ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ ปทุมธานี 1 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งโค้ง

Factors affecting drying of Pathum Thani 1 paddy using a pneumatic dryer with a curved drying pipe

เจษฎา แพรกนันเธอ[1]*, มณฑล ชูโชนาค[1], มุสตาฟา ยะภา[1], เอนก สุทธิฤทธ์[1]
Jetsada Phraeknanthoe[1]*, Monthon Chuchonak[1], Mustafa Yapa[1], Anek Sutthirit[1]

Received: 10 November 2021 ; **Revised**: 7 January 2021 ; **Accepted**: 7 February 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ ปทุมธานี 1 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งโค้ง เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของข้าวเปลือก, ความเร็วอากาศร้อน, และอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกพันธุ์ ปทุมธานี 1 ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นประมาณ 29 ถึง 30% (w.b.) โดยใช้เวลาอบแห้ง 60 min และทำการทดลองอบแห้งที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก 114, 167, และ 221 kg/h, ความเร็วอากาศร้อน 19 ถึง 21 m/s, และอุณหภูมิอบแห้ง 60 ถึง 130°C จากผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกลดลงตามอัตราการไหลของข้าวเปลือกและอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความเร็วอากาศร้อนให้ผลที่ยังไม่ชัดเจนถึงอิทธิพลที่มีต่อปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก สำหรับปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำสุดที่ได้จากการศึกษานี้ คือ 12% (w.b.) เกิดขึ้นที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก 221 kg/h, ความเร็วอากาศร้อน 19 m/s, และอุณหภูมิอบแห้ง 130°C

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ท่ออบแห้งโค้ง การอบแห้ง ข้าวเปลือก ปริมาณความชื้น

Abstract

This research is to study factors affecting drying of Pathum Thani 1 paddy using a pneumatic dryer with a curved drying pipe to investigate influences of flow rate of paddy, hot air velocity, and drying temperature on reducing moisture content of Pathum Thani 1 paddy with initial moisture content of around 29 to 30% (w.b.) using drying time of 60 min. The experimental conditions of drying are carried out at the paddy flow rates of 114, 167, and 221 kg/h, the hot air velocities from 19 to 21 m/s, and the drying temperatures from 60 to 130°C. The experimental results show that the final moisture content of paddy decreases as the flow rate of paddy and the drying temperature increase. However, it is found that the hot air velocity unclearly affects the final moisture content of paddy. The lowest final moisture content obtained in this study, 12% (w.b.), occurs at the paddy flow rate of 221 kg/h, the hot air velocity of 19 m/s, and the drying temperature of 130°C.

Keywords: Pneumatic Dryer, Curved Drying Pipe, Drying, Paddy, Moisture Content

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120
[1] Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep
Nanglinchi Road, Thungmahamek, Sathon, Bangkok, 10120
* Corresponding author e-mail: jetsada.p@mail.rmutk.ac.th

บทนำ

ปริมาณความชื้นในข้าวเปลือก (moisture content of paddy) เป็นตัวแปรที่สำคัญ ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของข้าวเปลือกและราคาขายในท้องตลาด โดยหากค่าความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเน่าเสียได้ง่าย หรือถ้าค่าความชื้นต่ำเกินไปอาจทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์ และอาจทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเกิดการแตกหักและการเสื่อมคุณค่าทางโภชนาการ โดยปกติค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ดีในขณะการเก็บเกี่ยวจะอยู่ระหว่าง 24 ถึง 30% (w.b.) แต่ช่วงความชื้นที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาควรอยู่ประมาณ 13 ถึง 15% (w.b.) (ฉัตรชัย นิมมล, 2555; Kaensup *et al*., 2006) ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่ยังสามารถป้องกันการแตกหักและการเสื่อมคุณค่าทางอาหารได้อีกด้วย ก่อให้เกิดการคิดค้นวิธีการลดความชื้นของข้าวเปลือกซึ่งมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายที่สุดคือการตากแดด ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยธรรมชาติทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและไม่ยุ่งยาก แต่มีข้อจำกัดในด้านแรงงานและต้องใช้พื้นที่ตากจำนวนมาก ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นข้าวเปลือกในปริมาณมาก และไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามเกษตรกรจำเป็นต้องมีการควบคุมความชื้นข้าวเปลือกให้อยู่ในระดับการเก็บรักษาก่อน เพื่อเพิ่มราคาขายของข้าวเปลือก จึงได้มีการประดิษฐ์เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก (artificial dryer) มาช่วยในการลดความชื้น เพราะสามารถอบแห้งข้าวเปลือกได้จำนวนมากและใช้เวลาน้อย นอกจากนั้นยังสามารถอบแห้งได้ทุกสภาพอากาศ และสามารถควบคุมความชื้นได้ตามระดับที่ต้องการมากกว่าการตากแดด

