

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องด้วยเทคนิค การแผ่รังสีความร้อนในแนวรัศมี

ณัฐพล แซ่ลิ้ม เทวรัตน์ ตรีอำนรรค* และ กระวี ตรีอำนรรค

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

รับบทความ 14 กุมภาพันธ์ 2561; ตอรับบทความ 17 เมษายน 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องด้วยเทคนิคการแผ่รังสีความร้อนในแนวรัศมี เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกต้นแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยห้องอบแห้งทรงกระบอก 2 ชั้น สูง 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอกชั้นในซึ่งผลิตจากกระจกใส 26.5 เซนติเมตร ทรงกระบอกชั้นนอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.5 เซนติเมตร ผลิตจากเหล็กเจาะรูขนาด 1.75 มิลลิเมตร ที่จุดศูนย์กลางทรงกระบอกติดตั้งฮีตเตอร์อินฟราเรดไฟฟ้าขนาด 1200 วัตต์ ด้านบนติดตั้งฮอปเปอร์ ด้านล่างติดตั้งชุดควบคุมการไหลข้าวเปลือกและพัดลมขนาด 120 วัตต์ ประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งด้วยค่าความชื้นเปลือกพลังงานจำเพาะ (SEC) อัตราการอบแห้ง (DR) และคุณภาพข้าวในเทอมของร้อยละข้าวตัน (HRY) และดัชนีความขาว (WI) โดยการอบแห้งข้าวเปลือก 15 กิโลกรัม ที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 23-26 มาตรฐานเปียก ด้วยสภาวะการอบแห้งอุณหภูมิห้องอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส อัตราการไหลอากาศ 1.075 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที และอัตราการไหลของข้าวเปลือก 0.837, 1.228, 1.875 และ 2.308 กิโลกรัมต่อนาที พบว่าอัตราการไหลของข้าวเปลือกมีอิทธิพลต่อสมรรถนะการอบแห้งโดยที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก 1.875 กิโลกรัมต่อนาที เป็นค่าที่เหมาะสมเนื่องจากให้ค่า DR สูงสุดและ SEC ต่ำสุด โดยที่คุณภาพข้าวในเทอมของ HRY และ WI ใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก; อินฟราเรด; การแผ่รังสีความร้อนในแนวรัศมี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +6644 224 583, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: tawarat@sut.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Development of a Continuous Flow Paddy Dryer with Infrared Radial Radiation Technique

Nuttaphon Saelim Tawarat Treamnuk* and Krawee Treamnuk

Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
111 University Avenue, Suranaree, Mueang, Nakhon Ratchasima, 30000

Received 14 February 2018 ; Accepted 17 April 2018

Abstract

The objective of this research was to design and development of a continuous flow paddy dryer with infrared radial radiation technique. The prototype of dryer consists of two concentric circular cylinders, which the paddy drying chamber is height of 1 m. The inner cylinder has diameter of 26.5 cm made from glasses and the outer cylinder has diameter of 29.5 cm made from perforated (1.75 mm) steel sheet. At the center of cylinders installed 1,200 W of electric infrared heater. A hopper was installed on the top of the chamber while 120 W of blower and paddy flow control were installed at bottom of chamber. The performance of the dryer in terms of specific energy consumption (SEC), drying rate (DR) and quality of paddy i.e. head rice yield (HRY) and whiteness index (WI) were evaluated by drying 15 kg of paddy with initial moisture content of 23-26% (w.b.) by using the drying conditions of 80°C of drying chamber temperature, 1.075 m³/min of air flow rate and 0.837, 1.228 1.875 and 2.308 kg/min of paddy flow rate. The results found that paddy flow rate at 1.875 kg/min is the optimum condition because gave the highest DR, lowest SEC and rice qualities (HRY and WI) closely to control.

