วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม – สิงหาคม 2567
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 2 No. 4 July – August 2024

บทความวิจัย (Research Article)

ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน

วีรชัย แผ่นอุไร[1], ธีทัต ดลวิชัย[2*]และ โศรฎา แข็งการ[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: prapun@g.sut.ac.th โทรศัพท์: 086-5848744
(รับบทความ: 26 มิถุนายน 2567; แก้ไขบทความ: 26 กรกฎาคม 2567; ตอบรับบทความ: 7 สิงหาคม 2567)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ โดยนำข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 30 – 35 มาอบแห้งด้วยลมร้อนในถังทรงกระบอกหมุน จนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายข้าวเปลือกหลังอบแห้งไม่เกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนักมาตรฐานแห้ง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้ง 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ส่งผลต่อจลพลศาสตร์ของการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะข้าวเปลือก ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น ความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกจะลดลงเป็นเส้นโค้งแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล โดยความชันของเส้นโค้งที่อุณหภูมิอบแห้งสูงมีความชันมากกว่าที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำกว่า ทำให้การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ หากพิจารณาความชื้นสุดท้ายเดียวกัน ส่วนผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะพบว่า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.296 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 11.90 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส หากนำผลการศึกษานี้ไปสร้างระบบควบคุมเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก จะทำให้ได้ข้าวเปลือกมีคุณภาพตามที่ต้องการและใช้พลังงานในการอบที่เหมาะสม

คำสำคัญ: การอบแห้ง ข้าวเปลือก อัตราส่วนความชื้น ถังทรงกระบอกหมุน

การอ้างอิงบทความ: วีรชัย แผ่นอุไร, ธีทัต ดลวิชัย และ ศรฎา แข็งการ, "ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน," *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 4, หน้า 1-11, 2567.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม – สิงหาคม 2567
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 2 No. 4 July – August 2024

บทความวิจัย (Research Article)

Effect of Drying Temperature on Paddy Drying by Rotary Drier

Veerachai Panurai[1], Teetut Dolwichai[2*] and Sorada Khaengkarn[2]

[1] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Northeastern University
[2] School of Mechanical Engineering, Engineering Institute, Suranaree University of Technology

* Corresponding Author: prapun@g.sut.ac.th, Tel: 086-5848744
(Received: June 26, 2024; Revised: July 26, 2024; Accepted: August 7, 2024)

Abstract

The objective of this research is to study the effect of drying temperature on drying paddy at low temperatures. White jasmine KDML105 paddy at an initial humidity of 30 – 35 % is dried by hot air in a rotating cylindrical tank until the final moisture content of the paddy after drying does not more than 15% (d.b.). The experiment examined the effects of three drying temperatures (40, 50 and 60 °C) that affect drying kinetics, drying rate, and paddy-specific energy consumption. The study found that when the drying temperature increased, the moisture and moisture ratio of paddy grains are reduced to an exponential function curve. The slope of the curve at high drying temperatures is steeper than at lower drying temperatures. As a result, high-temperature drying takes less drying time than low-temperature drying. If the same final humidity is considered, the effect of drying temperature on drying rate and specific energy consumption was found to have maximum values of 0.296 kg/h and 11.90 MJ/kg, respectively, at a drying temperature of 60 °C. If the results of this study are used to develop a control system for paddy drying machine, it will ensure that the paddy meets the desired quality and that the energy used in the drying process is appropriate.

