

อุณหภูมิการอบแห้งแบบหมุนเวียนของข้าวเปลือกมีผลต่อสารหอม (2AP)

Temperature of Recirculation batch drying the paddy had an effect on aroma (2AP)

สมพจน์ คำแก้ว

ห้องปฏิบัติการนวัตกรรมวิศวกรรมอบแห้งทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เลขที่ 1 หมู่ที่ 6 ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Sompot Khomkaew

Drying-Agri-Innovation Engineering Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus,

1 M.6 Kamphaeng Saen District, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

Email: Sku18me@gmail.com

(Received: September 2, 2020; Accepted: July 24, 2021)

บทคัดย่อ

การวิจัยศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์กลิ่นหอมของข้าวหอมปทุมที่มีผลต่ออุณหภูมิสูงในการอบแห้งแบบหมุนเวียน โดยเครื่องอบแห้งมีขนาดมีความสูง 2270 มิลลิเมตร กว้าง 2481 มิลลิเมตร และยาว 1070 มิลลิเมตร ในการอบแห้งแบบหมุนเวียนมีความจุ 1.5 ตัน นอกจากนี้การใช้วิธีการที่เหมาะสมจะช่วยลดความเสียหายของข้าวหอมปทุม การวิจัยพัฒนาเครื่องอบแห้งอัตโนมัติสำหรับข้าวหอมปทุมในรูปแบบของการอบแห้งแบบหมุนเวียน โดยการทดสอบคุณสมบัติของอุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้นและมีเงื่อนไขการทดสอบคือ อุณหภูมิ เวลาและชนิดแหล่งความร้อน แม้ว่าผลการทดสอบกระบวนการอบแห้ง แต่ละการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าการระเหยของสาร 2AP ที่อุณหภูมิเครื่องอบแห้งอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส เมื่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ความชื้นข้าวลดลง ดังนั้นก่อนการอบแห้งข้าวหอมปทุมจะทำการวิเคราะห์ค่า $2AP \approx 1.465$ ไมโครกรัมต่อกรัมและหลังจากผ่านการอบแห้งแบบหมุนเวียนจะมีค่า $2AP \approx 1.580$ ไมโครกรัมต่อกรัมค่าความหอมเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: อบแห้ง ระบบหมุนเวียน แบบจำลองคณิตศาสตร์ ความหอม ข้าวหอมปทุม

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the effect of Thai Pathumthani Fragrant Rice on high temperature in recirculation batch drying. Dimension of drying is 2270 mm in height, 2481 mm in width and 1070 mm in length. It has a capacity of 1.5 tons. Research and development of automatic drying for Thai Pathumthani Fragrant Rice in the form of recirculation batch drying. The properties of the dehumidification temperature were tested and the tested in provided were temperature, time and heat source type. Even though the drying process test results. Each experiment demonstrated that the 2-Acetyl-1-Pyrroline (2 AP) evaporation at the drying temperature was 60°C , when the temperature increase would reduce the moisture content of rice. Therefore, before drying of Thai Pathumthani Fragrant Rice, the value of $2AP \approx 1.465$ micrograms per gram was analyzed, and after recirculation drying, it was $2AP \approx 1.580$ micrograms per gram.

Keywords: Drying, Recirculation, Geometry, Aroma, Thai Pathumthani Fragrant Rice.

1. บทนำ

กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวเช่น การลดความชื้น การเก็บรักษาต่างๆ การสีแปรสภาพ การขนส่ง และการหุงต้ม ถึงแม้จะมีการจัดการที่ดีและถูกต้องในขั้นตอนการเพาะปลูกตั้งแต่การใช้เมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์การจัดการธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม การจัดการน้ำในแปลงแต่หากขาดการจัดการที่เหมาะสมในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว อาทิเช่น วิธีการเก็บเกี่ยว การลดความชื้น ข้าวเปลือก การแปรสภาพและการเก็บรักษาต่างๆ การปฏิบัติการเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อคุณภาพและความหอมของข้าวอย่างเลี่ยงไม่ได้

กลิ่นหอมในข้าวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของข้าวหอมพันธุ์ต่างๆ และยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการกำหนดราคาและคุณภาพของข้าวองค์ประกอบหลักของกลิ่นหอมในข้าวได้แก่ สาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP)[1] สามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของข้าว นอกจากเมล็ดข้าว เช่น ยอดอ่อน ราก เปลือก และใบ[2] ต่อมาได้ทำการสกัดสารระเหยจากข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบสาร 2AP และสารอื่นๆ มากกว่า 100 ชนิด และได้พัฒนาวิธีการสกัดด้วยสารละลายกรดโดยที่ไม่ใช้ความร้อนพบว่าสามารถวิเคราะห์สาร 2AP ในตัวอย่างข้าวปริมาณน้อยๆ[3][4] ในกระบวนการเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบกระแสนั้น พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งนั้นส่งผลให้อัตราการระเหยนํ้าเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกนั้นลดลง แต่การใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงนั้น ก็จะส่งผลทำให้ปริมาณร้อยละต้นข้าวลดลงตามไปด้วย