Keywords : Paddy Dryer; Infrared; Radial Radiation

* Corresponding Author. Tel.: +6644 224 583, E-mail Address: tawarat@sut.ac.th

1. บทนำ

ข้าวเป็นธัญพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก ซึ่งผลผลิตข้าวเปลือกทั่วโลกในปี 2016 มีปริมาณ 751.9 ล้านตัน [1] โดยปกติแล้วข้าวเปลือกที่ทำการเก็บเกี่ยวจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 24-35 มาตรฐานแห้ง ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่สูงกว่าระดับความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา ดังนั้นกระบวนการลดความชื้นจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งของข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งการลดความชื้นข้าวเปลือกสามารถทำได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น การลดความชื้นด้วยการตากโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถดำเนินการได้ง่ายและต้นทุนการดำเนินการต่ำ แต่ข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมแหล่งพลังงานความร้อนได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศ กระบวนการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งมีข้อดีคือ สามารถดำเนินการได้ทุกสภาพอากาศและสามารถควบคุมระดับความชื้นที่ต้องการได้ แต่ข้อเสียคือมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง

ปัจจุบันการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วง 0.75-100 ไมโครเมตร กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมเกษตรและอาหารเนื่องจากมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง [2] จึงมีการนำการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารด้วยกรรมวิธีที่หลากหลาย เช่น การอบแห้ง การปรุงสุกอาหาร การบึ่งย่างหรือการลวก [3] สำหรับการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดนั้น รังสีอินฟราเรดจะสามารถทะลุเข้าไปในเนื้อของวัสดุได้จึงทำให้ภายในของวัสดุมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวภายนอก ซึ่งส่งผลให้ผิวด้านนอกของวัสดุที่ผ่านการอบแห้งไม่เหี่ยวย่นและยังคงคุณสมบัติของวัสดุไว้

ที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรด้วยรังสีอินฟราเรดอย่างมากมาย ตัวอย่างเช่น G.P. Sharma et al. [4] ได้ทำการอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งทำการอบแห้งด้วยระดับกำลังของรังสีอินฟราเรดที่ 300, 400 และ 500 วัตต์ อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง 35, 40 และ 45 องศาเซลเซียส

ความเร็วอากาศ 1.0, 1.25 และ 1.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การอบแห้งเกิดในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยที่อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มกำลังของรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ ความเร็วของอากาศที่ใช้อบแห้งเดียวกัน ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง แต่เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ ที่กำลังของรังสีอินฟราเรดและอุณหภูมิของอากาศเดียวกัน เนื่องจากผลกระทบของการระบายความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์ A.R. Celma et al. [5] ได้ศึกษาพฤติกรรมของการอบแห้งแบบชั้นบางของเมล็ดถั่ว โดยอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 100-160 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการศึกษาพบว่า อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจาก 100 เป็น 160 องศาเซลเซียส จะทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์จากร้อยละ 204.32 มาตรฐานแห้ง ลงเหลือร้อยละ 38.89 มาตรฐานแห้ง ลดลงจาก 60.5 นาที เหลือ 21 นาที H.U. Hebbare et al. [6] ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งฝักความร้อนร่วมจากลมร้อนและรังสีอินฟราเรด ซึ่งจากการศึกษาประสิทธิภาพของการอบแห้งแบบความร้อนร่วมของแครอทและมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยอุณหภูมิอากาศ 40 องศาเซลเซียส ความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที พบว่าการอบแห้งแบบความร้อนร่วมสามารถลดระยะเวลาที่ใช้อบแห้งลงร้อยละ 48 นอกเหนือจากนั้นยังสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 63 เมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนและการอบแห้งแบบความร้อนร่วมยังให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว ซึ่งประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งนี้คิดเป็นร้อยละ 38 สำหรับการอบแห้งแครอทและมันฝรั่ง U. Teeboonma and S. Jongjam [7] ได้ศึกษาการอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและหาสมการการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งขิง โดยทำการทดลองอบแห้งภายใต้เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสคาล

และอุณหภูมิอบแห้ง 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษา คือ อัตราส่วนความชื้น อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อลดความดันสัมบูรณ์หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟราเรดนั้น J. Laohavanich and S. Wongpichet [8] ได้ศึกษาพฤติกรรมของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการ GAS-FIRED INFRARED (GIR) ซึ่งในการทดลองนั้นสภาพที่ใส่ตัวอย่างทดสอบจะสั้นด้วยความถี่ 450 รอบต่อวินาที และมีแอมพลิจูดของการสั่นในแนวตั้งประมาณ 0.01 เมตร ทำการทดสอบ 3 ชั่วโมง โดยใช้ตัวอย่างข้าวเปลือก 0.5 กิโลกรัม ที่มีสัดส่วนความชื้นเริ่มต้น 0.22, 0.27, 0.32 และ 0.37 (มาตรฐานแห้ง) และความยาวคลื่นสูงสุดของรังสีอินฟราเรด 2.70, 2.58 และ 2.47 ไมโครเมตร จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาในการอบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มระดับความเข้มของรังสีอินฟราเรด (ลดความยาวคลื่นสูงสุดของรังสีอินฟราเรด) เนื่องจากข้าวเปลือกสามารถดูดกลืนพลังงานได้มากขึ้นและจากระยะเวลาในการอบแห้งที่ลดลงนั้นส่งผลให้ร้อยละข้าวต้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งระยะเวลาที่ใช้อบแห้งและ Tempering ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของดัชนีความขาว I. Das et al. [9] ได้ศึกษาพฤติกรรมของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอินฟราเรด โดยในการทดลองได้นำข้าวเปลือกวางบนสภาพที่ใช้ในการอบแห้งที่วางไว้ห่างจากรังสีอินฟราเรดตามระยะที่ต้องการและสภาพที่ใช้ในการอบแห้งสั้นด้วยความถี่ 21-22 เฮิร์ต และมีแอมพลิจูด 8-9 มิลลิเมตร ทดสอบที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรด 5 ระดับ (1509, 2520, 3510, 4520 และ 5514 วัตต์ต่อตารางเมตร) ความหนาชั้นข้าวเปลือก 4 ระดับ (3, 6, 12 และ 25 มิลลิเมตร) ซึ่งจากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้น และอัตราการอบแห้งลดลงเมื่อความหนาของชั้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น M. Tohidi et al. [10] ได้ศึกษาการใช้

พลังงานและคุณภาพของเครื่องอบแห้งแบบ Fixed Deep Bed โดยในการทดลองจะใช้พัฒนาอากาศผ่านฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก ซึ่งจะทดสอบโดยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของอากาศที่ใช้ออบแห้ง เช่น ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ 40, 50, 60 และ 70) ความเร็วลม (0.5, 0.8 และ 1.1 เมตรต่อวินาที) และอุณหภูมิของอากาศ (40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส) ซึ่งจากการวิเคราะห์พลังงานแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะดีขึ้นเมื่ออากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีอุณหภูมิสูง ความเร็วและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ โดยในการอบแห้งถ้าอัตราอบแห้งสูงจะส่งผลให้ข้าวเปลือกเสียหายมากขึ้น

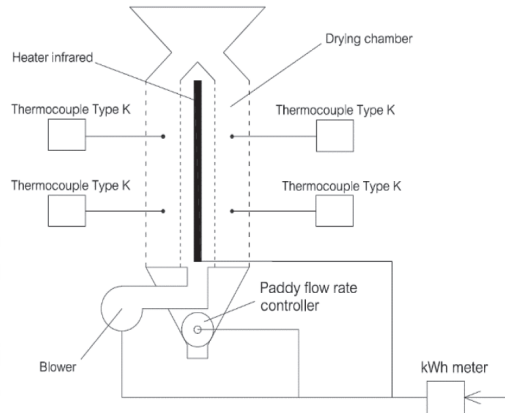
อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้รังสีอินฟราเรดหรือการใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก แต่ยังไม่มียานวิจัยที่เกี่ยวกับเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคการแผ่รังสีความร้อนในแนวรัศมีและเป็นการอบแห้งแบบไหลต่อเนื่อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องด้วยเทคนิคการแผ่รังสีความร้อนในแนวรัศมีและศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลข้าวเปลือกต่อสมรรถนะการอบแห้ง

2. ระเบียบวิธีวิจัย

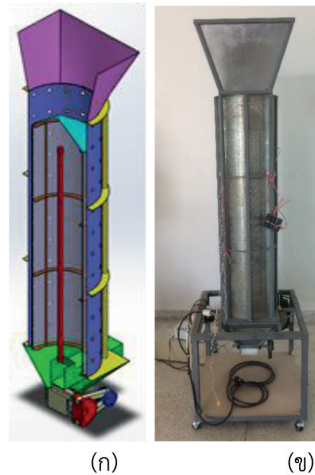
2.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งต้นแบบ

