปลือกให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพได้

คำสำคัญ : ข้าวเปลือก ; เครื่องอบแห้ง ; พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

This research aims to study a dehydration of paddy in a small inflatable dryer by using solar energy as a heat source. The dryer made from 2 types of plastics were LLDPE and PVC which can collapse. The dimension of the dryer was 1 m of width, 2 m of length, which used with 80 W solar cells. The average inside air temperature of the dryer was 41.8±2.3°C at the solar radiation of 488–959 W/m^2 in non-product condition. From the study found that, increasing capacity of paddy in inflatable solar dryer, moisture ratio was more decrease than sundry method in the same condition test. For the 7 hr of the drying time, the moisture content of paddy (wet basis) in all conditions test were lower than 14 and the water activity were lower than 0.65 which depended on standard of paddy. From the study of physical properties found that, the dehydration process effected to paddy width and raw rice width which the width was decrease from fresh paddy and fresh raw rice. And color value of dehydrated product in both methods found that, the b-value of dried raw rice increase significantly and difference with fresh raw rice ($p \leq 0.05$). The thermal efficiency of the inflatable solar dryer at the test time of 5 hr and initial sample of 10 kg, was 23.02±0.12%. The result found that, the inflatable solar dryer can be applied for dehumidification of paddy to obtain quality products.

Keywords : paddy ; inflatable dryer ; solar energy

*Corresponding author. E-mail : patcharaporn.in@psru.ac.th

บทนำ

"ข้าว" เป็นพืชประเภทหญ้าที่มีความสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์มากขึ้น ทุกวันนี้คนเอเชียประมาณ 3000 ล้านคน บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ข้าวจึงนับว่ามีความสำคัญและคุณประโยชน์ต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์นับแต่อดีตถึงปัจจุบัน โดยข้าวที่มีคุณภาพจะมาจากข้าวเปลือกที่ได้คุณภาพทั้งอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งกระบวนการลดความชื้นของข้าวเปลือกนั้นเพื่อคงอายุการเก็บรักษาข้าวเปลือก รวมทั้งทำให้มีความชื้นของข้าวเปลือกมีเหมาะสมก่อนนำไปเข้าสู่กระบวนการสีข้าวที่จะทำให้เกิดปริมาณเมล็ดข้าวหักที่ลดลง ซึ่งปัจจุบันมีการลดความชื้นข้าวเปลือกหลายวิธี โดย Thauynak *et al.* (2014) ได้กล่าวว่า การลดความชื้นข้าวเปลือกออกได้เป็น 2 แบบ ด้วยกันคือ การลดความชื้นข้าวเปลือกแบบธรรมชาติ และการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้ง ซึ่งจะเห็นว่าจากทั้ง 2 แบบนี้ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกนั้นจะมีตัวแปรที่สำคัญต่อการลดความชื้นที่ใกล้เคียงกัน เช่น ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ลดความชื้น เป็นต้น จากงานวิจัยของ Inprasit & Noomhorm (2011) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในการอบแห้ง และวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของข้าวเปลือก พบว่าวิธีการและสภาวะที่ใช้ในอบแห้งมีผลต่อระยะเวลาที่อบแห้งและคุณภาพของข้าวเปลือกที่ได้ โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ค่าสีของเมล็ดข้าวสูงขึ้น เมล็ดข้าวมีความแข็งมากขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้แตกหักได้ง่าย และอัตราส่วนความหนืดต่อความแข็งมีค่าน้อย วิธีการลดความชื้นข้าวเปลือกทั่วไปจะประยุกต์ใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ คือ วิธีการตากลาน ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและประหยัด แต่ข้อเสียคือ ต้องใช้แรงงานและพื้นที่ในการตากมาก และไม่สามารถควบคุมคุณภาพข้าวได้ ทำให้เกิดการสูญเสียทั้งน้ำหนักและคุณภาพของข้าว จึงได้มีการใช้เครื่องอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งช่วยให้ลดความชื้นและยังรักษาคุณภาพของผลผลิตได้ โดยข้อดีของเครื่องอบแห้งคือ ผลิตผลสะอาดเนื่องจากการลดความชื้นในตู้นั้นจะไม่มีฝุ่นและแมลงมารบกวน ทุ่นเวลาในการตากแห้งน้อยลงเมื่อเทียบกับการตากลานตามธรรมชาติ รวมทั้งเป็นเครื่องมือที่มีการติดตั้งง่าย และสามารถที่จะดูแลรักษาความสะอาดได้ง่าย ใช้แรงงานน้อย และสามารถให้ความร้อนที่เหมาะสมแก่ผลผลิตได้ ทั้งในกระบวนการอบแห้งนั้นจะส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิตข้าวเปลือกที่ได้ ได้แก่ ลักษณะ สี กลิ่น และปริมาณของผลผลิต ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือกมีความแตกต่างกันออกไป โดย Sookramoon & Khamwachirapithak (2016) ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวเปลือกจากการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งอุโมงค์พลังงานแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิอบแห้ง 67.75°C สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกจากร้อยละ 49.96 เป็นร้อยละ 14.64 (มาตรฐานเปียก) ในเวลาการอบแห้ง 6 hr แต่ทั้งนี้การใช้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมแบบมีโครงสร้างแบบแข็งนั้น มีข้อจำกัดในเรื่องการเคลื่อนย้าย และการเก็บรักษาเครื่อง รวมทั้งเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่นั้นเหมาะสำหรับระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากมีต้นทุนที่สูง โดยหากเป็นในระดับเกษตรกร หรือวิสาหกิจชุมชนที่ต้องการลดความชื้นข้าวเปลือกนั้นจำเป็นต้องเป็นเครื่องอบแห้งที่มีต้นทุนที่ต่ำ และสามารถเคลื่อนย้ายจัดเก็บได้ง่าย ทั้งนี้ Trongjit *et al.* (2018) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบถอดประกอบอย่างง่าย ที่โครงสร้างทำจากเหล็กและวัสดุ PVC ซึ่งเป็นแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ของเกษตรกรได้ง่ายขึ้น ซึ่งเครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถทำให้การลดความชื้นข้าวเปลือกได้ดีกว่าวิธีการตากแดดแบบดั้งเดิม นอกจากนั้นจากการศึกษาของ Rojas *et al.* (2017) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งรังสีอาทิตย์แบบพอง (Inflatable solar dryer) ที่ทำจากฟิล์มพลาสติก โครงสร้างของเครื่องสามารถยุบและพองได้จากการเป่าอากาศด้วยพัดลมเข้าสู่เครื่องอบแห้ง ซึ่ง