Keywords: Drying, Paddy, Moisture ratio, Rotary dryer

Please cite this article as: V. Panurai, T. Dolwichai and S. Khaengkarn, Effect of Drying Temperature on Paddy Drying by Rotary Drier," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 2, no. 4, pp. 1-11, 2024.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ประเทศไทยเพาะปลูกข้าวสำหรับบริโภคภายในประเทศและส่งออกเป็นสินค้าทางการเกษตรไปต่างประเทศในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น ข้อมูลโดยกองนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปีเพาะปลูก 2564 พบว่า ประเทศไทยมีผลผลิตข้าวรวม 31.43 ล้านตัน และยอดการส่งออกข้าวรวมกว่า 81.7 พันล้านบาทแม้ว่าการเพิ่มผลผลิตข้าวจะเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศแต่การควบคุมความชื้นข้าวหลังเก็บเกี่ยวของข้าวก็มีส่วนสำคัญมากเช่นกัน เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาพันธุ์ข้าวและมูลค่าในการขายผลผลิต ดังนั้นเกษตรกรจึงจำเป็นต้องลดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกให้แห้งทันทีหลังการเก็บเกี่ยว โดยเกษตรกรทั่วไปมักจะนำข้าวมาตากแดดบนลานตากเพื่อลดความชื้นโดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดแต่วิธีนี้มีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น สภาพภูมิอากาศ ระยะเวลาแรงงาน และขนาดพื้นที่ใช้ตากจำนวนมาก อีกทั้งยังมีการปนเปื้อนและมีความเสียหายจากสัตว์และแมลงศัตรูในปริมาณสูงด้วยเหตุนี้จึงมีการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งเพื่อนำมาช่วยลดความชื้นของข้าวเปลือก โดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อนำความชื้นออกโดยการระเหยน้ำภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยวิธีการนี้สามารถควบคุมความชื้นได้ตามระดับที่ต้องการได้

ปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งข้าวเปลือกถูกพัฒนาและนำมาใช้งานทั้งเชิงเกษตรกรรมและเชิงพาณิชย์นั้นมีหลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดร่วม ทรงพล วิจารณ์จักร และคณะ [1] ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมลมร้อนปล่อยทิ้งในกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกในการลดความชื้นข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และคุณภาพของข้าว พบว่าสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งและเปอร์เซ็นต์การแตกหักได้ 90.15 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้น 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง การอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด สุรพงษ์ โซ่ทอง และไกรสร รวยป้อม [2] ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อคุณภาพข้าวในการอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอกที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสและ 170 องศาเซลเซียส ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การร้าวและความแข็งของข้าวกล้องงอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้น

การอบแห้งแบบหมุนเวียน สมพจน์ คำแก้ว [3] ศึกษากลิ่นหอมของข้าวหอมปทุมที่มีผลต่ออุณหภูมิสูงในการอบแห้งแบบหมุนเวียน ขนาด 1.5 ตันต่อรอบ การลดความชื้น ค่าความร้อนของลมร้อนอุณหภูมิทำงานที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่าแต่ละการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าการระเหยของสาร 2AP เมื่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ความชื้นข้าวลดลง ดังนั้นก่อนการอบแห้งข้าวหอมปทุมจะทำการวิเคราะห์ค่า 2AP เท่ากับ 1.465 ไมโครกรัมต่อกรัม และหลังจากผ่านการอบแห้งแบบหมุนเวียนจะมีค่า 2AP เท่ากับ 1.580 ไมโครกรัมต่อกรัม โดยระบบเชื้อเพลิงจะใช้ก๊าซธรรมชาติ (LPG) อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง 1.43 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และการอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน Adeodu และคณะ [4] ศึกษาเพื่อหาความชื้นของผลผลิตทางการเกษตร โดยออกแบบเครื่องอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งแบบอัตโนมัติ โดยควบคุมอุณหภูมิอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยชุดโมดูลควบคุมอุณหภูมิ วัสดุที่ใช้ในการออกแบบจะเลือกใช้โดยคำนึงถึง ความแข็งแรง หาได้ง่าย และประหยัด พบว่าเครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นข้าวและมันเทศ จากระดับความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 85 และ 75 ถึงร้อยละ 10 และ 7 ของความชื้นสุดท้ายตามลำดับ ที่อัตราการอบแห้ง 1.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยกำหนดอุณหภูมิอากาศอบแห้งมันเทศที่ 135

องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศอบแห้งข้าวที่ 120 องศาเซลเซียส

เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน มีลักษณะเด่นหลายด้าน เช่น โครงสร้างไม่ซับซ้อน ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง และผลผลิตหลังการอบแห้งมีความชื้นค่อนข้างสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการกระจายลมร้อนสัมผัสกับผลิตผลได้อย่างทั่วถึง ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ประหยัดพลังงาน และค่าดำเนินงานโดยรวมไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับอายุการใช้งาน