การออกแบบเครื่องอบแห้งได้กำหนดให้ห้องอบแห้งสามารถบรรจุข้าวเปลือกได้ 15 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 24 มาตรฐานเปียก โดยอ้างอิงค่าความหนาแน่นจากรายงานของ T. Tipyavimol et al. [11] และกำหนดให้ความหนาของชั้นอบแห้งข้าวเปลือกที่รับความร้อนจากรังสีอินฟราเรดมีค่า 1.5 เซนติเมตร จากนั้นได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบางของ I. Das et al. [9] มาใช้เพื่อการคำนวณหาอัตราการไหลข้าวเปลือกที่สัมพันธ์กับความเข้มของรังสี

อินฟราเรด จึงได้ออกแบบเครื่องอบแห้งดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยห้องอบแห้งรูปทรงกระบอกที่มีความสูง 1 เมตร โดยที่ผนังด้านในห้องอบแห้งทำด้วยกระจกใสที่นำมาต่อกันโดยมีระยะห่างกันประมาณ 1 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 26.5 เซนติเมตร และผนังด้านนอกห้องอบแห้งทำด้วยเหล็กแผ่นเจาะรู (ขนาดรู 1.75 มิลลิเมตร) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.5 เซนติเมตร ซึ่งทำให้ข้าวเปลือกที่ไหลในห้องอบแห้งมีความหนา 1.5 เซนติเมตร ถึงบรรจุข้าวเปลือกติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนห้องอบแห้งเพื่อป้องกันข้าวเปลือกกลิ้งสู่ห้องอบแห้ง ติดตั้งฮีตเตอร์อินฟราเรดชนิดแท่งขนาด 1,200 วัตต์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร และมีช่วงให้ความร้อนยาว 1,000 มิลลิเมตร บริเวณศูนย์กลางทรงกระบอกห้องอบแห้ง โพลเวอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 120 วัตต์ เป่าอากาศจากภายนอกเข้าสู่ห้องอบแห้งผ่านเมล็ดข้าวเปลือกที่เคลื่อนที่ลงเพื่อนำความชื้นที่ออกมาจากเมล็ดข้าวออกไปตามรูของผนังด้านนอกห้องอบแห้ง ชุดปล่อยข้าวเพื่อควบคุมอัตราการไหลข้าวเปลือก ทำจากซูเปอร์สปีนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร คว้านร่อง 4 ร่องที่มีขนาด 2x2x10 เซนติเมตร ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ อุณหภูมิของข้าวเปลือกในขณะอบแห้งวัดด้วย Thermocouple type K 4 ตัว และทุกส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งถูกติดตั้งอยู่บนโครงรับน้ำหนักของเครื่องอบแห้ง (รูปที่ 2) ขณะทำการอบแห้ง วัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์



รูปที่ 1 ภาพแสดงแผนผังโครงสร้างของเครื่องอบแห้ง



รูปที่ 2 (ก) ภาพตัดบริเวณห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งต้นแบบ (ข) เครื่องอบแห้งต้นแบบ

2.2 ตัวอย่างข้าวเปลือกในการทดลอง

ในการทดลองใช้ข้าวเมล็ดยาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วงร้อยละ 23-26 มาตรฐานเปียก ซึ่งเป็นข้าวที่เก็บเกี่ยวในจังหวัดนครราชสีมาช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ความชื้นของข้าวเปลือกหาโดยการวัดด้วยเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช (Model SB900, The Steinlite Corporation, Atchison, Kansas USA)