การทดสอบใช้งานในช่วงฤดูฝนข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 19 (ร้อยละฐานเปียก) ถูกอบแห้งให้มีความชื้นเท่ากับ 14 (ร้อยละฐานเปียก) ภายใน 2 วัน ในช่วงฤดูร้อน ที่ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกเป็น 16 (ร้อยละฐานเปียก) ถูกอบแห้งให้มีความชื้นเท่ากับ 14 (ร้อยละฐานเปียก) ใช้เวลา 3 hr ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่มีราคาต่ำ รวมทั้งง่ายต่อการใช้งานของเกษตรกรในการเคลื่อนย้าย และ Romuli *et al.* (2020) ได้นำรูปแบบของเครื่องอบแห้งแบบพองไปประยุกต์ใช้ซึ่งพบว่า การใช้เครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถทำอุณหภูมิภายในได้สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 13°C แต่ข้อด้อยของเครื่องอบแห้งดังกล่าวนั้นหากมีพลาสติกทึบด้านล่างที่สูงเกินไปที่ทำให้เกิดเงาขึ้นบริเวณภายในเครื่องจะทำให้อุณหภูมิข้าวปลือกในเครื่อง ณ จุดดังกล่าว ลดลงจากเดิมได้ โดยจากแนวคิดการใช้เครื่องอบแห้งขนาดเล็กดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกสำหรับเกษตรกรได้ เนื่องจากวัสดุ และการติดตั้งที่ง่าย ไม่ซับซ้อน โดยหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งดังกล่าวเป็นการอบแห้งแบบหมุนเวียนแบบบังคับ (Active System) ที่ลดความชื้นโดยการพาความร้อนแบบบังคับ ที่มีพัดลมเป็นอุปกรณ์บังคับทิศทางการไหลของอากาศ ซึ่งแหล่งพลังงานมากจากพลังงานรังสีอาทิตย์ทั้งหมด

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพองในการลดความชื้นของข้าวเปลือก โดยได้ศึกษาทดลองสำหรับการใช้งานในระดับระดับกลุ่มเกษตรกรหรือวิสาหกิจชุมชน โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กเพื่อศึกษาการลดลงของความชื้นของข้าวเปลือกตามเวลา เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐาน รวมทั้งการศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการลดความชื้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษาวิจัยดัดแปลงมาจากงานวิจัย Rojas *et al.* (2017) และ Romuli *et al.* (2020) ที่ออกแบบให้ระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งใช้พลังงานจากรังสีอาทิตย์อย่างเดียว โดยเครื่องอบแห้งที่ทำการออกแบบประกอบด้วย

1.1 ถุงบรรจุข้าวเปลือกจะทำมาจากพลาสติกใส LLDPE หนา 0.25 mm ขนาด 1.4x2.0 m (ส่วนบน) และพลาสติกสีดำ LDPE หนา 0.5 mm ขนาด 1x2 (ส่วนล่าง) สูง 20 cm โดยจะเย็บ 2 ส่วนติดกันโดยใช้ซิปเป็นตัวเชื่อม ซึ่งซิปมีความยาว 3 m และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 cm จำนวน 3 รู โดยแบบร่างดังแสดงใน Figure 1

1.2 ส่วนพัดลม โดยจะใช้ฟิวเจอร์บอร์ดทำกล่องใส่พัดลม ขนาด 25x15x12 cm และนำพัดลมกระแสตรง ขนาด 12 V 0.34 A จำนวน 2 ตัวติดตั้งภายใน โดยแบบร่างดังแสดงใน Figure 2

1.3 แผงโซล่าเซลล์ ขนาด 80 W

1.4 Solar charger controller ขนาด 12 V 10 A และ

1.5 แบตเตอรี่ขนาด 12 V 20 Ah ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบการทำงานของเครื่องอบแห้ง ดังแสดงใน Figure 3

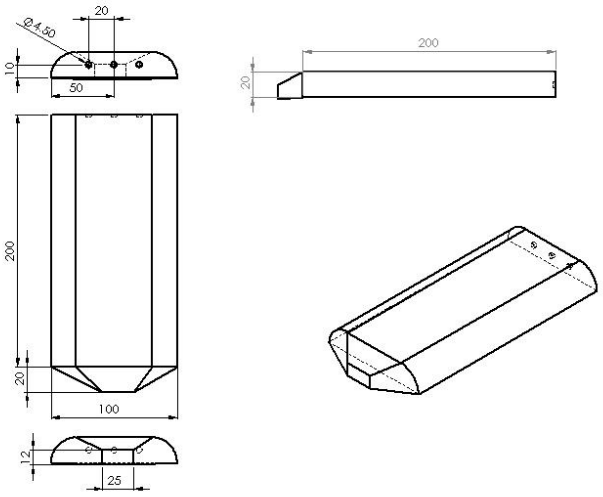

Figure 1 Schematic view of the paddy container

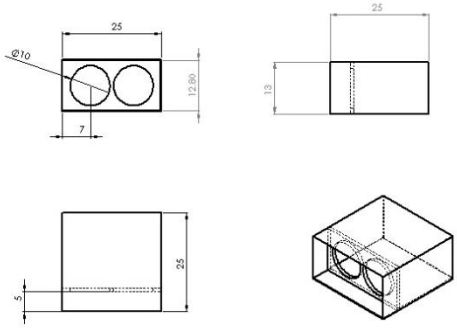

Figure 2 Schematic view of the fan box

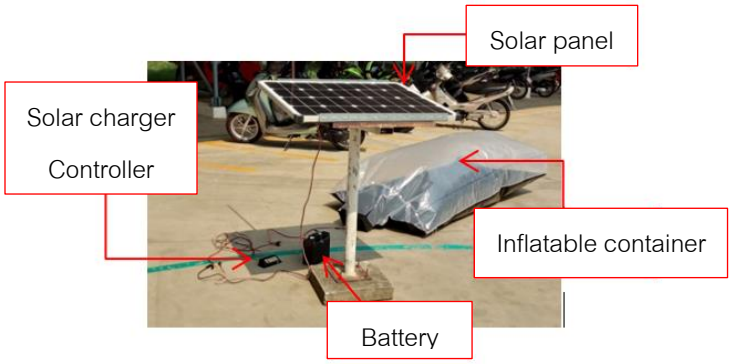

Figure 3 Small inflatable solar drying system

ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งกรณีไม่มีผลิตภัณฑ์ โดยทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K แล้วทำการบันทึกอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_{amb}) อุณหภูมิอากาศภายในเครื่อง (T_{air}) อุณหภูมิอากาศขาออกเครื่อง (T_{out}) และอุณหภูมิข้าวเปลือก (T_{bed}) โดยใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ (Yokogawa, Paperless recorder Model FX1008) พร้อมทั้งเก็บข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (Solar radiation, I_T) ด้วยเครื่องวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ KIMO รุ่น NER1500020 ซึ่งตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิสำหรับกรณีไม่มีผลิตภัณฑ์ Figure 4