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งข้าวเปลือก ที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ เนื่องจาก สุรพงษ์ โซ่ทอง และ ไกรสร รวยป้อม [2] ศึกษาพบว่า เปอร์เซ็นต์การร้าวของข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้น และ ศราวุธ รัตนวงษ์ และคณะ [7] ศึกษาพบว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 80 องศาเซลเซียสขึ้นไป เมื่อนำไปผ่านกระบวนการสีข้าวจะได้ผลผลิตที่มีการแตกร้าวค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแกนกลางและผิวของเมล็ดข้าวเปลือกที่สูงเกินไป เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับเกษตรกรภาคครัวเรือนให้สามารถนำไปใช้งานได้ โดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก และระบบควบคุมอุณหภูมิอบแห้งที่ราคาไม่สูงมากนัก ผู้วิจัยต้องการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งข้าวเปลือกพันธ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยพิจารณาถึง จลพลศาสตร์ของการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะข้าวเปลือก เพื่อใช้ต่อยอดงานวิจัยด้วยการนำอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งไปสร้างระบบควบคุมเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้ง ในการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำโดยอบแห้งด้วยลมร้อนในถังทรงกระบอกหมุน

2.2 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้ง ที่ส่งผลต่อจลพลศาสตร์ของการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และ

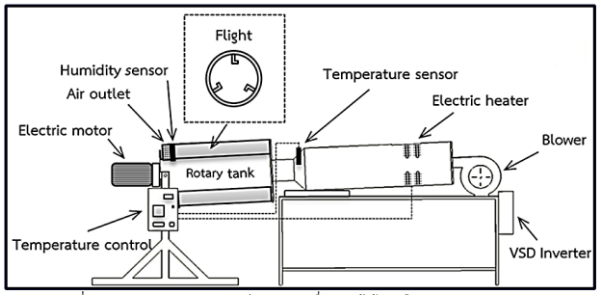
3. วัตถุดิบและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย คือ ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวที่มีคุณลักษณะเด่นสำคัญ คือ ทนแล้งและสภาพดินเปรี้ยวหรือดินเค็มได้ดี มีราคาขายสูง เมื่อนำมาหุงต้มจะได้ข้าวที่มีคุณภาพดี อ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอม จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั่วไปทำให้มีพื้นที่เพาะปลูกมากในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเงื่อนไขการวิจัยประกอบด้วย ความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือกไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนักมาตรฐานแห้ง และความชื้นสุดท้ายข้าวเปลือกหลังอบแห้งไม่เกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนักมาตรฐานแห้ง (พระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551, 2560) [6] อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทดลองมี 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลมร้อนคงที่ที่ 4.25 เมตรต่อวินาที (m/s) ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกขณะเริ่มอบที่มีความชื้นสูงโดนลมร้อนพาไปตามกระแสความเร็ว (ทรงพลวิจารณ์จักร และคณะ, 2560) [1] ความเร็วรอบและความลาดเอียงของถังทรงกระบอกหมุนคงที่ที่ 20 รอบต่อนาที และองศาจากแนวระดับ ตามลำดับโดยเมล็ดข้าวเปลือกจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนถังตามการหมุนของถังด้วยใบตักโปรย (flight) แล้วจึงตกลงมาที่ผิวด้านล่างของถังตามแรงโน้มถ่วงโลก ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกไม่รวมตัวกันและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างลมร้อนอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ซึ่งถือเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้น จนกระทั่งเมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้น

บทความวิจัย (Research Article)