2.3 การอบแห้งข้าวเปลือก

การทดลองการอบแห้งเพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของชั้นข้าวเปลือกที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งในรูปของอัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) และคุณภาพข้าวในรูปของร้อยละข้าวดี (Head Rice Yield, HRY) และดัชนีความขาว (Whiteness Index, WI) โดยที่ระยะเวลาที่ชั้นข้าวเปลือกได้รับความร้อนจากรังสีอินฟราเรดนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของชั้นข้าวเปลือกซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระดับความชื้นของข้าวเปลือกและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง ในการทดลองนั้นจะเปิดระบบทิ้งไว้ก่อนทำการทดลอง 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของระบบคงที่ จากนั้นทำการอบแห้งข้าวเปลือกที่อัตราการไหลของเปลือก 0.837, 1.228, 1.875 และ 2.308 กิโลกรัมต่อนาที อัตราการไหลอากาศ 1.075 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที โดยทำการบรรจุข้าวเปลือก 15 กิโลกรัมลงในห้องอบแห้งและทำการวัดความชื้นตัวอย่างข้าวเปลือกทุก ๆ 18, 13, 8 และ 6.5 นาที (ระยะเวลาขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของข้าวเปลือก) ด้วยเครื่องวัดความชื้น ทำการอบแห้งจนกระทั่งตัวอย่างข้าวเปลือกเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก พลังงานทั้งหมดของกระบวนการอบแห้ง (ประกอบไปด้วยโบลเวอร์ ชุดควบคุมอัตราการไหลชั้นข้าวเปลือก และฮีตเตอร์อินฟราเรด) สามารถวัดได้จาก กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ และทุกสภาวะของการทดลองจะทำการทดลอง 3 ชั่วโมง

2.4 การประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

การประเมินสมรรถนะการอบแห้งเพื่อคู่อธิพลของอัตราการไหลข้าวเปลือกนั้นสามารถประเมินได้จากพฤติกรรมของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะดังนี้

2.4.1 พฤติกรรมการอบแห้ง

พฤติกรรมการอบแห้งข้าวเปลือกสามารถแสดงได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (Moisture Content) หรืออัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) กับเวลาที่ใช้ออบแห้ง โดยที่ค่าความชื้น ณ เวลาใด ๆ ที่ได้จากการทดลองนั้นจะถูกแปลงเป็นค่าอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) ซึ่งค่าอัตราส่วนความชื้นสามารถคำนวณได้ตามสมการ (1) เนื่องจากการอบแห้งด้วยอินฟราเรดนั้นตัวอย่างทดสอบอาจจะมีค่าความชื้นเท่ากับค่าความชื้นของวัสดุแห้งนั้น ๆ [12]

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (1)$$

โดยที่

MR = อัตราส่วนความชื้น

M_t = ความชื้น ณ เวลาใดๆ (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก)

M_i = ความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก)

2.4.2 อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR)

อัตราการอบแห้งสามารถพิจารณาได้จากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือกต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง สามารถคำนวณได้ตามสมการ (2)

$$DR = \frac{W_i - W_t}{t} \quad (2)$$

โดยที่

DR = อัตราการอบแห้ง (กิโลกรัมน้ำต่อชั่วโมง)

W_i = น้ำหนักข้าวเปลือกเริ่มต้น (กิโลกรัม)

W_t = น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบแห้ง (กิโลกรัม)

t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

2.4.3 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC)

ค่า SEC สามารถพิจารณาได้จากพลังงานทั้งหมดในกระบวนการอบแห้ง (เมกกะจูล) ต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก (กิโลกรัม) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3)

$$SEC = \frac{3.6E}{W_i - W_t} \quad (3)$$

โดยที่

SEC = ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (เมกกะจูล ต่อกิโลกรัมน้ำ)

E = พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในกระบวนการอบแห้ง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

2.4.4 ร้อยละข้าวตัน (Head Rice Yield, HRY)

นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นและข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก อย่างละ 125 กรัม มากะเทาะเปลือกด้วยเครื่องสีข้าวระบบลูกยาง (Model : NW-150) และนำข้าวกลิ้งที่ได้ไปขัดข้าวด้วยเครื่องขัดข้าว ทำการแยกข้าวตันและข้าวหักออกจากกันด้วยเครื่องคัดแยกขนาดเมล็ด จากนั้นชั่งน้ำหนักข้าวตันและบันทึกข้อมูล โดยที่ร้อยละข้าวตันสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4)

$$HRY = \frac{\text{weight of headrice}}{\text{weight of paddy}} \times 100 \% \quad (4)$$