ในส่วนการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งนั้น โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศเข้าห้องอบแห้ง 20 เมตรต่อวินาที ระยะห่างกระแสนเท่ากับ 5 เซนติเมตรและอัตราการป้อนข้าวเปลือก 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกและร้อยละต้นข้าวลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ในขณะที่อัตราการระเหยนํ้าเชิงปริมาตร

เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น [5] การอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ กข.10 ด้วยเทคนิคเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดโดยการใช้เครื่องอบแห้งในระดับห้องปฏิบัติการมีการเวียนลมร้อนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ให้มีปริมาณร้อยละ 80 สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกในห้องอบแห้งประมาณ 25 กรัม ทุกๆ 30 วินาที ในการวิเคราะห์ค่าความชื้นของข้าวเปลือกตามมาตรฐาน ASAE (1989) พบว่าการลดลงของความชื้นจะแปรผันตามอุณหภูมิของลมร้อนที่อุณหภูมิสูงการลดลงของความชื้นจะมากกว่ากรณีที่อุณหภูมิต่ำ โดยมีลักษณะการลดลงเป็นไปในแนวทงทำงานเดียวกันเมื่อพิจารณาที่ระดับความชื้นสุดท้ายไม่ต่ำกว่าร้อยละ 19 เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกหักของข้าวเปลือก การอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 70-90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงเป็น 3.7-1.9 นาที อัตราการระเหยของน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 3.667-6.947 กิโลกรัม นาทิระเหยต่อชั่วโมงและค่าใช้จ่ายในการระเหยนํ้าลดลงเป็น 1.51-0.84 บาทต่อกิโลกรัม นาทิระเหย[6]

การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดโดยไอนํ้าร้อนยวดยิ่งเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ต่อการอบแห้งและคุณภาพข้าวเปลือกสภาวะต่างๆ ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25-43 ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 16-28 ความสูงฐานข้าวเปลือกที่กอง 10-15 เซนติเมตร อุณหภูมิไอนํ้าร้อนยวดยิ่ง 150-170 องศาเซลเซียส ความดันไอนํ้าในระบบอบแห้ง 106.1 กิโลพาสคาล พบว่าความเร็วต่ำสุดของไอนํ้าร้อนยวดยิ่งที่ทำให้ข้าวเปลือกเกิดฟลูอิดไดซ์เบด มีค่าประมาณ 2.6 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิไอนํ้าร้อนยวดยิ่งมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าความสูงฐานข้าวเปลือกที่ความสูง 10 เซนติเมตร ความเร็วไอนํ้าร้อนยวดยิ่ง 1.3 เท่า ของความเร็วต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดไดซ์เบด อุณหภูมิอินเวอร์ชัน (Inversion Temperature) มีค่าต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งการอบแห้งด้วยไอนํ้าร้อนยวดยิ่งสามารถลดความชื้นได้ต่ำถึงร้อยละ 18 โดยที่เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวไม่เปลี่ยนแปลงและถ้าลดความชื้นต่ำกว่านี้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยอากาศร้อน ข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอนํ้าร้อนยวดยิ่งมีเปอร์เซ็นต์ต้น

ข้าวสูงกว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนประมาณร้อยละ 30 และข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีสีคล้ำกว่าข้าวที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน ซึ่งพบว่าข้าวที่อบแห้งด้วยไอน้ำยวดยิ่งมีลักษณะเป็นข้าวหนึ่ง[5] และในการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิสูงมีผลให้ปริมาณสารหอมระเหย (2AP) ลดลง[7] ในทางกลับกันกับไม่พบความแตกต่างในคุณภาพความหอมของข้าวเมื่ออุณหภูมิในการลดความชื้นอยู่ระหว่าง 18-60 องศาเซลเซียส[8]

การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยอุณหภูมิสูง 54.3 องศาเซลเซียส ที่ 21.9 เปอร์เซ็นต์(RH) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่ำ 33 องศาเซลเซียสที่ 67.8 เปอร์เซ็นต์ (RH) ไม่มีผลต่อความหอมของข้าวสุกก่อนทำการเก็บรักษา[9] ต่อมาได้นำเทคนิคการลดความชื้นในเมล็ดด้วยอุณหภูมิต่ำ 3 วิธีคือ การตากแดด การปรับสภาพอากาศ 30-40 องศาเซลเซียสและการใช้อากาศร้อน 40, 50 และ 70 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณสารหอมระเหย (2AP) สูง [10] ตรงข้ามกับปริมาณสารหอมระเหย (2AP) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการลดความชื้นเมล็ดข้าว ระหว่างช่วง 100-150 องศาเซลเซียส[11] ในการประเมินสถานการณ์การใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบต่างๆ ของโรงสีในประเทศไทยจากการสำรวจพบว่าใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่นิยมใช้มากที่สุดคือแบบ LSU 64.4 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังการผลิตรวม 79.3 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งข้าวเปลือกที่ใช้มีความชื้นทุกระดับรองลงมาเป็นเครื่องอบแห้งแบบ RBD มีกำลังการผลิตรวม 20.6 เปอร์เซ็นต์ใช้อบแห้งข้าวเปลือกในช่วงความชื้น 20-30 เปอร์เซ็นต์ (wb) โรงสีที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 100 ตันต่อวัน พึ่งพอใจสมรรถนะโดยรวมของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมากที่สุดรองมาเป็น LSU, Cross Flow และ RBD ได้ทำการทดสอบสมรรถนะระบบอบแห้งข้าวเปลือกที่ใช้ระบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับแบบไหลคลุกเคล้าแบบ LSU เพื่อประเมินสถานการณ์การใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ร่วมกับเครื่องเป่าลมเย็นพบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านอบแห้งด้วยฟลูอิดไดซ์เบดมีคุณภาพที่อยู่ตามเกณฑ์มาตรฐาน ASAE (1989) และไม่มีเครื่องเป่าลมเย็นเครื่องอบแห้งแบบ LSU

คุณภาพที่ได้ลดลงและพลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานคือความชื้นเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายในการอบแห้งอยู่ในช่วง 0.70-0.96 Baht/kg Water_{evap}[12] ในระบบอบแห้งข้าวเปลือกในโรงสีข้าวเพื่อหาระบบอบแห้งข้าวเปลือกที่เหมาะสมกับโรงสีข้าวขนาดใหญ่ ลดความชื้นของข้าวเปลือกให้เหลือ 14 เปอร์เซ็นต์ (wb) และมีคุณภาพการสีที่ดีโดยทำการสำรวจข้อมูลคุณภาพของข้าวเปลือกและปริมาณการใช้พลังงานที่ได้มาเปรียบเทียบกับและศึกษาหาจุดที่เหมาะสมแล้วจึงสามารถออกแบบระบบอบแห้งให้ได้คุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ (wb) ในการทดสอบครั้งนี้เลือกโรงสี 3 แห่ง ใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง อบแห้งที่อุณหภูมิช่วงประมาณ 110–130 องศาเซลเซียสข้าวเปลือกที่ความชื้นสูงกว่า 19 เปอร์เซ็นต์ (wb) หลังจากนั้นพักข้าวก่อนใช้เครื่องอบแห้งแบบ LSU ขนาดบรรจุ 6-10 ตัน อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง 80–100 องศาเซลเซียสอบแห้งข้าวเปลือกที่ต่ำกว่า 19 เปอร์เซ็นต์ (wb) แล้วเก็บตัวอย่างทุก 20 นาที [13]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis, wb) คืออัตราส่วนของปริมาณความชื้นหรือน้ำในวัสดุต่อปริมาณวัสดุรวม โดยคิดวัสดุประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือ ความชื้นและมวลแห้งจากสมการ (1) และ (2) ได้ดังนี้ [14]

$$M_w = \frac{\text{Mass of moisture}}{\text{Mass of material}} \quad (1)$$

$$M_w = \frac{W_w}{W} = \frac{W - W_d}{W} \quad (2)$$

เมื่อ

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

W คือ มวลของวัสดุ (g)

W_w คือ มวลของความชื้นหรือปริมาณน้ำในวัสดุ (g)

W_d คือ มวลแห้งของวัสดุ (g)

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis, db) คือ อัตราส่วนของปริมาณความชื้นในวัสดุต่อปริมาณแห้งในวัสดุจากสมการ (3) และ (4) ได้ดังนี้ [14]

$$M_d = \frac{\text{Mass of moisture}}{\text{Mass of dry solid}} \quad (3)$$

$$M_d = \frac{W_w}{W_d} = \frac{W - W_d}{W_d} \quad (4)$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้งนิยมใช้วิเคราะห์ทางทฤษฎี นิยมเปรียบเทียบค่าความชื้นบนค่าคงที่ คือ W_d พิจารณาที่ระบบอุณหอากาศจะได้ว่าปริมาณความร้อนที่อากาศได้รับจากระบบอุณหอากาศมีค่าเท่ากับผลต่างของเอนทัลปีกระแสอากาศที่เข้าจากสมการ (5) ได้ดังนี้ [14]

$$Q_a = \dot{m}_a (C_a + C_v H_1) (T_2 - T_1) t \quad (5)$$

เมื่อ

Q_a คือปริมาณความร้อนที่อากาศได้รับ (kJ)