เครื่องอบแห้งที่สามารถใช้ในการลดความชื้นข้าวเปลือกมีหลายรูปแบบ ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed dryer), เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด (spouted bed dryer), หรือเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟ (microwave dryer) (Bhandari, 2015) เป็นต้น แต่ยังมีอีกหนึ่งหนึ่งที่ได้รับความสนใจคือเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (pneumatic dryer) เนื่องจากมีการพิจารณาว่าข้าวเปลือกเป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นอนุภาค (particulate material) โดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการลดความชื้นและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงไปพร้อมกับวัสดุที่ต้องการลดความชื้น (ฉัตรชัย นิมมล, 2555) สำหรับกระบวนการลดความชื้นวัสดุของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ จะเกิดขึ้นภายในท่ออบแห้ง (drying pipe) หรือหออบแห้ง (drying column) ซึ่งเป็นท่อตรงที่ติดตั้งในแนวตั้ง โดยมีนักวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ซึ่งสามารถแบ่งเป็น กลุ่มการศึกษาแบบจำลองการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมเพื่อศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่ออบแห้ง รวมถึงสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม (Bunyawanichakul *et al*., 2007; Kemp *et al*., 1991; Kemp, 1994; Tanaka *et al*., 2008) และกลุ่มที่ศึกษาการอบแห้งโดยสร้างเครื่องอบแห้งและทดลองอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นของข้าวเปลือก ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก, ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก, อุณหภูมิอบแห้ง, อัตราการป้อนข้าวเปลือก, และความเร็วอากาศร้อน (อากาศอบแห้ง) เป็นต้น รวมถึงการพัฒนาท่ออบแห้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง ซึ่งเป็นการสร้างเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งแนวตั้งที่มีความสูงอยู่ระหว่าง 4.5 ถึง 6 m (ฉัตรชัย นิมมล, 2555; Kaensup *et al*., 2006; Kaensup *et al*., 2006; Nimmol, 2020) เพื่อให้ข้าวเปลือกอยู่ในท่ออบแห้งนานเพียงพอต่อการลดความชื้นให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานการเก็บข้าวเปลือก โดยพบว่าวิธีการอบแห้งดังกล่าวนี้ต้องใช้พื้นที่ในแนวตั้งที่สูงและต้องมีโครงสร้างรองรับน้ำหนักของท่ออบแห้งแนวตั้งที่แข็งแรงเพียงพอ และไม่สามารถติดตั้งในอาคารที่มีขนาดความสูงปกติได้ ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่า หากเปลี่ยนท่ออบแห้งแนวตั้งมาเป็นท่ออบแห้งโค้งก็จะสามารถแก้ไขปัญหาพื้นที่ติดตั้งท่อในแนวตั้งได้ และสามารถเพิ่มความยาวของท่ออบแห้งได้อีกทาง นอกจากนั้นยังสามารถส่งผลให้ระบบการอบแห้งกลายเป็นระบบหมุนเวียนซ้ำ (recirculation system) เพราะข้าวเปลือกจะหมุนเวียนในเครื่องอบแห้งไปเรื่อยๆ โดยอากาศร้อนจะถูกระบายทิ้งสู่บรรยากาศผ่านไซโคลน ในขณะที่ข้าวเปลือกจะไหลวนเข้าเครื่องอบแห้งอีกครั้ง ซึ่งก่อให้เกิดความสามารถในการกำหนดเวลาอบแห้งได้ตามต้องการ และไม่ต้องคำนึงถึงความสูงของท่ออบแห้ง นอกจากนั้นยังสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้รวดเร็ว และใช้ต้นทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งที่ต่ำ (มณฑล ชูโชนาค และคณะ, 2557; วิทยา แก้วสวัสดิ์ และคณะ, 2557; สุพงษ์ชัย นาคสังข์ และคณะ, 2556; เอนก สุทธิฤทธ์ และคณะ, 2560)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของข้าวเปลือก, ความเร็วอากาศร้อน, และอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งโค้ง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก

ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก ประกอบไปด้วยปริมาณความชื้นชั้นนอกและชั้นในของเมล็ดข้าวเปลือก สำหรับหน่วยที่นิยมใช้บ่งบอกถึงปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก คือค่าร้อยละของปริมาณความชื้น (percentage of moisture content) ซึ่งหาได้โดยการนำเมล็ดข้าวเปลือกไปอบแห้งด้วยความร้อนจนกระทั่งเมล็ดแห้ง โดยมวลของเมล็ดที่หายไปก็คือปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก

การหาค่าร้อยละของปริมาณความชื้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 มาตรฐาน ได้แก่

1. มาตรฐานเปียก (wet basis) สามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$M_w = \frac{w-d}{w}\times 100\% \quad (1)$$

2. มาตรฐานแห้ง (dry basis) สามารถหาได้จากสมการที่ (2)

$$M_d = \frac{w-d}{d}\times 100\% \quad (2)$$

โดย M_w คือปริมาณความชื้น (มาตรฐานเปียก) (% w.b.), M_d คือปริมาณความชื้น (มาตรฐานแห้ง) (% d.b.), w คือมวลเปียก (kg), และ d คือมวลแห้ง (kg)

การถ่ายเทความร้อนและมวล

การอบแห้งข้าวเปลือกเกี่ยวข้องกับทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน 2 รูปแบบ ได้แก่ การพาความร้อน และการนำความร้อน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนของข้าวเปลือก เริ่มต้นจากการถ่ายเทความร้อนของอากาศร้อนที่ไหลผ่านผิวชั้นนอกของเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้ผิวชั้นนอกของข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลผ่าน โดยการถ่ายเทความร้อนนี้เรียกว่า การพาความร้อน (heat convection) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$q_{conv} = h_d A_s (T_d - T_s) \quad (3)$$

เมื่อ q_{conv} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน (W), h_d คือค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2-°C) ซึ่งแปรผันตามความเร็วอากาศร้อน V_a และอุณหภูมิอบแห้ง T_d , A_s คือพื้นที่ผิวชั้นนอกของเมล็ดข้าวเปลือกที่สัมผัสกับอากาศร้อน (m^2), T_d คืออุณหภูมิของอากาศร้อน (°C), และ T_s คืออุณหภูมิที่ผิวชั้นนอกของเมล็ดข้าวเปลือก (°C)

การพาความร้อนจะทำให้ผิวชั้นนอกของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงกว่าชั้นในของเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผิวชั้นนอกเข้าสู่ชั้นในของเมล็ดข้าวเปลือก โดยการถ่ายเทความร้อนนี้เรียกว่า การนำความร้อน (heat conduction) ดังแสดงในสมการที่ (4)