ลดลงถึงระดับที่ต้องการ น้ำหนักข้าวเปลือกที่ใช้ในแต่ละการทดลองจำนวน 5 กิโลกรัม

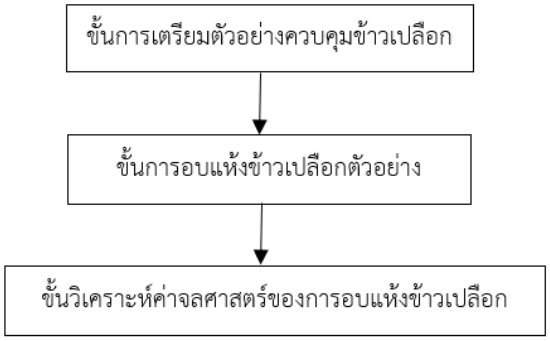
วัสดุอุปกรณ์การวิจัย ใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีส่วนประกอบหลักและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนี้ ถังทรงกระบอกหมุน (Rotary tank) เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 45 เซนติเมตรยาว 75 เซนติเมตร ทำการเจาะช่องระบายความชื้น (Moisture outlet) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าติดตะแกรงจำนวน 4 ช่อง ขนาดกว้าง 6 x 10 เซนติเมตร และภายในติดตั้งใบตักโปรย (Flight) จำนวน 3 ใบ รูปตัว L ขนาด 2 x 15 เซนติเมตร ขดลวดความร้อน (Electric heater) รุ่น HCH-12X150-28 ขนาด 800 วัตต์ จำนวน 1 ตัวและขนาด 500 วัตต์ จำนวน 2 ตัวมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric motor) ขนาด 250 วัตต์ ทำหน้าที่ขับเคลื่อนถังอบแห้งให้หมุนด้วยความเร็วรอบที่กำหนดตามเงื่อนไขการวิจัย เครื่องเป่าลม (Blower) ขนาด 250 วัตต์ ทำหน้าที่นำอากาศเข้าสู่ถังอบแห้งที่ควบคุมความเร็วรอบโดยใช้ VSD Inverter ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert ทำหน้าที่อบข้าวเปลือกเพื่อหาค่าความชื้นที่เวลาต่างๆ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิเป็นเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งมีชุดควบคุมอุณหภูมิแบบ PID เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ SUNFORD รุ่น FEH300 ค่าความละเอียด 0.01 กรัม และอุปกรณ์วัดความเร็วลม (Anemometer) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบหลักและอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบถังทรงกระบอกหมุน

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยภาพรวมทั้งหมดในรูปที่ 2 เริ่มต้นจาก ขั้นการเตรียมตัวอย่างควบคุมข้าวเปลือก ตามด้วยขั้นตอนการอบแห้งข้าวเปลือกตัวอย่างด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน และขั้นตอนสุดท้ายคือการวิเคราะห์ค่าจลศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือก



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยภาพรวม

โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

4.1 การเตรียมตัวอย่าง

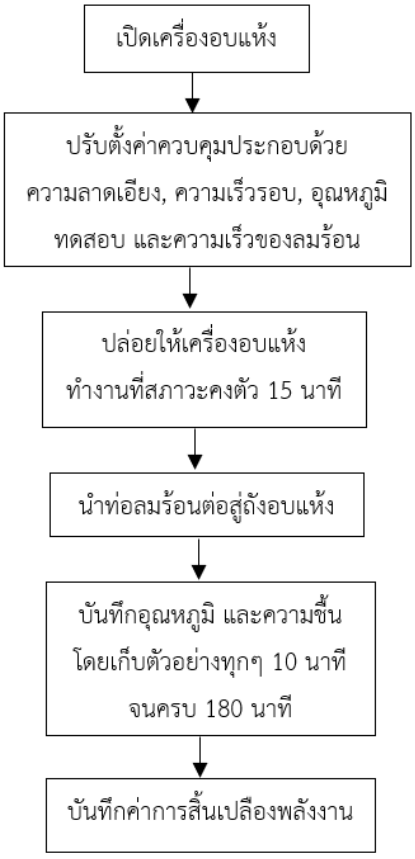
การเตรียมตัวอย่างควบคุมข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยทำการคัดแยกเมล็ดเต็มออกจากสิ่งเจือปนอื่นๆ แล้วจึงเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกส่วนหนึ่งประมาณ 20-30 กรัมบรรจุใส่ถุงพลาสติกปิดสนิทเพื่อนำไปหาความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกก่อนอบแห้ง จากนั้นนำข้าวเปลือกไปชั่งน้ำหนักก่อนนำเข้าถังอบแห้งตามปริมาณที่กำหนดไว้ในเงื่อนไขการวิจัย