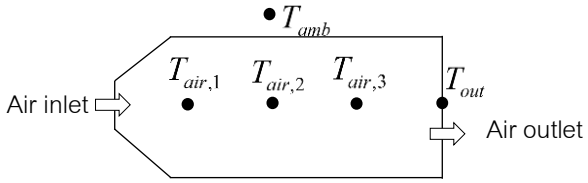

Figure 4 The position of type K thermocouple in the small inflatable solar dryer

2. การศึกษาการลดลงความชื้นของข้าวเปลือก

การศึกษาการลดลงของความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพอง (Inflatable solar dryer) เปรียบเทียบกับการตากลานแบบปกติ (Sun dry) โดยนำข้าวเปลือกจำนวน 5 และ 10 kg มาทำการอบแห้งระยะเวลา 7 hr (9.30 AM – 4.30 PM) โดยจะทำการสุ่มตัวอย่างจำนวน 15 g เพื่อทดสอบหาค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASAE (2003) standards S35 (Ahmed *et al.,* 2015) โดยนำตัวอย่างข้าวเปลือก 0.03 kg ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 3 oz ที่ผ่านการอบไล่ความชื้น แล้วนำไปอบด้วยตู้อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 20 hr โดยนำข้อมูลผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังอบแห้งมาคำนวณหาความชื้นของข้าวเปลือก (ร้อยละฐานเปียก) โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

$$MC = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ MC คือ ความชื้น (ร้อยละฐานเปียก)
W_i คือ น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบ, kg
W_f คือ น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบ, kg

การศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งของข้าวเปลือก ศึกษาในรูปของอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_{in} - M_e} \quad (2)$$

โดยที่ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละฐานแห้ง)

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (ร้อยละฐานแห้ง)

M_e คือ ความชื้นสมดุล (ร้อยละฐานแห้ง) ซึ่งเป็นค่าบอกถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ ที่เกิดภาวะสมดุลระหว่างไอน้ำในวัสดุและไอน้ำในอากาศ หรือกล่าวได้ว่าเป็นภาวะที่ไอน้ำไม่ระเหยออกจากวัสดุเนื่องจากมีภาวะสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบ ๆ วัสดุนั้น กรณีสภาพอากาศที่ใช้อบแห้งต่างกันจะมีความชื้นสมดุลที่ต่างกัน การอบแห้งที่ใช้เวลายาวนานพบว่าความชื้นเริ่มต้นของวัสดุจะมีค่ามากกว่าความชื้นสมดุลมาก ๆ ทำให้สามารถหาอัตราส่วนความชื้นได้จากสมการที่ 3 (Ratmanee *et al.*, 2021)

$$MR = \frac{M_t}{M_{in}} \quad (3)$$

3. การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาคุณภาพของข้าวเปลือกและข้าวดิบ โดยทำการแบ่งตัวอย่างทดลองออกเป็น 5 ตัวอย่างทดลองได้แก่

T1 คือ ตัวอย่างเริ่มต้น

T2 คือ ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพอง ที่ปริมาณ 5 kg

T3 คือ ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยการตากลาน ที่ปริมาณ 5 kg

T4 คือ ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพอง ที่ปริมาณ 10 kg

T5 คือ ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยการตากลาน ที่ปริมาณ 10 kg

โดยสำหรับข้าวเปลือกปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา จำนวน 4 ปัจจัย ได้แก่

- ขนาด (ความกว้างและความยาว) ของข้าวเปลือก ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

- ค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือก 5 ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างข้าวเปลือกปริมาณ 1 g มาทำการวัดค่าสีโดยโหมดของเครื่องวัดสีที่ใช้คือ CIE L*a*b* โดยเครื่องวัดสีมีการสอบเทียบก่อนใช้งานด้วยแผ่นวัดค่าสีมาตรฐาน ซึ่งทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง/ตัวอย่างทดลอง

- การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASAE (2003) standards S35 (Ahmed *et al.*, 2015) โดยชั่งตัวอย่างข้าวเปลือก 15 g แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เวลา 20 hr ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง/ตัวอย่างทดลอง และนำไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นดังสมการที่ 1

- การหาปริมาณน้ำอิสระ โดยนำตัวอย่าง จำนวน 5 g ทำการวัดค่า a_w ของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ และทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง/ตัวอย่างทดลอง ที่อุณหภูมิในการทดสอบ 25±0.5°C

สำหรับการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ข้าวดิบ ปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา จำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ ขนาด (ความกว้างและความยาว) ของข้าวดิบ และค่าสีของผลิตภัณฑ์ดิบ

โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's New Multiple Range (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

4. การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งและคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้

การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็ก โดยทำการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ปริมาณ 10 kg ที่ระยะเวลาทดสอบ 5 hr (เวลา 09:30 – 14:30 น.) และทำการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ ซึ่งประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็ก มีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4 (Borah *et al.*, 2015)

$$\eta_{sys} = \frac{m_w h_{fg}}{G_I A} \times 100 \qquad (4)$$

โดยที่ η_{sys} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

m_w คือ อัตราการระเหยน้ำ, kg/s

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ, kJ/kg

G_I คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระยะเวลา 5 hr ที่ทำการทดลอง, kJ/m^2

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเครื่องอบแห้ง, m^2

โดยสำหรับกรณีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองคำนวณข้อมูลค่าความเข้ม (Solar radiation, I_T) ที่คิดในเทอมของค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยระยะเวลา 5 hr ที่ตกกระทบพื้นที่ในการรับแสงอาทิตย์

การศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสภาวะที่ลดความชื้นระยะเวลา 5 hr จากเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็ก โดยสำหรับข้าวเปลือกปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา จำนวน 2 ปัจจัย คือ ค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) และค่าปริมาณน้ำอิสระ สำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ข้าวดิบ ปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา จำนวน 2 ปัจจัย คือ ขนาด (ความกว้างและความยาว) ของข้าวดิบ และค่าสีของผลิตภัณฑ์ดิบ ทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ และทำการหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ก่อนการลดความชื้น และหลังลดความชื้น ด้วยวิธี Independent T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

การทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กที่มีแหล่งความร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์กรณีที่ไม่มีผลิตภัณฑ์ภายในเครื่องโดยทำการวัดค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องและค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ดังแสดงใน Figure 5 เครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กที่ใช้ในการศึกษาการลดความชื้นของข้าวเปลือก โดยในขณะใช้งานพื้นที่สูงสุดภายในเครื่องอบแห้งแบบพองที่สามารถวางตัวอย่างข้าวเปลือกได้มีพื้นที่เท่ากับ 1x2 m^2 ที่มีความจุของอากาศภายในตัวเครื่องเท่ากับ 0.4 m^3 ซึ่งเครื่องอบแห้งสามารถทำอุณหภูมิอากาศภายในได้อยู่ในช่วง 34.9–44.9°C ซึ่งอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทดสอบมีค่าเท่ากับ 41.8±2.3°C ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วงเท่ากับ 488–959 W/m^2 โดยทั้งตลอดระยะเวลาในการทำงานของเครื่องพบว่า ไม่เกิดการบังเงาเนื่องมาจากแผ่นพลาสติกสีดำด้านล่าง ดังแสดงใน Figure 6 โดยความต่างของอุณหภูมิในแต่ละจุดขึ้นอยู่กับระยะทางตามความยาวของตัวเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กที่ให้อุณหภูมิที่ออกจากเครื่องมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายในเครื่อง ทั้งนี้อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก

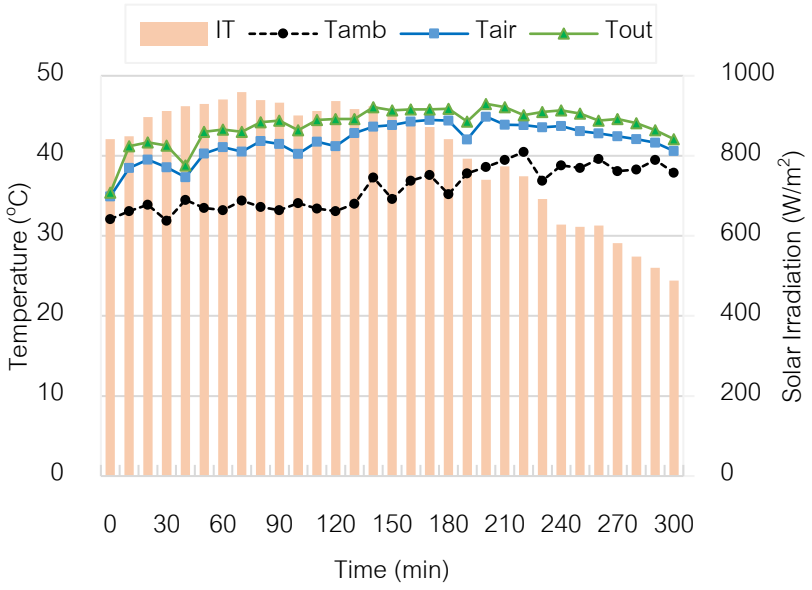

Figure 5 Ambient air temperature, inside air temperature and solar radiation of no product condition

Figure 6 Solar incident of the small inflatable solar dryer during the test

จากการทดสอบเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยวิธีการตากลานและเครื่องอบแห้งแบบพอง ขนาดเล็ก โดยใช้ตัวอย่างทดลองจำนวน 5 kg และ 10 kg ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 1 ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ใช้ในการศึกษาลดความชื้นในแต่ละสภาวะทดสอบมีค่าความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละฐานเปียก) เท่ากับ 24.14±0.05 และ 24.01±0.08 กรณีการทดสอบที่ 5 kg และ 10 kg ตามลำดับ ซึ่งค่าความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยที่ระยะเวลาการลดความชื้นเท่ากับ 5 hr ทำให้ค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) ของตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพองและการตากลานที่สภาวะทดสอบ T2 และ T3 และตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพองที่สภาวะทดสอบ T4 มีค่าเท่ากับ 11.99±0.73, 11.25±0.11 และ 13.68±0.24 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสินค้าเกษตร: ข้าวไทย ที่กำหนดว่าข้าวเปลือกที่จะนำไปเก็บรักษาจะต้องมีความชื้นไม่เกิน 14 (ร้อยละฐานเปียก) ในขณะที่ตัวอย่างข้าวเปลือกที่สภาวะทดสอบ T5 มีค่าความชื้นเท่ากับ 17.68±0.23 (ร้อยละฐานเปียก) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับทั้ง 3 สภาวะทดสอบ ทั้งนี้เมื่อระยะเวลาการลดความชื้นเท่ากับ 7 hr ทำให้ตัวอย่างข้าวเปลือกทั้ง 4 สภาวะ (T2-T5) ที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานสินค้าเกษตร:ข้าวไทย

Table 1 Moisture content (wet basis) of paddy at initial time, 5 hr and 7 hr drying time

Treatment	Moisture content (wet basis)		
	Initial time	5 hr drying time	7 hr drying time
T2	24.14±0.05^{ns}	12.66±0.63^{d}	9.90±0.06^{c}
T3	24.14±0.05^{ns}	12.00±0.05^{c}	11.99±0.73^{b}
T4	24.01±0.08^{ns}	13.14±0.08^{b}	11.25±0.11^{b}
T5	24.01±0.08^{ns}	17.68±0.23^{a}	13.68±0.24^{a}

Note : 1) a-d difference letter in same column were significant difference by Ducan's New Multiple Range Test at confident percentage of 95% ($p\leq0.05$)

2) ns means non-significant difference ($p>0.05$)

โดยการศึกษาการลดลงของความชื้นตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กเปรียบเทียบกับการตากลาน โดยอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปตามเวลาแสดงดัง Figure 7 สำหรับการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 5 kg พบว่า อัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปตามเวลาของข้าวเปลือกที่ลดความชื้นในเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กและการตากลานมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยระยะเวลาในการลดความชื้น 2 ชั่วโมงแรก เครื่องอบแห้งแบบพองมีการลดลงของอัตราการส่วนความชื้นมากกว่าการตากลาน และที่ระยะเวลาการลดความชื้นที่ 3-5 hr การลดความชื้นด้วยการตากลานทำให้อัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลงมากกว่าการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็ก ทั้งนี้เมื่อเวลาอบแห้งผ่านไป 5 hr อัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปตามเวลาของวิธีการตากลานมีค่าเข้าสู่ค่าคงที่ ในขณะที่วิธีการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กเมื่อระยะเวลาการอบแห้งผ่านไป 5 hr ค่าอัตราส่วนความชื้นยังมีค่าลดลง และสำหรับการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 10 kg พบว่า อัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปตามเวลาของข้าวเปลือกที่ลดความชื้นในเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กมีการลดลงมากกว่าวิธีการตากลานตลอดช่วงการทดสอบ 7 hr ซึ่งแนวโน้มการลดลงของอัตราการส่วนความชื้นของข้าวเปลือกวิธีการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองมีทิศทาง และการลดลงใกล้เคียงกับการทดสอบที่ปริมาณตัวอย่างเท่ากับ 5 kg ซึ่งการใช้เครื่องอบแห้งแบบพองเมื่อปริมาณตัวอย่างในการลดความชื้นมากขึ้น จะช่วยให้อัตราการลดลงของความชื้นเกิดขึ้นได้ดีเมื่อเทียบกับวิธีการตากลานในสถาวะการทดสอบเดียวกัน