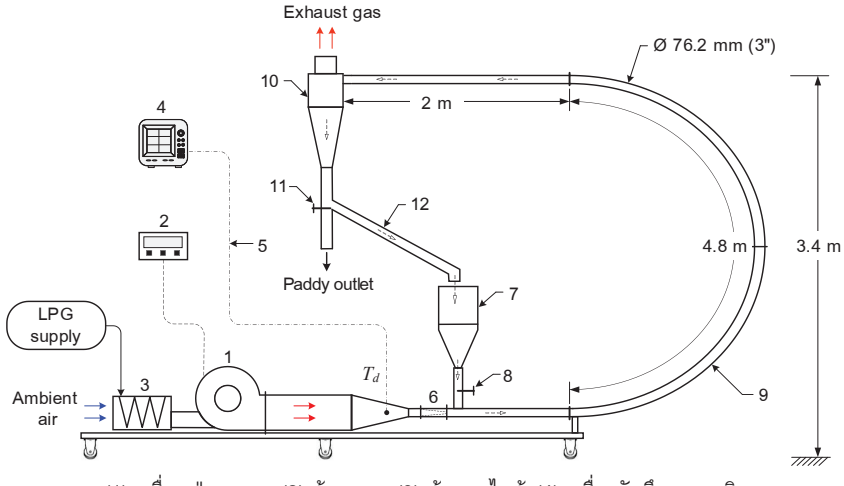
$$q_{cond} = -k_d A_{cond} \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

เมื่อ q_{cond} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน (W), k_d คือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนภายในเมล็ดข้าวเปลือก (W/m-°C) ซึ่งแปรผันตามปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก และอุณหภูมิอบแห้ง, A_{cond} คือพื้นที่การนำความร้อนภายในเมล็ดข้าวเปลือก (m^2), dT คือความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวชั้นนอกและชั้นในเมล็ดข้าวเปลือก (°C), และ dx คือระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนผ่าน (m)

การถ่ายเทมวล (mass transfer) ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้น (concentration difference) ของมวลนั้นๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่สูงกว่าจะเคลื่อนย้ายไปยังอากาศร้อนที่มีปริมาณความชื้นในอากาศต่ำกว่า ดังนั้น จากกฎของการอนุรักษ์มวล (mass conservation law) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Bunyawanichakul *et al.*, 2007) คือ

$$\dot{m}_p \frac{dM}{dL} = \dot{m}_f \frac{dW}{dL} \quad (5)$$

เมื่อ $\dot{m}_p$ และ $\dot{m}_f$ คืออัตราการไหลเชิงมวลต่อพื้นที่ของข้าวเปลือกและอากาศชื้น (mass flux for paddy and moist air) (kg/m^2-s) ตามลำดับ, M คือปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก (มาตรฐานแห้ง) (kg$_{water}$/kg$_{dry\ material}$), W คือความชื้นในอากาศ (kg$_{water}$/kg$_{dry\ air}$), และ L คือความยาวท่ออบแห้ง (m)



(1) เครื่องเป่าอากาศ, (2) ตู้ควบคุม, (3) ห้องเผาไหม้, (4) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ, (5) เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K, (6) หัวฉีด, (7) ถังป้อนข้าวเปลือก, (8) สไลด์วาล์ว, (9) ท่ออบแห้ง, (10) ไซโคลน, (11) วาล์วควบคุมทิศทาง, (12) ท่อลำเลียงข้าวเปลือก