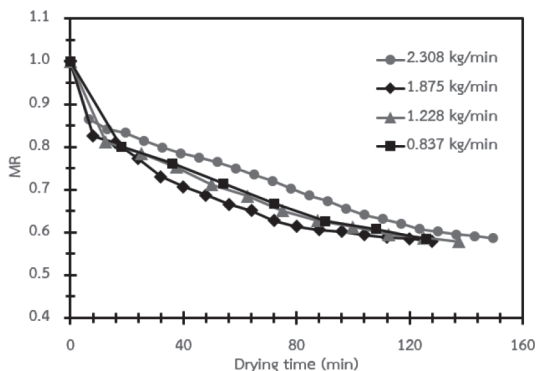
2.4.5 ดัชนีความขาว (Whiteness Index, WI)

จากตัวอย่างข้าวเปลือกที่นำไปขัดข้าวแล้วจะนำไปวัดค่าดัชนีความขาวด้วยเครื่องวัดดัชนีความขาว (Model : Kett C-600, Kett Electronic Laboratory Corporation, Tokyo, Japan)

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 พฤติกรรมการอบแห้ง

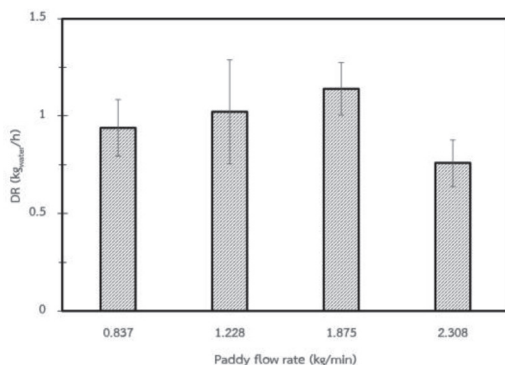
พฤติกรรมการอบแห้งข้าวเปลือกที่อัตราการไหลของชั้นข้าวเปลือกต่างกันนั้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3 จากผลการทดลองพบว่าพฤติกรรมของกระบวนการอบแห้งส่วนใหญ่จะเกิดในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงโดยในช่วงแรกของการอบแห้งนั้นความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วและหลังจากนั้นความชื้นจะค่อย ๆ ลดลงเนื่องจากกระบวนการระเหยน้ำของข้าวเปลือกในช่วงแรกจะเกิดขึ้นที่ผิวของข้าวเปลือกแต่เมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นกระบวนการระเหยน้ำของข้าวเปลือกจะลดลง จากการพิจารณาผลกระทบจากอัตราการไหลชั้นข้าวเปลือกพบว่าเมื่ออัตราการไหลของชั้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 0.837 ถึง 1.875 กิโลกรัมต่อนาทีอัตราการอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของข้าวเปลือกเป็น 2.308 กิโลกรัมต่อนาที กลับพบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นเทียบกับเวลามีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากอัตราการไหลข้าวเปลือกที่มากเกินไปทำให้ข้าวเปลือกสัมผัสกับรังสีอินฟราเรดได้น้อยลง การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่าในอัตราการไหลที่ต่ำกว่า



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ใช้อบแห้งที่อัตราการไหลข้าวเปลือกต่างกัน

3.2 อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR)

เมื่อทำการควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งและอัตราการไหลอากาศ ทำให้พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลข้าวเปลือกจาก 0.837 เป็น 1.875 กิโลกรัมต่อนาที อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของข้าวเปลือกเป็น 2.308 กิโลกรัมต่อนาที จะพบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าลดลง (รูปที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของการอบแห้งที่เกิดขึ้นใน รูปที่ 3 ดังนั้นเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นนี้จึงเหมาะสมต่ออัตราการไหลข้าวเปลือกที่อัตรา 1.875 กิโลกรัมต่อนาที เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลอากาศ 1.075 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที เมื่อพิจารณาในเรื่องของอัตราการอบแห้งซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งที่น้อยกว่าการอบแห้งในอัตราการไหลอื่น ๆ