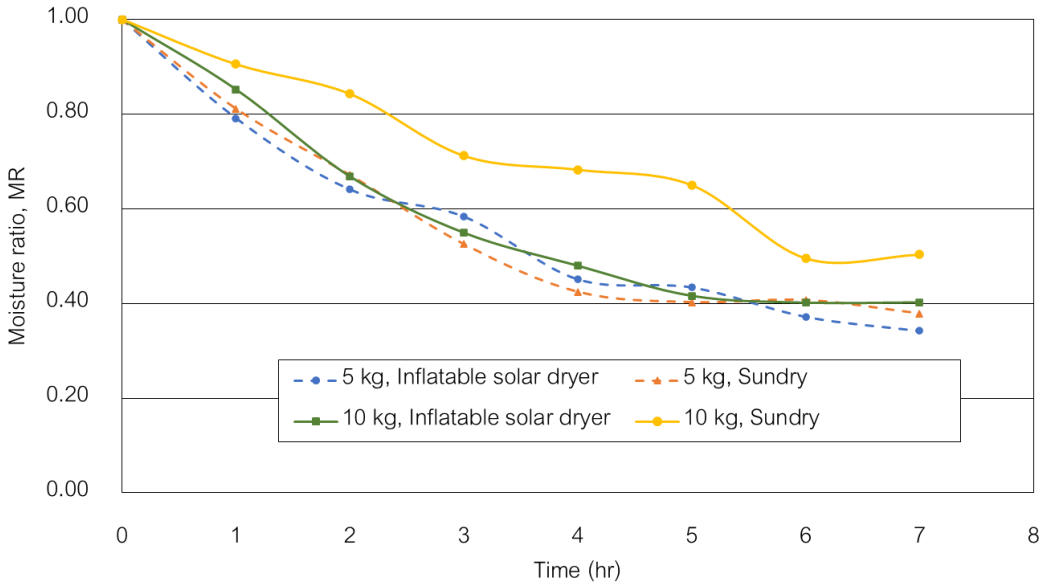

Figure 7 Drying curves of paddy undergoing different drying conditions

สำหรับการศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ได้แก่ ความกว้าง ความยาวของผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือกและข้าวดิบดัง Table 2 โดยสำหรับความกว้างของข้าวเปลือกพบว่า ที่ปริมาณตัวอย่างเริ่มต้นเท่ากับ 5 kg ที่การลดความชื้นทั้ง 2 วิธี

ความยาวของข้าวเปลือกไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างข้าวเปลือกสด แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับสภาวะทดสอบที่ปริมาณตัวอย่างเริ่มต้นเท่ากับ 10 kg สำหรับความกว้างของข้าวดิบพบว่า ที่ปริมาณตัวอย่างเริ่มต้นเท่ากับ 5 kg ผ่านกระบวนการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กมีความกว้างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างข้าวสด และตัวอย่างที่ตากลานที่จำนวน 5 kg แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ($p\leq0.05$) สภาวะทดสอบที่ปริมาณตัวอย่างเริ่มต้นเท่ากับ 10 kg สำหรับความยาวของข้าวเปลือกและข้าวดิบ พบว่า สภาวะในการลดความชื้น คือ การลดความชื้นด้วยการตากลานและเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กไม่มีผลต่อความยาวของข้าวเปลือกและข้าวดิบ ซึ่งค่าความยาวของทั้ง 5 ตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

Table 2 Comparison of physical properties (width and length) of paddy and raw rice

Treatment	Paddy		Raw rice	
	Width (mm)	Length (mm)	Width (mm)	Length (mm)
T1	2.31 ± 0.15^{ab}	10.49 ± 0.76^{ns}	2.14 ± 0.08^{a}	7.88 ± 0.49^{ns}
T2	2.46 ± 0.26^{a}	10.71 ± 0.59^{ns}	1.91 ± 0.19^{bc}	7.53 ± 0.34^{ns}
T3	2.36 ± 0.14^{a}	10.31 ± 0.78^{ns}	2.02 ± 0.21^{ab}	7.24 ± 0.62^{ns}
T4	2.10 ± 0.23^{c}	10.62 ± 0.39^{ns}	1.73 ± 0.24^{d}	7.38 ± 0.46^{ns}
T5	2.16 ± 0.17^{c}	10.92 ± 0.51^{ns}	1.77 ± 0.09^{cd}	7.91 ± 0.54^{ns}

Note : 1) a-d difference letter in same column were significant difference by Ducan's New Multiple Range Test at confident percentage of 95% ($p\leq0.05$)

2) ns means non-significant difference ($p>0.05$)

การทดสอบคุณภาพค่าสีของตัวอย่างข้าวเปลือกและข้าวดิบในแต่ละสภาวะในการทดสอบ ดังแสดงใน Table 3 สำหรับตัวอย่างข้าวเปลือกพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของข้าวเปลือกของตัวอย่างที่ได้จากการลดความชื้นในแต่ละสภาวะทดสอบ (T2-T5) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งวิธีการลดความชื้นด้วยการตากลานที่ตัวอย่างเริ่มต้นเท่ากับ 5 kg ทำให้ค่าความสว่างของข้าวเปลือกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการลดความชื้น และสำหรับค่าความเป็นสีแดง (a*) และความเป็นสีเหลือง (b*) ของข้าวเปลือกพบว่า การลดความชื้นทั้ง 2 วิธี ไม่มีผลต่อความเป็นสีแดงและความเป็นสีเหลืองของข้าวเปลือก โดยมีค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกสภาวะทดสอบ (T2-T5) และกับตัวอย่างข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้น (T1) สำหรับตัวอย่างข้าวดิบพบว่า ค่าความสว่างของตัวอย่างข้าวดิบที่ไม่ผ่านการลดความชื้น (T1) มีค่าความสว่างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตัวอย่างข้าวดิบที่สภาวะทดสอบ T3 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(p≤0.05) กับอีก 3 สภาวะทดสอบ (T2, T4 และ T5) และสำหรับค่าความเป็นสีแดงพบว่า ตัวอย่างข้าวดิบจากการลดความชื้นที่สภาวะทดสอบ T4 และ T5 มีค่าความเป็นสีแดงมากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) กับตัวอย่างข้าวดิบจากการสดความชื้นที่สภาวะทดสอบ T2, T3 และตัวอย่างข้าวดิบที่ไม่ผ่านการลดความชื้น สำหรับค่าความเป็นสีเหลือง พบว่าตัวอย่างข้าวดิบจากการลดความชื้นที่สภาวะทดสอบ T4 มีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุดและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างข้าวดิบจากการลดความชื้นที่สภาวะทดสอบ T2 และ T5 ทั้งนี้ตัวอย่างข้าวดิบที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้น (T1) มีค่าความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) กับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นในทุกสภาวะทดสอบ ซึ่งการลดความชื้นทั้งสองวิธีมีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองของข้าวดิบที่ทำให้ข้าวดิบมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น