•

$\dot{m}_a$ คืออัตราการไหลเชิงมวลอากาศแห้ง (kgdry air/h)

H_1 คืออัตราส่วนความชื้นอากาศ (kgwater/kgdry air)

C_a คือความร้อนจำเพาะอากาศแห้ง (kJ/kgdry air°C)

C_v คือความร้อนจำเพาะของไอน้ำ (kJ/kgwater°C)

T_1 คืออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอุณหอากาศ (°C)

T_2 คืออุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องอุณหอากาศ (°C)

t คือเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

การหาปริมาณความร้อนของเครื่องอุณหอากาศก็ คือ การใช้ Psychometrics เมื่อทำการพิจารณาที่ห้องอบแห้งเราจะสามารถหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุจากสมการ (6) ได้ดังนี้ [14]

$$Q_{\text{evap}} = W_d (M_i - M_f) h_{fg} \quad (6)$$

เมื่อ

Q_{evap} คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (kJ)

T_d คือ มวลแห้งของวัสดุ (kg)

M_i คือ ความชื้นวัสดุก่อนอบแห้ง

M_f คือ ความชื้นวัสดุหลังอบแห้ง

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของน้ำ (kJ/kg)

การอบแห้งนั้นความร้อนจากอากาศไม่ได้ใช้เพื่อในการระเหยน้ำออกจากวัสดุเท่านั้น แต่ความร้อนส่วนหนึ่ง ซึ่งเป็นความร้อนสัมผัสจะทำให้อุณหภูมิของวัสดุอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นไปสู่อุณหภูมิสุดท้ายที่ออกจากเครื่องอบแห้งโดยปริมาณความร้อนนี้จากสมการ (7) และ (8) ได้ดังนี้ [14]

$$Q_s = W_d C_{pd} (M_{p2} - T_{p1}) + W_d C_{pw} (T_{p2} - T_{p1}) M_i \quad (7)$$

เมื่อ

Q_s คือปริมาณความร้อนการเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ (kJ)

C_{pd} คือ ความร้อนจำเพาะของวัสดุแห้ง (kJ/kg °C)

C_{pw} คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg °C)

T_{p1} คือ อุณหภูมิวัสดุก่อนอบแห้ง (°C)

T_{p2} คือ อุณหภูมิวัสดุหลังอบแห้ง (°C)

ดังนั้น

$$Q_a = Q_{\text{evap}} + Q_s$$

OR

$$\dot{m} (C_a + C_v H_1) (T_2 - T_1) t = W_d (M_i - M_f) h_{fg} + \left\{ W_d C_{pd} (T_{p2} - T_{p1}) + W_d C_{pw} (T_{p2} - T_{p1}) M_i \right\} \cdot \frac{W_d (M_i - M_f) h_{fg} \left\{ W_d C_{pd} (T_{p2} - T_{p1}) + W_d C_{pw} (T_{p2} - T_{p1}) M_i \right\}}{(C_a + C_v H_1) (T_2 - T_1) t} \quad (8)$$

จากสมการ (8) หาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับการอบแห้งได้และจากอัตราการไหลอากาศที่ได้ เพื่อหาขนาดของพัดลมที่เหมาะสมในเครื่องอบแห้งที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนโดยคำนวณจากสมการ (9) ได้ดังนี้ [15]

$$f = \frac{Q_a}{\eta \eta_{ex} C_{fa}} \quad (9)$$

เมื่อ

F คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)

η คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนระบบให้ความร้อน

η_{ex} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องแลกเปลี่ยน

C_f คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งนั้นจะพิจารณาจากสองส่วนคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประสิทธิภาพในการอบแห้ง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง

3.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อปริมาณความร้อนที่ให้แก่เครื่องอบแห้งจากสมการ (10) และ (11) ได้ดังนี้ [14]

$$\eta_{dry} = \frac{Q_{evap}}{Q_a} \times 100 \quad (10)$$

$$\eta'_{dry} = \frac{Q_{evap} + Q_s}{Q_a} \times 100 \quad (11)$$

เมื่อ

η_{dry} คือประสิทธิภาพของการอบแห้ง (%)

η'_{dry} คือประสิทธิภาพการอบแห้งความร้อนสัมผัส (%)

นอกจากนี้ยังสามารถบอกประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งได้ในรูปของค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน

จำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ซึ่งเป็นค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยน้ำออกจากวัสดุค่า SEC นี้จากสมการ (12) ได้ดังนี้ [15]

$$SEC = \frac{Q_a}{W_i - W_f} \quad (12)$$

เมื่อ

SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kJ/kgwater)