Figure 1 Schematic diagram of a pneumatic dryer with a curved drying pipe

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งโค้งที่ใช้ในการทดลองนี้ แสดงดัง Figure 1 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ตามหมายเลขที่ได้ระบุไว้ ดังนี้ (1) เครื่องเป่าอากาศ (blower) ขนาด 1.1 kW ทำหน้าที่สร้างการไหลของอากาศเพื่อเป็นสารตัวกลางในการพาข้าวเปลือกให้เคลื่อนที่ในระบบอบแห้ง ซึ่งสามารถสร้างความเร็วของอากาศสูงสุดได้ 21 m/s, (2) ตู้ควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วอากาศในระบบอบแห้ง โดยความเร็วอากาศจะถูกวัดที่ตำแหน่งทางออกของท่ออบแห้งโดยใช้หัววัดความเร็วอากาศแบบใบพัด (vane probe) ที่มีช่วงการวัด 0 ถึง 40 m/s ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องวัดความเร็วอากาศ (Testo, 400, Germany), (3) ห้องเผาไหม้ (combustion chamber) ซึ่งติดตั้งเตาอินฟาเรด (infrared gas burner) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง ซึ่งสามารถสร้างอุณหภูมิอบแห้งสูงสุดได้ 150°C, (4) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (temperature data logger) (Yokogawa, MV2000, Japan) ใช้สำหรับบันทึกอุณหภูมิอบแห้งจากการทดลอง, (5) เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศร้อน) ที่ตำแหน่ง T_d เพื่อส่งข้อมูลที่ได้จากการวัดไปเก็บไว้ที่เครื่องบันทึกอุณหภูมิ, (6) หัวฉีด (nozzle) ทำหน้าที่เพิ่มความเร็วของอากาศร้อนให้กับระบบอบแห้ง, (7) ถังป้อนข้าวเปลือก (hopper) เป็นอุปกรณ์รูปทรงกรวยที่ใช้ในการป้อนข้าวเปลือกเข้าเครื่องอบแห้ง, (8) สไลด์วาล์ว (slide valve) ใช้สำหรับควบคุมปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเข้าสู่เครื่องอบแห้ง (ควบคุมอัตราการไหลของข้าวเปลือก), (9) ท่ออบแห้ง (drying pipe) ที่ทำมาจากท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76.2 mm (3 in) ประกอบด้วยท่อโค้ง (curved pipe) ยาว 4.8 m และท่อตรง (straight pipe) ยาว 2 m ซึ่งเป็นบริเวณสำหรับการถ่ายเทความร้อนและมวล (ความชื้น) ระหว่างข้าวเปลือกและอากาศร้อน, (10) ไซโคลน (cyclone) ทำหน้าที่แยกข้าวเปลือกออกจากอากาศร้อน และกรองฝุ่นที่เกิดขึ้นหลังการอบแห้ง, (11) วาล์วควบคุมทิศทาง ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลเวียนของข้าวเปลือกในระบบอบแห้ง, และ (12) ท่อลำเลียงข้าวเปลือก (paddy conveying pipe) ทำหน้าที่ลำเลียงข้าวเปลือกจากไซโคลนเข้าถังป้อนเพื่อทำการอบแห้งในระบบอย่างต่อเนื่องจนครบตามเงื่อนไขการอบแห้งที่กำหนด

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งโค้ง เริ่มต้นจากเปิดเครื่องเป่าอากาศเพื่อสร้างอัตราการไหลของอากาศให้กับระบบอบแห้ง และปรับความเร็วอากาศร้อนให้อยู่ในระดับที่ต้องการใช้อบแห้ง โดยเครื่องเป่าอากาศจะดูดอากาศ (ambient air) ให้ไหลผ่านเข้าไปยังห้องเผาไหม้ อากาศจะได้รับความร้อนจากเตาอินฟาเรดที่ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งก่อให้เกิดความร้อนและถ่ายเทให้กับอากาศ ส่งผลให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นและผ่านออกไปกลายเป็นอากาศร้อน (hot air) ที่มีอุณหภูมิสูงรอจนกระทั่งอากาศร้อนดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงค่าที่ต้องการ และเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) หลังจากนั้นเริ่มปล่อยข้าวเปลือกจากถังป้อนข้าวเปลือกเข้าเครื่องอบแห้ง โดยอากาศร้อนจะพาข้าวเปลือกเคลื่อนตัวไปในท่ออบแห้งตามลักษณะการอบแห้งแบบพาหะลม (pneumatic drying) ซึ่งความเร็วอากาศร้อนต้องมากกว่าความเร็วตกอิสระของข้าวเปลือก และความเร็วอากาศร้อนจะต้องสัมพันธ์กับความเร็วของข้าวเปลือก ซึ่งก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวล (ความชื้น) ตลอดช่วงความยาวของท่ออบแห้ง จนกระทั่งข้าวเปลือกถูกแยกออกจากอากาศร้อนที่ไซโคลน โดยอากาศร้อนจะถูกระบายทิ้งออกสู่บรรยากาศทางช่องด้านบนของไซโคลน ในขณะเดียวกันข้าวเปลือกจะตกลงสู่ด้านล่างผ่านวาล์วควบคุมทิศทาง ในกรณีที่อยู่ระหว่างทำการอบแห้ง ข้าวเปลือกจะถูกส่งไปยังถังป้อนข้าวเปลือกเพื่อเริ่มการอบแห้งซ้ำต่อไปจนครบตามกำหนดเวลาที่ต้องการอบแห้ง หลังจากนั้นปรับให้วาล์วควบคุมทิศทางเปลี่ยนทิศทางการไหลของข้าวเปลือกไปยังท่อทางออกของข้าวเปลือก (paddy outlet) และเก็บลงในถังเก็บต่อไป

การศึกษาทำโดยการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น (initial moisture content) ประมาณ 29 ถึง 30% (w.b.) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งโค้ง ซึ่งทำการอบแห้งที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก 114, 167, และ 221 kg/h, ความเร็วอากาศร้อน 19, 20, และ 21 m/s, และอุณหภูมิอบแห้ง 60, 80, 90, 110, และ 130°C ตามลำดับ โดยใช้เวลาการอบแห้งทั้งหมด 60 นาที สำหรับการอบแห้งเริ่มต้นโดยปรับตั้งเครื่องอบแห้งให้มีความเร็วอากาศร้อน และอุณหภูมิอบแห้ง เป็นไปตามเงื่อนไขการอบแห้งที่กำหนด โดยความเร็วอากาศร้อนวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วอากาศ และอุณหภูมิอบแห้งจะถูกบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิผ่านเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K และรอจนเข้าสู่สภาวะคงตัว หลังจากนั้นเริ่มปล่อยข้าวเปลือกจากถังป้อนข้าวเปลือกตามอัตราการไหลของข้าวเปลือกที่กำหนด เพื่อลำเลียงเข้าสู่เครื่องอบแห้ง โดยข้าวเปลือกบางส่วนจะถูกนำออกมาเพื่อวัดปริมาณความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช (EE-KU, เกษตร 60 ปี, ไทย) และทำการบันทึกผลทุก 5 นาที ซึ่งเริ่มตั้งแต่ 5 จนถึง 60 นาที ตามลำดับ ในที่นี้จะนำผลของปริมาณความชื้นสุดท้าย M_f (final moisture content) ของข้าวเปลือกหลังสิ้นสุดการอบแห้ง มาใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของข้าวเปลือก F_r (flow rate of paddy) ในระบบ, ความเร็วอากาศร้อน V_a (hot air velocity), และอุณหภูมิอบแห้ง T_d (drying temperature) ที่มีผลต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกพันธุ์ ปทุมธานี 1 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งโค้ง ดังจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ ปทุมธานี 1 โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งโค้ง ที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก 114, 167, และ 221 kg/h, ความเร็วอากาศร้อน 19, 20, และ 21 m/s, และอุณหภูมิอบแห้ง 60, 80, 90, 110, และ 130°C ตามลำดับ โดยนำผลที่ได้จากการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ ปทุมธานี 1 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของข้าวเปลือก, ความเร็วอากาศร้อน, และอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก ดังต่อไปนี้