Table 3 Comparison of color value of paddy and raw rice

Treatment	Paddy			Raw rice		
	L^*	a*	b^*	L^*	a*	b^*
T1	52.06±3.73^{b}	4.80±0.74^{ns}	26.16±1.88^{ns}	58.55±3.85^{a}	1.49±0.07^{b}	16.13±0.87^{c}
T2	54.56±2.43^{ab}	4.55±0.48^{ns}	25.67±2.02^{ns}	53.55±3.70^{b}	1.78±0.13^{b}	17.52±0.38^{ab}
T3	58.72±2.22^{a}	4.42±0.29^{ns}	24.92±1.29^{ns}	58.23±2.05^{a}	1.63±0.23^{b}	17.35±0.55^{b}
T4	55.32±1.47^{ab}	4.56±0.77^{ns}	24.34±1.29^{ns}	53.80±1.81^{b}	2.35±0.42^{a}	18.53±0.33^{a}
T5	54.16±5.14^{ab}	4.30±0.81^{ns}	24.83±1.26^{ns}	54.23±1.20^{b}	2.39±0.16^{a}	18.31±1.20^{ab}

Note : 1) a-c difference letter in same column were significant difference by Ducan's New Multiple Range Test at confident percentage of 95% (p≤0.05)

2) ns means non-significant difference (p>0.05)

จาก Table 4 หลังจากตัวอย่างข้าวเปลือกผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องแห้งแบบพองขนาดเล็กและการตากลานที่ระยะเวลาเท่ากับ 7 hr ทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการลดความชื้น (T1) มีปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.981±0.010 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) จากตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการลดความชื้น (T2-T5) ซึ่งตัวอย่างข้าวเปลือกที่สภาวะทดสอบ T2 และ T3 มีค่าปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.495±0.005 และ 0.467±0.052 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) กับตัวอย่างข้าวเปลือกที่สภาวะทดสอบ T4 และ T5 พบว่าปริมาณของข้าวเปลือกที่ใช้ในการลดความชื้นที่พื้นที่ในการลดความชื้นเท่ากันมีผลการต่อค่าปริมาณน้ำอิสระของตัวอย่าง

สุดท้ายที่ได้จากการลดความชื้น ทั้งนี้ปริมาณน้ำอิสระของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นในทุกสภาวะการทดลองมีค่าต่ำกว่า 0.65 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์

Table 4 Water activity (a_w) of paddy in different treatments

Treatment	a_w
T1	0.981 ± 0.010^{a}
T2	0.495 ± 0.005^{c}
T3	0.467 ± 0.052^{c}
T4	0.593 ± 0.001^{b}
T5	0.620 ± 0.007^{b}

Note : a-c difference letter in same column were significant difference by Ducan's New Multiple Range Test at confident percentage of 95% ($p\leq0.05$)

โดยจากการศึกษาการลดลงความชื้นตามเวลา ได้ทำการทดลองหาประสิทธิภาพโดยการลดความชื้นข้าวเปลือก 10 kg ในเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็ก เป็นเวลา 5 hr ที่ทำให้ค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) และค่าปริมาณน้ำอิสระเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ รวมทั้งได้ปริมาณข้าวเปลือกสุดท้ายมากที่สุด ซึ่งได้คำนวณประสิทธิภาพตามสมการที่ 4 ได้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 23.02±0.12 และได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความกว้าง ความยาว ค่าสี ค่าความชื้นและค่า a_w ของตัวอย่างข้าวเปลือกทั้งก่อนและหลังการลดความชื้น แสดงตาม Table 5 จะเห็นว่า ตัวอย่างข้าวเปลือกหลังจากการลดความชื้นในเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กที่ระยะเวลา 5 hr กระบวนการลดความชื้นทำให้ความกว้างมีค่าลดลงโดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) สำหรับความยาว พบว่ากระบวนการลดความชื้นไม่มีผลต่อความยาวของข้าวเปลือก และได้ทำการเปรียบเทียบ ค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) ค่าสี และค่า a_w พบว่า ตัวอย่างข้าวเปลือกก่อนลดความชื้นมีค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) เท่ากับ 19.83±0.07 หลังจากการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองแล้วทำให้ค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) เท่ากับ 10.92±0.01 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และสำหรับค่าสีของข้าวเปลือกพบว่า การลดความชื้นไม่มีผลต่อค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงของข้าวเปลือก โดยค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงของตัวอย่างข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการลดความชื้น แต่การลดความชื้นมีผลต่อค่าความสีเหลืองของตัวอย่างข้าวเปลือก โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กมีค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับตัวอย่างข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการลดความชื้น และตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นค่าปริมาณน้ำอิสระเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับตัวอย่างข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้น

Table 5 Physical properties (width and length), moisture content, color value and water activity of samples which were investigated before and after drying by the small inflatable solar dryer in 5 hr of drying time ของ

condition	Width	Length	Moisture content	L^*	a*	b^*	a_w
Before	2.14±0.08^{a}	7.88±0.49^{ns}	19.83±0.07^{a}	2.44±0.49^{ns}	2.44±0.49^{ns}	17.52±0.11^{b}	0.99±0.01^{a}
After	1.75±0.06^{b}	7.58±0.42^{ns}	10.92±0.01^{b}	2.72±0.58^{ns}	2.72±0.58^{ns}	18.86±0.50^{a}	0.61±0.01^{b}

Note : 1) a-d difference letter in same column were significant difference by Independent T-Test at confident percentage of 95% ($p \leq 0.05$)