4.2 การทดลองอบแห้ง

การทดลองอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน เริ่มต้นจากการเปิดเครื่องอบแห้ง ปรับตั้งความลาดเอียง ความเร็วรอบของถังอบแห้ง อุณหภูมิ และความเร็วของลมร้อน

บทความวิจัย (Research Article)

ตามเงื่อนไขการทดลองที่กำหนด จากนั้น ปล่อยให้เครื่องอบแห้งทำงานในสภาวะคงที่ประมาณ 15 นาที จึงนำข้าวเปลือกใส่ลงในถังอบแห้ง พร้อมทั้งปรับระดับข้าวเปลือกให้เสมอกัน เริ่มทำการทดลองโดยการนำท่อลมร้อนต่อเข้าสู่ถังอบแห้งพร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิ และความชื้นอากาศเข้า-ออกถังอบแห้ง โดยระหว่างการอบแห้งจะเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกจากช่องเก็บตัวอย่างบรรจุลงในถุงพลาสติกปิดสนิททุก 10 นาที จนครบ 180 นาที เพื่อนำไปหามวลความชื้นที่ออกจากเมล็ดข้าวเปลือกที่เวลาต่างๆ พร้อมทั้งบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งตลอดการทดลองด้วยมาตรวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour meter) เพื่อหาความสิ้นเปลืองพลังงานรวม โดยการวัดค่าต้องเวลาสั้นที่สุดเพื่อลดการสูญเสียของลมร้อน



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบ

4.3 คำนวณค่าทางจลพลศาสตร์

การคำนวณค่าทางจลพลศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือก โดยนำตัวอย่างข้าวเปลือกทั้งหมดหลังการอบแห้งพักไว้ในอุณหภูมิปกติ ประมาณ 6 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิลดลง เพื่อคลายความเครียดที่ผิวและเกิดการกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอตลอดเมล็ดข้าว ก่อนนำไปวัดความชื้นสุดท้าย โดยการนำเข้าตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้นของข้าวเปลือกตัวอย่างนั้นๆ ซึ่งมีความถูกต้องและสามารถใช้อ้างอิงได้ตามมาตรฐาน AOAC [7]

หลังจากนั้น ทดลองในลักษณะเดียวกันตามข้อ 4.1 - 4.3 ตามลำดับ ทั้งการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จนครบเงื่อนไขการวิจัย โดยทำการทดลองในแต่ละเงื่อนไขซ้ำ 3 ครั้ง ในสภาพภูมิอากาศและช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน เพื่อให้เกิดความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ ข้อมูลที่ปรากฏจึงแสดงอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ย (Mean)

5. การวิเคราะห์ผลการวิจัย

ใช้ข้อมูลผลการทดลองเพื่อหาค่า ดังนี้ ความชื้นในวัสดุ (Moisture Content) อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio) อัตราการอบแห้ง (Drying Rate) และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ซึ่งนิยามและสมการการคำนวณค่าของตัวแปรทั้งสี่ แสดงดังสมการที่ (1) ถึงสมการที่ (4) ประกอบด้วย

5.1 ความชื้นในวัสดุ (Moisture Content)

คือ ดัชนีวัดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเทียบกับมวลของวัสดุความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis, M_w) นิยมใช้กันในเชิงพาณิชย์ และความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis, M_d) นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งเชิงทฤษฎี เนื่องจากมวลของวัสดุแห้งจะมี

ค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ทำให้การคำนวณสะดวกมากขึ้น (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2537) [8] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้ความชื้นมาตรฐานแห้งในการวิเคราะห์ โดยความชื้นมาตรฐานแห้งคำนวณจากสมการที่ (1)

$$\text{ความชื้นมาตรฐานแห้ง}\,(\%\ \text{d.b.}) = \frac{(w-d)}{d}\times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ w คือ มวลข้าวเปลือกที่เวลาใดๆ (กิโลกรัม)
และ d คือ มวลข้าวเปลือกแห้ง (กิโลกรัม)