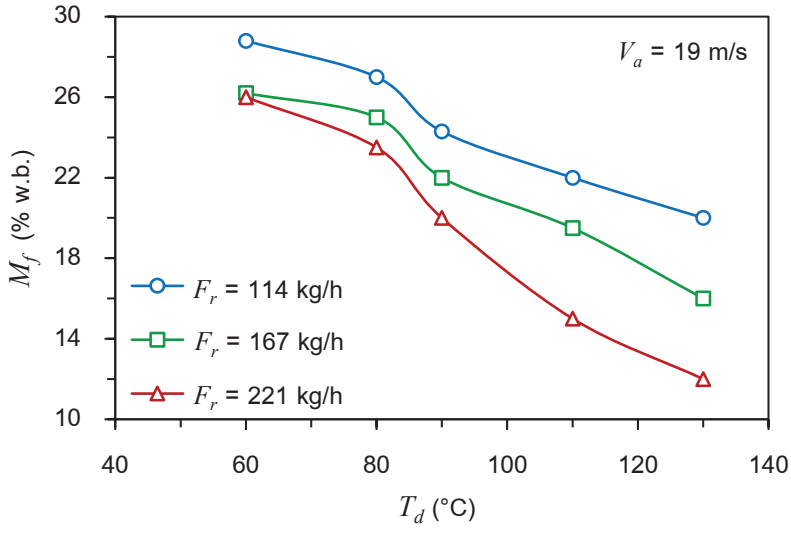


Figure 2 Relationship between the final moisture content and the drying temperature at V_a = 19 m/s for the different flow rates of 114, 167, and 221 kg/h

Figure 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสุดท้ายกับอุณหภูมิอบแห้งที่ V_a = 19 m/s ของอัตราการไหลของข้าวเปลือก 114, 167, และ 221 kg/h พบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้ง และที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C จะพบว่าอัตราการไหลของข้าวเปลือกที่สูงกว่า 167 kg/h ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก ต่อมาในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 60 ถึง 80°C พบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายลดลงค่อนข้างช้า หลังจากนั้นจะลดลงเร็วขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิอบแห้ง 130°C โดยอัตราการไหลของข้าวเปลือก 221 kg/h มีแนวโน้มการลดปริมาณความชื้นที่เร็วกว่าอัตราการไหลอื่นๆ อย่างชัดเจน นอกจากนั้นยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 60 ถึง 80°C ที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก 167 kg/h แทบไม่มีประโยชน์ แต่อย่างไรก็ตามที่ความเร็วอากาศร้อน 19 m/s พบว่าอัตราการไหลของข้าวเปลือก 221 kg/h และอุณหภูมิอบแห้ง 130°C สามารถอบแห้งข้าวเปลือกให้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดคือ 12% (w.b.)

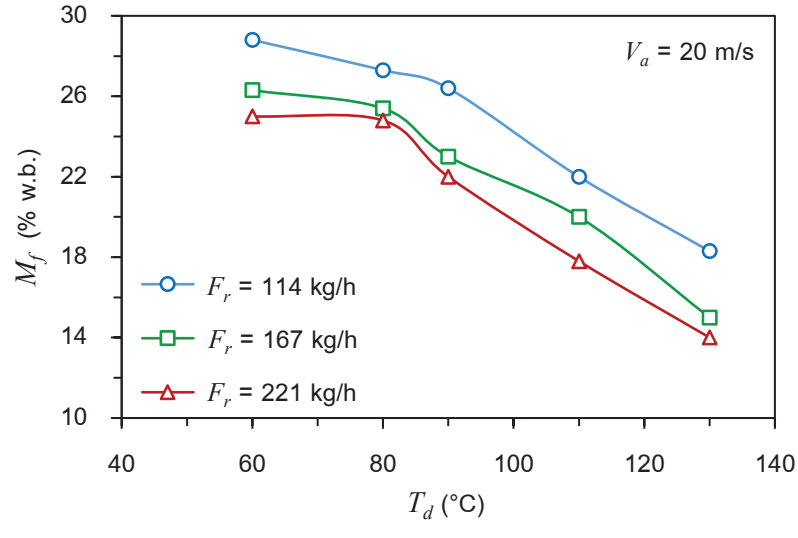


Figure 3 Relationship between the final moisture content and the drying temperature at V_a = 20 m/s for the different flow rates of 114, 167, and 221 kg/h