2) ns means non-significant difference ($p > 0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากงานวิจัยได้ทดลองศึกษาการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็ก เป็นเครื่องอบแห้งที่มีต้นทุนต่ำจากวัสดุที่ใช้ทำคือ พลาสติกชนิด Polyethylene และหาง่ายในเนื่องจากเป็นวัสดุในงานทางการเกษตร ซึ่งจากงานวิจัยของ Shahi *et al.* (2011) โรงอบแห้งที่มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยการคลุมพลาสติกชนิด Polyethylene พบว่ามีการทำงานที่ดีกว่าในแง่ของเวลาในการอบแห้งและความสะอาดเมื่อเทียบกับการตากลาน รวมทั้งมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจของโรงอบแห้งที่มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยการคลุมพลาสติกเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งทั่วไปที่ทำจากวัสดุจำพวกเหล็ก ซึ่งส่งผลประโยชน์ต่อผู้ผลิตรายย่อยในท้องถิ่น โดยที่ต้นทุนโรงอบแห้งเท่ากับ 37,000 บาท สามารถที่คืนทุนได้ในระยะเวลา 1.5 ปี โดยการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กนั้นสามารถทำอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nassiri & Etesami (2011) พบว่า การอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 35°C และ 45°C ทำให้ข้าวเปลือกได้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดมากกกว่าการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 55°C เนื่องจากการใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงส่งผลทำให้เมล็ดข้าวแตกหักได้ง่าย เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความชื้นที่เกาะผิวและภายในเมล็ดสูง ส่งผลให้เกิดความเค้นขึ้นภายในเมล็ด ความเค้นที่สูงนี้จะส่งผลให้เกิดการแตกร้าว เมื่อนำไปขัดสีเมล็ดข้าวจึงเกิดการแตกหัก (Thanasookprasert *et al.* (2021)) รวมทั้งเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กยังสามารถทำอุณหภูมิได้สูงกว่าอุณหภูมิกาศแวดล้อมประมาณ 10-15°C ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Romuli *et al.* (2020) นอกจากนั้นอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของข้าวเปลือกเกิดขึ้นตามกราฟการอบแห้งในภาพที่ 5 สำหรับตัวอย่างทดลอง T2 T3 และ T4 สามารถแบ่งขั้นตอนของกระบวนการลดความชื้นตามเวลาได้ดังต่อไปนี้ คือที่เวลาการลดความชื้น 1-3 hr เป็นช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้นของการอบแห้ง ซึ่งบริเวณผิวของวัสดุมีลักษณะเปียกชื้นมากส่งผลิตให้มีอัตราการทำแห้งเพิ่มมากขึ้น โดยเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนและอุณหภูมิผิวของวัสดุ ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสารจากบริเวณผิวของเมล็ดข้าวเปลือกออกสู่อากาศนั้นมีอัตราที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำที่บริเวณผิวของข้าวเปลือกเพิ่ม (Thanasookprasert *et al.* (2021)) จึงทำให้มีการลดลงของความชื้นของผลิตภัณฑ์

ลงอย่างรวดเร็ว และในช่วงการลดความชื้นที่เวลา 3-5 hr เป็นช่วงอัตราการลดความชื้นคงที่ ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการลดความชื้น และในช่วงการลดความชื้นที่เวลา 6-7 hr เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เป็นช่วงที่ความชื้นในวัสดุเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าวัสดุอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของวัสดุเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุสูงขึ้นเรื่อย ๆ และอัตราการทำแห้งมีค่าคงที่ ซึ่งน้ำในวัสดุไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก โดยหลังจากช่วงเวลาดังกล่าวค่าความชื้นจะมีค่าคงที่ถึงแม้ว่าระยะเวลาการอบแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยระยะเวลาการลดความชื้นที่เหมาะสมอยู่ที่ระยะเวลา 5 hr ซึ่งทำให้ค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) ของตัวอย่างข้าวเปลือกมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 14 ซึ่งข้าวเปลือกมีคุณภาพได้สอดคล้องกับงานวิจัย Maneerath *et al.* (2015) ค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) ของตัวอย่างข้าวเปลือกสำหรับข้าวเปลือกพันธุ์ กข41 ที่เหมาะสมก่อนนำไปสีข้าว ควรมีค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก ที่ร้อยละ 12 -13 และข้าวเปลือกพันธุ์ กข49 ควรมีค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก ที่ร้อยละ 14 -15 ที่ทำให้เมื่อนำข้าวไปสีจะพบความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวสารมากที่สุด นอกจากนั้นสำหรับการใช้ปริมาณตัวอย่างข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้นในการทดลองเป็น 10 kg เมื่อเทียบกับการตากลานแบบดั้งเดิม พบว่า การใช้เครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กสามารถลดความชื้นได้ดีกว่าการตากลานแบบดั้งเดิม โดยใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นน้อยกว่า ที่สอดคล้องกับงานวิจัย Trongjit *et al.* (2018) สำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการลดความชื้น พบว่า ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือกทั้งการทดลอง 4 สภาวะ มี a_w ค่าน้อยกว่า 0.60 ทั้งนี้หลังการลดความชื้นระยะเวลา 7 hr ซึ่งค่า a_w เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเหลืองของข้าวเปลือก ที่มีการเพิ่มขึ้นเชิงเส้นตามค่า a_w (Bason *et al.* (1990)) นอกจากนั้นปริมาณตัวอย่างเริ่มต้นมีผลต่อค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือก โดยเมื่อใช้ปริมาณตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น โดยการใช้ปริมาณตัวอย่าง 10 kg ทำให้ข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองและการตากลานมีค่า a_w แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการใช้ตัวอย่างเริ่มต้นที่ 5 kg เนื่องจากควบคุมที่พื้นที่ในการวางตัวอย่างที่เท่ากันการเพิ่มปริมาณตัวอย่างส่งผลให้ความหนาของชั้นข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากการที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นส่งผลต่ออัตราการลดลงความชื้นของข้าวเปลือกบริเวณชั้นล่าง ที่ทำให้มีปริมาณความชื้นที่หลงเหลืออยู่ในข้าวเปลือก แต่ทั้งนี้การตากลานนั้นเป็นการระเหยความชื้นอย่างธรรมชาติ และอุณหภูมิต่ำกว่าการใช้เครื่องอบแห้งแบบพองจึงทำให้ค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) ของการตากลานที่ปริมาณ 10 kg มีค่าสูงกว่า โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Meas *et al.* (2011) พบว่าความหนาของชั้นข้าวเปลือกมีผลต่อการลดความชื้น ซึ่งการลดความชื้นเกิดขึ้นได้เร็วเมื่อความหนาชั้นของข้าวเปลือกลดลง โดยการที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดชั้นของข้าวเปลือกแห้งบริเวณด้านบนและชั้นของข้าวเปลือกชื้นบริเวณด้านล่าง เนื่องจากการได้รับความร้อนที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ข้าวเปลือกชื้นด้านล่างเกิดการถ่ายเทมวลความชื้นไปยังข้าวเปลือกด้านบนอีกครั้งส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลานานมากขึ้นเพื่อนำความชื้นออกจากข้าวเปลือก (Narmilan *et al.*, 2021) และสำหรับผลค่าสีของข้าวเปลือกและข้าวดิบแสดงผลตาม Table 3 พบว่า ข้าวเปลือกเมื่อผ่านการลดความชื้นไม่มีผลต่อค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Trongjit *et al.* (2018) ซึ่งเฉดสีของข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นอยู่ในเฉดสีเหลืองเช่นเดียวกับข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้น แต่ต่างจากข้าวดิบเมื่อผ่านการอบลดความชื้นแล้วทำให้ค่าความเป็นสีเหลือง (b-value) เพิ่มขึ้นโดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) กับเมล็ดข้าวดิบที่ไม่ผ่านการลดความชื้น เนื่องจาก วิธีการลดความชื้น อุณหภูมิและระยะเวลาในการลดความชื้นจะ