5.2 อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio)

คือ ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ภายในวัสดุ ที่กำลังอบแห้งเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดที่อยู่ภายในวัสดุ ซึ่งสามารถระเหยได้ภายใต้ สภาวะการอบแห้งหนึ่งๆ [9] ซึ่งสามารถคำนวณ จากสมการที่ (2)

$$\text{อัตราส่วนความชื้น} = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_0 - M_{eq})} \quad (2)$$

สำหรับงานวิจัยนี้ การคำนวณค่าอัตราส่วนความชื้นจะคำนวณเป็นค่าโดยประมาณ โดยตั้งสมมุติฐานว่า ความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นเริ่มต้น และค่าความชื้นที่เวลาใดๆ ดังนั้น สมการที่ (2) จึงสามารถเขียนได้ใหม่ ดังสมการที่ (3)

$$\text{อัตราส่วนความชื้น} = \frac{(M_t)}{(M_0)} \quad (3)$$

เมื่อ M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (% d.b.)
M_0 คือ ความชื้นเริ่มต้น (% d.b.)
M_{eq} คือความชื้นสมดุล (% d.b.)

5.3 อัตราการอบแห้ง (Drying Rate)

คือ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ระเหยจากวัสดุระหว่างการอบแห้งต่อระยะเวลาที่วัสดุอยู่ในเครื่องอบแห้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ระเหยจากข้าวเปลือกระหว่างการอบแห้งสามารถหาได้จากความแตกต่างระหว่างมวลข้าวเปลือกเริ่มต้นกับมวลข้าวเปลือกสุดท้าย จึงสามารถเขียน ดังสมการที่ (4)

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{(w_i - w_f)}{\Delta t} \quad (4)$$

เมื่อ w_i คือ มวลข้าวเปลือกเริ่มต้น (กิโลกรัม),
w_f คือ มวลข้าวเปลือกสุดท้าย (กิโลกรัม) และ
Δt คือ ระยะเวลาอบแห้งรวม (นาที)

โดยพิจารณาความชื้นข้าวเปลือกตั้งแต่ความชื้นเริ่มต้น ไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนักมาตรฐานแห้งถึงความชื้นสุดท้ายน้อยกว่าร้อยละ 15 โดยน้ำหนักมาตรฐานแห้ง

5.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

คือ อัตราส่วนระหว่างค่าปริมาณพลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยจากข้าวเปลือกในการอบแห้ง [10] ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่ (5)

$$\text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ} = \frac{3.6\times E_p}{(w_i - w_f)} \quad (5)$$

เมื่อ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ มีหน่วยเป็นเมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg)

E_p คือ ปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ในการอบแห้ง มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมง (kW-h)

3.6 คือ ตัวเลขแปลงหน่วยของพลังงานไฟฟ้า

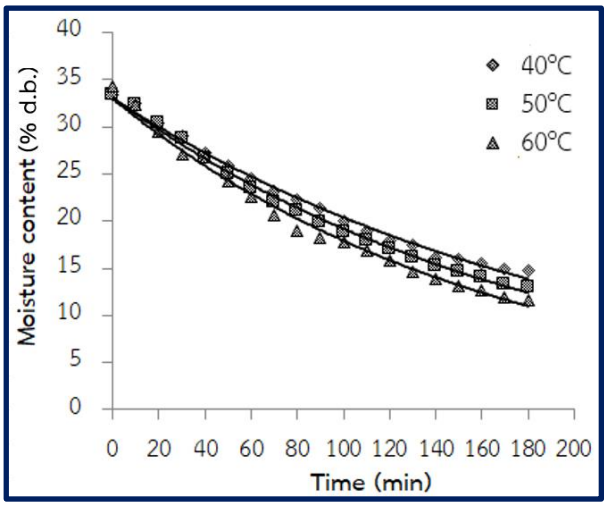
บทความวิจัย (Research Article)