3.2 หาประสิทธิภาพในการอบแห้ง

ในการพิจารณาประสิทธิภาพในการอบแห้งจะประเมินจากค่าอัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) ซึ่งสามารถคิดได้จากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้งหรือปริมาณความชื้นต่อระยะเวลาในการอบแห้งจากสมการ (13) และ (14) ได้ดังนี้ [14]

$$DR = \frac{W_i - W_f}{t} \quad (13)$$

$$DR = \frac{M_i - W_f}{t} \quad (14)$$

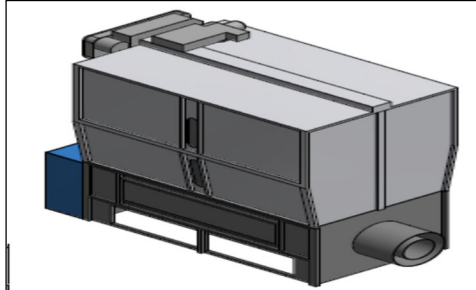
เมื่อ

DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/h หรือ %db/h)

4. การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียนขนาดเล็ก

การลดความชื้นข้าวเปลือกเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นแรกของการกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว โดยเป็นการลดความชื้นหรือน้ำส่วนเกินออกจากเมล็ดก่อนการจัดการในขั้นตอนต่อไป ความรวดเร็วของการนำเมล็ดเข้ากระบวนการการลดความชื้นและกรรมวิธีการลดความชื้นจะมีผลโดยตรงต่อสมบัติหรือคุณภาพต่างๆ ของเมล็ดข้าว ได้แก่ การแตกร้าวภายใน เปอร์เซ็นต์ของต้นข้าว สี และกลิ่น เป็นต้น เทคนิคการลดความชื้นในปัจจุบันมีหลากหลายวิธีขึ้นกับวัตถุประสงค์ เช่น การอบเป็นเมล็ดพันธุ์ การแปรรูปเป็นอาหาร ค่าความชื้นเริ่มต้นของ

ข้าวเปลือกและชนิดเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียนตามรูปที่ 1 ซึ่งเป็นคุณสมบัติจำเพาะของเครื่องอบแห้งที่ออกแบบตามตารางที่ 1



รูปที่ 1 แสดงด้านบนแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียน
(Recirculation batch drying)

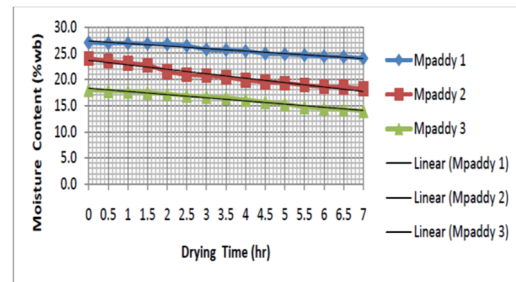
ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียน
(Recirculation batch drying)

น้ำหนักเครื่อง	320 Kg
ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า	0.5 hp
ขนาดตัวเครื่อง (กว้างxยาวxสูง)	24.81x10.70x22.70 cm
ความต้องการทางด้าน กำลังไฟฟ้า	220 V
อัตราการอบแห้ง ข้าวเปลือก	1500 Kg/6hr@14%
ความจุของข้าวเปลือก ห้องอบแห้ง	1500 kg
อุณหภูมิอบแห้ง	60 °C
เชื้อเพลิงให้ความร้อน	LPG

5. ผลการทดสอบ

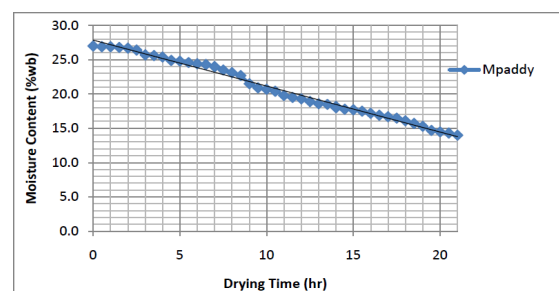
ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยมีค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นที่แตกต่างกัน 3 ค่า คือ 28 เปอร์เซ็นต์ (db) 24 เปอร์เซ็นต์ (wb) และ 18 เปอร์เซ็นต์ (wb) ที่บรรจุข้าวเปลือกเข้าเครื่องลดความชื้นครั้งละ 1.5 ตันซึ่งความชื้นสุดท้ายที่ต้องการอบแห้งให้เหลือประมาณ 14.0 เปอร์เซ็นต์ (wb) อุณหภูมิทำงานที่ 60 องศาเซลเซียส มีการพักอยู่ 3 ช่วงเวลา จะกำหนดให้

เครื่องทำงานเองแบบถึงอัตโนมัติ โดยกำหนดค่าความชื้น Output 14.0 เปอร์เซ็นต์ (wb) ความชื้นข้าวเปลือกสุดท้ายพบว่าค่าจะใช้เวลาในการลดความชื้นที่สั้นลง 7 ชั่วโมง ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ความชื้นกับเวลาอบแห้ง