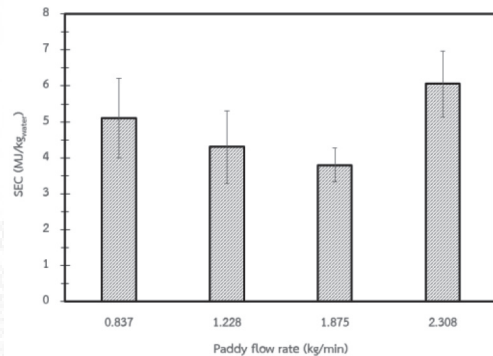


รูปที่ 4 อัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่อัตราการไหลข้าวเปลือกต่างกัน

3.3 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะคือพลังงานทั้งหมดของเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการกำจัดน้ำออกจากเมล็ดข้าวเปลือก เมื่อพิจารณาผลกระทบจากอัตราการไหลข้าวเปลือกพบว่า ค่า SEC ของการอบแห้งข้าวเปลือกมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมของการอบแห้งและอัตราการอบแห้ง นั่นคือที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก

1.875 กิโลกรัมต่อนาที เป็นอัตราการไหลที่ให้ค่า SEC ต่ำสุด โดยค่า SEC จะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจนถึง 1.875 กิโลกรัมต่อนาที และจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 2.308 กิโลกรัมต่อนาที ดังแสดงใน รูปที่ 5



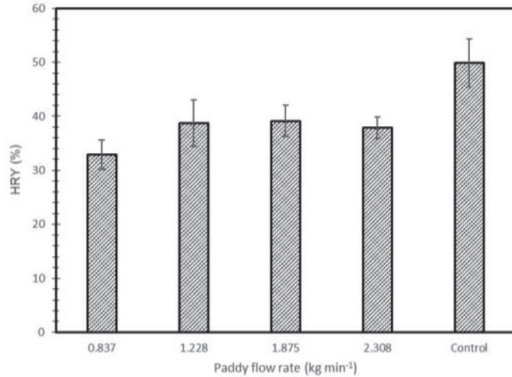
รูปที่ 5 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งข้าวเปลือกที่อัตราการไหลข้าวเปลือกต่างกัน

3.4 ผลกระทบของอัตราการไหลข้าวเปลือกต่อคุณภาพของข้าวเปลือกหลังกระบวนการอบแห้ง

3.4.1 ร้อยละข้าวตัน (Head Rice Yield, HRY)

เมื่อพิจารณาจากผลกระทบของอัตราการไหลข้าวเปลือกพบว่าที่อัตราการไหลต่ำข้าวเปลือกจะอยู่ในเครื่องอบแห้งนานทำให้ได้อิทธิพลจากรังสีอินฟราเรดนานกว่าจึงทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในทำให้ค่า HRY มีค่าน้อยกว่าข้าวเปลือกที่ไหลด้วยอัตราที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราการไหลข้าวเปลือกสูงถึง 2.308 กิโลกรัมต่อนาที กลับพบว่าค่า HRY มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการที่อัตราการไหลของข้าวเปลือกที่สูงมากเกินไปทำให้จำนวนเที่ยวในการวนกลับเข้าสู่ห้องอบแห้งเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดความเสียหายทางกลต่อเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ค่า HRY มีค่าลดลง (รูปที่ 6) และเมื่อเปรียบเทียบค่า HRY ระหว่างตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดกับชุดตัวอย่างควบคุม (ข้าวเปลือกที่ลด

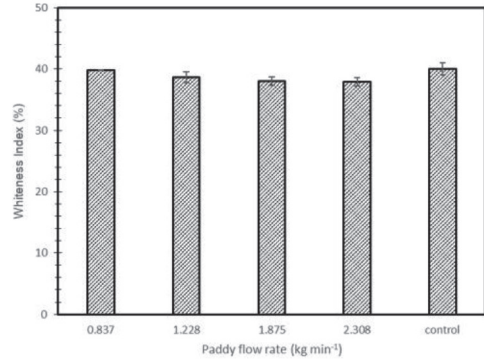
ความชื้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) พบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีค่า HRY น้อยกว่าชุดตัวอย่างควบคุมทุกอัตราการไหล



รูปที่ 6 ร้อยละข้าวต้นของข้าวหลังผ่านการอบแห้งที่อัตราการไหลข้าวเปลือกต่างกัน

3.4.2 ดัชนีความขาว (Whiteness Index, WI)