6. ผลการวิจัย

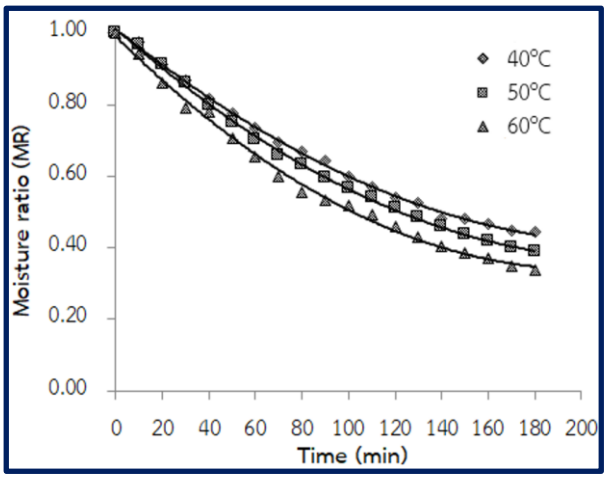
ผลการวิจัยแจกจากวิเคราะห์ผลตามหัวข้อดังต่อไปนี้

6.1 จลพลศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือก

วิเคราะห์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการอบแห้ง โดยนำข้อมูลการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามเงื่อนไขการวิจัยทั้งหมด จากผลการทดลอง พบว่ามวลความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีแนวโน้มลดลงเป็นเส้นโค้งแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล ดังรูปที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Agustami และคณะ (2021) [5] งานวิจัยของ Hathachai และคณะ (2019) [6] งานวิจัยของ ศราวุธ และคณะ (2565) [7] โดยในช่วงต้นของการทดลอง มวลความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วและจะค่อย ๆ ชะลอตัวลงในช่วงกลางและท้ายของการทดลองเนื่องจากการอบแห้งช่วงต้นเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกและลมร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเฉพาะที่ผิวนอกเมล็ดในรูปของเหลวเท่านั้น ทำให้ผลต่างอุณหภูมิมีค่าสูง จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดี และความชันความสัมพันธ์ของมวลความชื้นกับเวลาในการอบแห้งช่วงต้นการทดลองสูงกว่าช่วงกลางและท้ายของการทดลอง ต่อมาเมื่อระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้น การอบแห้งจะเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดจากภายในในรูปของไอน้ำมายังผิวนอกเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งช้ากว่าการพามวลความชื้นจากผิวไปยังลมร้อน ทำให้ความชื้นลดลงช้าลงกว่าช่วงต้นการทดลอง ต่อจากนั้นความชื้นยังคงลดลงต่อไปอย่างช้าๆ จนใกล้เคียงกับความชื้นสมดุลนอกจากนี้ผลการทดลองยังพบอีกว่า เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น มวลความชื้นจะลดลงมากกว่าการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำที่เวลาในการอบแห้งเท่ากัน หรืออีกนัยหนึ่งคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำที่ความชื้นสุดท้ายเท่ากัน เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกและลมร้อนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามผลต่างของอุณหภูมิทั้งสอง ทำให้อัตราส่วนความชื้นสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของมวลความชื้นกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

6.2 อัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เมื่อนำข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือกไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนักมาตรฐานแห้ง เข้าสู่กระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบถังทรงกระบอกหมุนที่อุณหภูมิอบแห้ง 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งข้าวเปลือกเหลือความชื้นสุดท้ายหลังอบแห้งไม่เกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนักมาตรฐานแห้ง จากข้อมูลผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าอัตราการอบแห้งซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการอบแห้ง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดปริมาณการระเหยตัวของน้ำภายในเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 0.296 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและต่ำสุดเท่ากับ 0.230 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 องศาเซลเซียส ส่วนการใช้พลังงานรวมในกระบวนการอบแห้งซึ่งจะพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นกันเนื่องจากการทดลองทั้งหมดที่จัดทำตามเงื่อนไขการวิจัย ผลต่างของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้ง ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อการใช้พลังงานรวมของเครื่องอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น ค่าความสิ้นเปลือง พลังงานจำเพาะที่คำนวณได้จึงมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 11.90 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และต่ำสุดเท่ากับ 10.24 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมพจน์ คำแก้ว [3]