ส่งผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวหลังลดความชื้น เนื่องจากเมล็ดข้าวโดนความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ (Reducing sugar) กับกรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา (Inprasit & Noomhorm (2011)) นอกจากนั้นการลดความชื้นมีผลต่อความกว้างของข้าวเปลือก ซึ่งการหดตัวในแนวกว้างของเมล็ดข้าวนั้นเกิดจากการสูญเสียความชื้นออกจากเมล็ดข้าว ที่มีความแตกต่างในแนวยาวของเมล็ดข้าวการหดตัวนั้นเกิดขึ้นเนื่องการสูญเสียความชื้น ในขณะเดียวกันการที่เมล็ดข้าวได้รับอุณหภูมิเพิ่มในระหว่างการอบแห้งทำให้เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นตามแนวยาวเมล็ดข้าวเช่นกัน ทั้งนี้ส่วนใหญ่ขนาดเมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการหดตัวน้อยกว่าร้อยละ 5 ของขนาดเมล็ดเริ่มต้น (Prakash & Pan, 2012) ทั้งนี้การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองซึ่งแหล่งความร้อนมาจากรังสีดวงอาทิตย์ โดยมีอากาศเป็นตัวช่วยในการพาความชื้นออกจากข้าวเปลือก สามารถทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) น้อยกว่า 14 ที่ระยะเวลาอบลดความชื้น 5 hr ได้

สรุปผลการวิจัย

การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กนั้น เป็นทางเลือกหนึ่งในการลดความชื้นโดยอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถพับเก็บและเคลื่อนย้ายได้สะดวก ซึ่งจากการศึกษาการลดความชื้นพบว่า การใช้เครื่องอบแห้งแบบพองในการลดความชื้นข้าวเปลือก โดยสภาวะอากาศภายในเครื่องมีความเหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือก ($T<55^{\circ}C$) ซึ่งการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ปริมาณ 10 kg ใช้เครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กนั้นสามารถลดความชื้นได้ดีกว่าการตากลาน โดยสามารถลดความชื้นให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ ค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) น้อยกว่า 14 ได้โดยใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นเท่ากับ 5 hr และค่าปริมาณน้ำอิสระของข้าวเปลือกจากการลดความชื้นมีค่าต่ำกว่า 0.65 โดยเหมาะสำหรับการนำไปเก็บรักษาได้โดยผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเสียหายและเน่าเสียได้ รวมทั้งการลดความชื้นข้าวมีผลต่อลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าวดิบ ที่มีขนาดความกว้างและความยาวที่ลดลง รวมทั้งการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเมล็ดข้าวดิบสด ซึ่งหากต้องการลดความชื้นในปริมาณที่เพิ่มขึ้น การใช้เครื่องอบแห้งแบบพองขนาดเล็กโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้มีแนวโน้มที่สามารถทำให้ข้าวเปลือกมีค่าความชื้น (ร้อยละฐานเปียก) และค่าปริมาณน้ำอิสระเป็นไปตามมาตรฐาน และมีระยะเวลาการลดความชื้นที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการตากลาน โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับกลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนเพื่อทำให้ได้ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพ ลดการปนเปื้อนจากฝุ่น และความเสียหายเนื่องจากสัตว์จากการลดความชื้นแบบดั้งเดิม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Ahmed, U., Kumar, M., Mahajan, S. & Alam, M.S. (2015). Grain Moisture Measuring Techniques - A Review. *Agricultural and Engineering Today*, *39*(10), 13-18.

Bason, M. L., Gras, P. W., Banks, H. J., & Esteves, L. A. (1990). A Quantitative Study of the Influence of Temperature, Water Activity and Storage Atmosphere on the Yellowing of Paddy Endosperm. Journal of Cereal Science, *12*(2), 193–201.

Inprasit, C. & Noomhorm, A. (2001). Effect of Drying air temperature and Grain temperature of Different types of Dryer and Operation on Rice Quality. *Drying Technology*, *19*(2), 389-404.

Maneerath, C., Chomchuen, K., Boocha, W. & Wisitsirikun, S. (2015). The Study of Suitable Humidity in Paddy for Rice Process. In *Proceeding of The 2nd Kamphaeng phet Rajabhat University National Conference*. (pp. 213 - 219). Thailand: Kamphaeng phet. (in Thai)

Narmilan, A., Niroash, G., Mowjood, M.I.M. & Akram, A.T.A. (2021). Effect of Pads and Thickness of Paddy on Moisture Removal under Sun Drying. *Agricultural Science Digest*, *41*, 572-577

Nassiri, M. & Etesami, M. (2011). The Best Method for Rough Rice Drying Based on Operational Energy and Head Rice Yield Quality. *Journal of Agricultural Machinery Science*, *7*(4), 339-345.

Prakash, B., & Pan, Z. (2012). Effect of Geometry of Rice Kernels on Drying Modeling Results. *Drying Technology*, *30*(8), 801–807.

Rojas, S.A., Nagle, M., Gummert, M., Bruin, T. & Muller, J. (2017). Development of an Inflatable Solar Dryer for Improved Postharvest Handling of Paddy Rice in Humid Climates. *Institute of Engineering*, *10*(3), 270-280.

Romuli, S., Schock, S., Somda, M.K. & Muller, J. (2020). Drying Performance and Aflatoxin Content of Paddy Rice Applying and Inflatable Solar Dryer in Burkina Faso. *Applied Science*, *10*, 1-13.

Shahi, N.C., Khan, J.N., Lohani, U.C., Singh, A. & Kumar, A. (2011). Development of polyhouse type solar dryer for Kashmir valley. *Journal of Food Science and Technology*, *48*(3), 290-295.

Sookramoon, K. & Khamwachirapithak, M. (2016). Rice Grain Physical and Chemical analysis from Paddy Drying by Using a Solar Tunnel Dryer at Prathum Tani, Thailand. In *Proceeding of The 3rd International Conference on Industrial Engineering and Applications*. (pp. 1-4). Ukraine: Glib Vatulia.

Thanasookprasert, S., Swasdiisevi, T., Devahastin, S. & Soponronnarit, S. (2012). Dehydration of Unhusked Rice by Using Impinging Stream Dryer. *Journal of Science and Technology*, *1*(2), 1-10. (in Thai)

Thauynak, P., Chuchonaak, M., Yapha, M. & Bunyawanichakul, P. (2014). Review of Development of Paddy Dried in Industry. *Srinakharinwirot Engineering Journal*, *9*(1), 68-74. (in Thai)

Trongjit, K., Juthajan, W. & Laowlard, L. (2018). Simple Reassemble Paddy Solar Dryer. *Koch Cha Sarn Journal of Science*, *40*(2), 76-90. (in Thai)