จากการพิจารณาค่า WI ของชุดตัวอย่างควบคุมกับข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดพบว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีค่าดัชนีความขาวใกล้เคียงกับชุดตัวอย่างควบคุมและเมื่อพิจารณาผลกระทบจากอัตราการไหลขึ้นข้าวเปลือกที่มีต่อค่าดัชนีความขาวจะพบว่า ที่ทุกค่าอัตราการไหลขึ้นข้าวเปลือกนั้นค่าดัชนีความขาวจะน้อยกว่าค่าดัชนีความขาวของชุดตัวอย่างควบคุม และค่าดัชนีความขาวจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลขึ้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น (รูปที่ 7) เมื่อทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าค่าดัชนีความขาวของข้าวสารที่ได้หลังการอบแห้งมีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 7 ค่าดัชนีความขาวของข้าวหลังผ่านการอบแห้งที่อัตราการไหลข้าวเปลือกต่างกัน

4. สรุป

จากการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอัตราการไหลขึ้นบางข้าวเปลือกที่แตกต่างกันพบว่า อัตราการไหลข้าวเปลือกมีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งข้าวเปลือกโดยค่าอัตราการไหลข้าวเปลือกที่เหมาะสมต่อการอบแห้งข้าวเปลือกแบบอินฟราเรดที่ใช้ความร้อนในแนวรัศมีที่พัฒนาขึ้นคือ 1.875 กิโลกรัมต่อนาที ซึ่งจะให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด ใช้พลังงานต่ำสุด โดยที่คุณภาพของข้าวเมื่อพิจารณาจากร้อยละข้าวต้นและดัชนีความขาวมีค่าใกล้เคียงกับข้าวชุดควบคุม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนวิจัยและสนับสนุนด้านเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nation, "Rice Market Monitor," vol. XX, no. 1, Apr. 2017.
- [2] J. Laohavanich and S. Wongpichet, "Thin layer drying model for gas-fired infrared drying of paddy.Songklanakarin," *J. Sci. Technol*, vol. 30, no. 3, pp. 343-348, May-Jun. 2008.
- [3] D. Zare, H. Naderi and M. Ranjbaran, "Energy and quality attributes of combined hot-air/infrared drying of paddy," *Drying Technology*, vol. 33, pp. 570-582, Feb. 2015.
- [4] G.P. Sharma, R.C. Verma and P. Pathare, "Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices," *Journal of Food Engineering*, vol. 71, no. 3, pp. 282-286, Dec. 2005.
- [5] A.R. Celma, F. López-Rodríguez and F. Cuadros, "Experimental modelling of infrared drying of industrial grape by-products," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 87, no. 4, pp. 247-253, Dec. 2009.
- [6] H.U. Hebbbar, K.H. Vishwanathan and M.N. Ramesh, "Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables," *Journal of Food Engineering*, vol. 65, no. 4, pp. 557-563, Dec. 2004.
- [7] U. Teeboonma and S. Jongjam, "Ginger Drying Using Infrared-Vacuum Technique," *Burapha Sci. J.*, vol. 15, no. 2, pp. 76-86, 2010.
- [8] J. Laohavanich and S. Wongpichet, "Drying characteristics and milling quality aspects of paddy dried gas-fired infrared," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 32, no. 3, pp. 442-461, Jun. 2009.
- [9] I. Das, S.K. Das and S. Bal, "Drying kinetics of high moisture paddy undergoing vibration-assisted infrared (IR) drying," *Journal of Food Engineering*, vol. 95, no. 1, pp. 166-171, Nov. 2009.
- [10] M. Tohidi, M. Sadeghi and M. Torki-Harchegani, "Energy and quality aspects for fixed deep bed drying of paddy," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.70, pp. 519-528, Apr. 2017.
- [11] T. Tipyavimol, P. Sangrung, and P. Sudtana, "Physical and Thermal Properties of Khao Dawk Mali 105 Rice" in *proceeding of the 13rd TSAE national conference*, Chiang-mai, Thailand, 4-5 Apr. 2012, pp. 526-531.
- [12] A.R. Celma, F. Cuadros and F. López-Rodríguez, "Characterisation of industrial tomato by-products from infrared drying process," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 87, no. 4, pp. 282-291, Dec. 2009.