ค่าชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 28 เปอร์เซ็นต์ (wb) ที่บรรจุข้าวเปลือกเข้าเครื่องลดความชื้นครั้งละ 1.5 ตันซึ่งความชื้นสุดท้ายที่ต้องการลดให้เหลือประมาณ 14.0 เปอร์เซ็นต์ (wb) อุณหภูมิทำงานที่ 60 องศาเซลเซียสไม่มีการพักเครื่อง พบว่าจากกราฟจากการทดลองเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าความชื้นของข้าวเปลือกจะมีค่าลดลงจนกระทั่งได้ค่าความชื้นตามที่กำหนดไว้ตั้งแต่ต้นโดยใช้เวลาอบแห้งข้าวเปลือกทั้งสิ้น 21 ชั่วโมง ตามรูปที่ 3

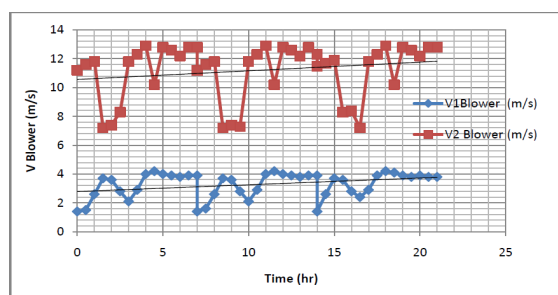


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ความชื้นกับเวลาอบแห้ง

ค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 28 เปอร์เซ็นต์ (wb) ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ 14.0 เปอร์เซ็นต์ (wb) อุณหภูมิทำงานของเครื่องที่ 60 องศาเซลเซียส ไม่มีการพักเครื่อง พบว่าความเร็วของพัดลมที่ชุด V_1 ความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 4.2 เมตร/วินาที และความเร็วต่ำสุดอยู่ที่ 1.4 เมตร/วินาที เนื่องจากบริเวณพัดลม V_1 จะระบายความร้อนสะสมห้องหัวเผาเมื่อมีความร้อนแฝงสะสมที่ความเร็วลม 4.2 เมตร/

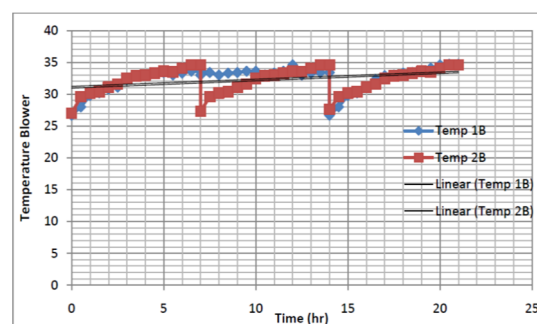
ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2564

วินาที และรักษาอุณหภูมิหัวเผาไม่ให้สูงที่ความเร็วลม 1.4 เมตร/วินาที ส่วนความเร็วของพัดลมที่ชุด V_2 ความเร็วลมสูงสุด 12.9 เมตร/วินาที และความเร็วลมต่ำสุด 7.2 เมตร/วินาที เนื่องจากบริเวณพัดลม V_2 จะเป็นที่เก็บข้าวเปลือกที่มีความร้อนสะสมค่อนข้างสูง (Tempering Tank) จะต้องระบายลมร้อนและเมล็ดข้าวเปลือกสับออกจากระบบเวลาอบแห้งทั้งสิ้น 21 ชั่วโมงตามรูปที่ 4



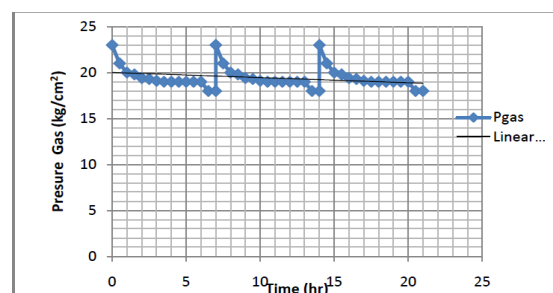
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ความเร็วพัดลมกับเวลา