ตารางที่ 1 แสดงอัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

อุณหภูมิอบแห้ง องศาเซลเซียส (°C)	ความชื้นในวัสดุสุดท้าย (% d.b.)	เวลาการอบแห้ง (นาที)	อัตราส่วนความชื้น (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ความสิ้นเปลืองพลังงานรวม (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
40	14.95	170	0.230	1.85	10.24
50	14.63	150	0.255	1.98	11.17
60	14.72	130	0.296	2.12	11.90

7. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแบบถังทรงกระบอกหมุน โดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลมร้อนคงที่ที่ 4.25 เมตรต่อวินาที (m/s) ความเร็วรอบและความลาดเอียงของถังทรงกระบอกหมุนคงที่ที่ 20 รอบต่อนาที และ 5 องศาจากแนวระดับตามลำดับ พบว่า เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น ความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกจะลดลงเป็นเส้นโค้งแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล โดยความชันของเส้นโค้งของอุณหภูมิอบแห้งสูงมีความชันมากกว่าของอุณหภูมิอบแห้งต่ำ ทำให้การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ หากพิจารณาความชื้นสุดท้ายเดียวกันส่วนผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะพบว่า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.296 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 11.90 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปดัดแปลงหรือประยุกต์กระบวนการอบแห้งได้กับ

ผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายเมล็ดข้าวเปลือกได้อีกด้วย เช่น ข้าวโพด เมล็ดทานตะวัน และพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรานารีสำหรับสนับสนุนทุน OROG และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและให้ความอนุเคราะห์สถานที่ที่ใช้ในการทำงานวิจัย เพื่อให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] ทรงพล วิจารณ์จักร, สุพรรณ ยั่งยืน และ จักรมาส เลาหวณิช, "การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมลมร้อนปล่อยทิ้งในกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก," *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, ปีที่ 48, ฉบับที่ 3, หน้า 51-54, 2560.

[2] สุรพงษ์ โซ่ทอง และไกรสร รวยป้อม, "การอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง," *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 3, หน้า 88-97, 2559.

[3] สมพจน์ คำแก้ว, "อุณหภูมิการอบแห้งแบบหมุนเวียนของข้าวเปลือกมีผลต่อสารหอม," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 3, หน้า 1-9, 2564.

[4] A. O. Adeodu, S. O. Akinola, and M. F. N. Abowei, "Theoretical model for predicting moisture ratio during drying of spherical particles in a rotary dryer," *Journal of Physics: Conference Series*, Association of Official Analytical Chemists (1995), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C., USA, 2019.

[5] A. Sitorus, Navrinaldi, S. A. Putra, I. S. Cebro, and R. Bulan, "Modelling drying kinetics of paddy in swirling fluidized bed drying," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 28, p. 101572, 2021.

[6] H. Netkham, S. Tirawanichakul, S. Chindaruksa, and Y. Tirawanichakul, "Mathematic model of germinated paddy drying," *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, Maejo University, pp. 49-52, 2019.

[7] ศราวุธ รัตนวงษ์, วีรชัย แผ่นอุไร, พงษ์พันธ์ พรมพิพักต์ และเกยูร ดวงอุปมา, "การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบ แบบถังทรงกระบอกหมุน," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 1, หน้า 125-142, 2565.

[8] พระราชบัญญัติ มาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551, (2560, 8 กันยายน), *ราชกิจจานุเบกษา*, เล่มที่ 134 ตอนพิเศษ 221 ง, หน้า 42, 2560.

[9] AOAC, *Official Methods of Analysis*, 14th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, 1995.

[10] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, "การอบแห้งอาหารและเมล็ดพืช," พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพมหานคร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537.

[11] ชุติมา วงษ์เสนา, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก และ สุเจนต์ พรมเหมือน, "ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหมากสดโดยใช้ตู้อบไฟฟ้าลมร้อน," รายงานการประชุม *การประชุมวิชาการ*

ระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปี 2562, มหาวิทยาลัยทักษิณ, หน้า 1339-1347.

[12] อนุสรา นาดี, ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล และ สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล, "จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและลมร้อน," *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2, หน้า 130-138, 2555.