ค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 28 เปอร์เซ็นต์(wb) ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการลดให้เหลือประมาณ 14.0 เปอร์เซ็นต์(wb) อุณหภูมิทำงานที่ 60 องศาเซลเซียส ไม่มีการพักเครื่อง พบว่าความอุณหภูมิความร้อนที่ชุด T_{1B} อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 34.7 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 4.2 เมตร/วินาที และอุณหภูมิลมร้อนต่ำสุดอยู่ที่ 26.7 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.4 เมตร/วินาที เนื่องจากบริเวณเป็นห้องหัวเผาที่มีความร้อนแฝงสะสมอุณหภูมิค่อนข้างต่ำอีกทั้งชุดพัดลมระบายลมร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 16 นิ้ว ทำให้การรักษาอุณหภูมิของระบบอบแห้งค่อนข้างเสถียรมากขึ้นและอุณหภูมิลมร้อนที่ชุด T_{2B} อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียสที่ความเร็วลม 12.9 เมตร/วินาที และอุณหภูมิลมร้อนต่ำสุดอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 7.2 เมตร/วินาที โดยชุดพัดลมระบายลมร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว จะมีความร้อนที่มีการสะสมค่อนข้างสูงในห้อง (Tempering Tank) ความเร็วลมจะต้องระบายลมร้อนและเมล็ดข้าวเปลือกสับออกจากระบบเวลาที่ใช้ทั้งสิ้น 21 ชั่วโมงตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์อุณหภูมิความร้อนกับเวลา

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแก๊สกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยมีค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 28 เปอร์เซ็นต์ (wb) ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการลดให้เหลือประมาณ 14.0 เปอร์เซ็นต์(wb) อุณหภูมิทำงานที่ 60 องศาเซลเซียส เวลาการเปลี่ยนถังแก๊สทำทุก 7 ชั่วโมงจะมีการเปลี่ยนถังแก๊สเพื่อรักษาแรงดันแก๊สในระบบการเผาไหม้ของหัวเผาเพราะแรงดันแก๊สมีผลต่อเปลวไฟและค่าความร้อนที่หัวเผาผลิตออกมาในระบบอบแห้ง โดยควบคุมแรงดันแก๊สสูงสุดอยู่ที่ 23 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแรงดันแก๊สต่ำอยู่ที่ 18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแก๊สกับเวลา

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาค่าความหอม (2AP) ก่อนและหลังผ่านเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ข้าวกล้องหอมปทุม	Before Drying ($\mu\text{g/g}$)	After Drying ($\mu\text{g/g}$)
ตัวอย่างที่ 1	1.463	1.580
ตัวอย่างที่ 2	1.465	1.550
ตัวอย่างที่ 3	1.464	1.560

6. สรุป

ขนาดของความจุของถังพักความร้อน (Tempering Tank) เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกขนาด 1.5 ตันต่อรอบการลดความชื้น 1 รอบ ข้าวเปลือกที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งความชื้นที่ได้มาจากการถนอมข้าวจะมีค่าความชื้นอยู่ประมาณที่ 24-28 เปอร์เซ็นต์(wb) มีค่าความหอม (2AP) วัดได้สูงสุด 1.465 ไมโครกรัมต่อกรัม ในรอบการทดสอบจะใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้ม (LPG) ขนาดความจุ 15 กิโลกรัมรอบการลดความชื้น 1 รอบ ต้นกำลังพลังงานความร้อนจะใช้หัวเผา (Burner Gas) โดยมีการควบคุมอุณหภูมิทำงานของหัวเผาไม่ให้เกินจากค่าที่กำหนดอยู่ที่ค่าความร้อนของลมร้อนอุณหภูมิที่ทำงาน 60 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกก่อนเข้าเครื่องอบแห้งและหลังผ่านการอบแห้งและผ่านการกะเทาะเป็นข้าวกล้องจำนวน 1 กิโลกรัม จำนวน 3 ตัวอย่าง ตามตารางที่ 2 โดยเครื่องอบแห้งนี้จะเป็นระบบการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติโดยการป้อนคำสั่งในโปรแกรมในการป้อนคำสั่งกำหนดอุณหภูมิทำงาน 60 องศาเซลเซียส กำหนดค่าสุดท้ายความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์ (wb) กำหนดคุณสมบัติของข้าวที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งเป็นข้าวเปลือก (Paddy) หลังจากนั้นก็ทำการกดปุ่มสตาร์ท (Drying) โดยเครื่องอบแห้งจะมีชุดลำเลียงกระพ้อดึงข้าวเปลือกขึ้นมาด้านบนเพื่อกระจายกระจายหมุนเวียนข้าวภายในถังความชื้น (Tempering Tank) โดยระบบของเครื่องอบแห้งจะมีการทำความสะอาดข้าวเปลือกสองครั้ง ซึ่งป้อนเข้าด้านล่างเครื่องอบแห้งจะมีระบบพัดลมดูดสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับข้าวเปลือกพ่นออกด้านหลังก่อนข้าวเปลือกจะเข้าสู่ระบบลำเลียงกระพ้อเพื่อส่งข้าวเปลือกเข้าถังพักความร้อน (Tempering Tank) โดยในช่วงนี้จะมีระบบลมเป่าเอาเมล็ดข้าวเปลือกที่ลืบทับปนมากับข้าวเปลือกให้ออกด้านหลัง ซึ่งการทำงานของระบบเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียนจะทำงานแบบหมุนเวียนเมล็ดข้าวเปลือกทุก 10 นาที ไปจนกระทั่งความชื้นของข้าวเปลือกเท่ากันทุกเมล็ดได้ตามที่ค่ากำหนดไว้ตอนต้นและโปรแกรมควบคุมการทำงานเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียนจะคำนวณเวลา

อบแห้งแบบอัตโนมัติ ตั้งแต่ค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นที่เข้าระบบจนกระทั่งค่าความชื้นข้าวเปลือกสุดท้าย โดยโปรแกรมจะคำนวณเวลาในการลดความชื้นทั้งระบบได้ 21 ชั่วโมงต่อรอบการทำงาน เมื่อได้ค่าความชื้นตามกำหนดในการป้อนค่าความชื้นครั้งแรกระบบเครื่องอบแห้งแบบหมุนเวียนจะหยุดทำงานเองแบบอัตโนมัติ ค่าความชื้นอยู่ประมาณที่ 14 เปอร์เซ็นต์(wb) มีค่าความหอม (2AP) วัดได้สูงสุด 1.580 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งระบบเชื้อเพลิงจะใช้ก๊าซธรรมชาติ (LPG) อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง 1.43 กิโลกรัม/ชั่วโมง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. G. Buttery, L. C. Ling, B. O. Juliano and J. G. Turnbaugh, "Cooked Rice Aroma and 2-Acetyl-1-pyrroline", *J. Agric. Food Chem.*, vol.31, no.4, pp. 823-826, 1983.
- [2] T. Yoshihashi, T. H. Nguyen and N. Kabaru, "Area dependency of 2-acetyl-1-pyrroline content in an aromatic rice variety Khao Dawk Mali 105", *Agricultural Sciences (IIRCAS)*, vol. 38, no.2, pp. 105-109, 2004.
- [3] S. Mahatheeranont, S. Promdang and A. Chiampiriyakul, "Volatile Aroma Compounds of Khao Dawk Mali 105", *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, vol. 29, pp. 508-514, 1995.
- [4] S. Mahatheeranont, S. Keawsaard and K. Dumri, "Quantification of the rice aroma compound 2-acetyl-1-pyrroline in uncooked Khao Dawk Mali 105 brown rice",

- J. Agric. Food Chem.*, vol. 49, pp. 773-779, 2001.
- [5] S. Thanasookprasert, T. Swasdisevi, S. Devahastin and S. Soponronnarit, “Dehydration of Unhusked Rice by using Impinging Stream Dryer”, *Journal of Science and Technology*, vol.1, pp. 2, 2012.
- [6] A. Taweerattanapanish, “Operating condition of fluidized bed dryer for increasing paddy quality”, M. Eng. dissertation, Dept. Mech. Eng., Kmutt Univ., Thonburi, Thailand, 1997.
- [7] T. Itani, M. Tamaki, Y. Hayata, T. Fushimi and K. Hashizume, “ Variation of 2-Acetyl-1-Pyrroline Concentration in Aromatic Rice Grains Collected in the Same Region in Japan and Factors Affecting Its Concentration”, *Plant Prod. Sci.*, vol.7, no.2, pp. 178-183, 2004.
- [8] M. D. Pearce B, P. Marks J and F. Meullenet, “ Effects of Postharvest Parameters on Functional Changes During Rough Rice Storage”, *Cereal chemistry*, vol.78, pp. 354-357, 2001.
- [9] B. G. Lyon, E. T. Champagne, B. T. Vinyard and W.R. Windham, “ Effects of Degree of Milling, Drying Condition and Final Moisture Content on Sensory Texture of Cooked Rice”, *Cereal chemistry*, vol.76, pp. 56-62, 1999.
- [10] S. Wongpornchai, K. Dumri, S. Jongkaew-wattana and B. Siri, “ Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105”, *Food Chemistry*, vol. 87, pp. 407-414, 2004.
- [11] N. Sunthonvit, G. Srzednicki and J. Craske, “Effects of High-Temperature Drying on the Flavor Components in Thai Fragrant Rice”, *Drying Technology*, vol.23, no.7, pp. 1407-1418, 2005.
- [12] K. Sungareeyakul, “Evaluation of Status of Paddy Dryers in Thailand” , M. eng. dissertation, Dept. Eng. , Kmutt Univ. , Thonburi, Thailand, 2001.
- [13] W. Rordprapat, S. Soponronnarit and M. Wangji, “ Paddy Drying Systems in Rice Mills”, *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, vol.33, pp. 126 –133, 1999.
- [14] S. Soponronnarit, “ Drying of grains” in *Energy Management Technology*, King Mongkuts University of Technology, Graduate School, 1997, pp. 144-163.
- [15] W. Kwaku Kalla, “Design Development and Evaluation of a Continuous- Flow Mixing Grain Dryer” , BSC. dissertation, Dept. Agr. Eng., Kwame Nkrumah Univ., Zambias, 2011.