Figure 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสุดท้ายกับอุณหภูมิอบแห้งที่ V_a = 20 m/s ของอัตราการไหลของข้าวเปลือก 114, 167, และ 221 kg/h พบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกจะลดลงตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น และที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันยังพบว่าอัตราการไหลของข้าวเปลือกสูงกว่าจะมีปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 60 ถึง 80°C โดยรวมจะพบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายลดลงค่อนข้างช้า ต่อมาจะลดลงเร็วขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิอบแห้ง 130°C นอกจากนั้นผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 60 ถึง 80°C ที่อัตราการไหล 167 และ 221 kg/h แทบจะไม่มีประโยชน์ แต่อย่างไรก็ตามที่ความเร็วอากาศร้อน 20 m/s พบว่าอัตราการไหลของข้าวเปลือก 221 kg/h และอุณหภูมิอบแห้ง 130°C สามารถอบแห้งข้าวเปลือกให้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดคือ 14% (w.b.)

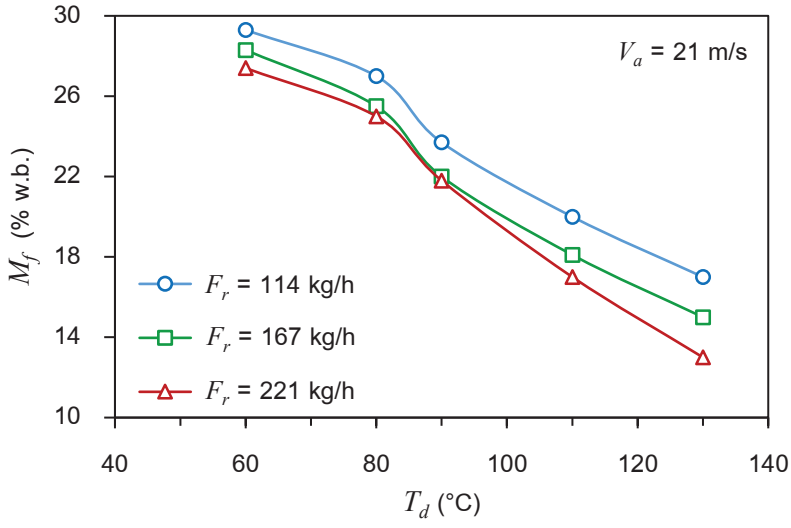


Figure 4 Relationship between the final moisture content and the drying temperature at V_a = 21 m/s for the different flow rates of 114, 167, and 221 kg/h

Figure 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสุดท้ายกับอุณหภูมิอบแห้งที่ V_a = 21 m/s ของอัตราการไหลของข้าวเปลือก 114, 167, และ 221 kg/h พบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกจะลดลงตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น และที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันยังพบว่าอัตราการไหลของข้าวเปลือกสูงกว่าจะมีปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต่ำกว่า โดยปริมาณความชื้นสุดท้ายของอัตราการไหลต่างๆ จะมีแนวโน้มสอดคล้องกัน แต่อย่างไรก็ตามในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 80 ถึง 90°C พบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายที่อัตราการไหล 167 และ 221 kg/h มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่า แนวโน้มปริมาณความชื้นในช่วงอุณหภูมิ 60 ถึง 80°C จะลดลงอย่างต่อเนื่อง และลดลงอย่างรวดเร็วขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 80 ถึง 90°C ต่อมาจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิอบแห้ง 130°C นอกจากนั้นผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราการไหลของข้าวเปลือกสูงกว่า 167 kg/h ในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 80 ถึง 90°C ไม่มีผลต่อการอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามที่ความเร็วอากาศร้อน 21 m/s พบว่าอัตราการไหลของข้าวเปลือก 221 kg/h และอุณหภูมิอบแห้ง 130°C สามารถอบแห้งข้าวเปลือกให้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดอยู่ที่ 13% (w.b.)

Figure 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสุดท้ายกับอุณหภูมิอบแห้งที่ F_r = 114 kg/h ของความเร็วอากาศร้อน 19, 20, และ 21 m/s พบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกลดลง โดยที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำกว่า 80°C พบว่ามีปริมาณความชื้นสุดท้ายใกล้เคียงกันทุกความเร็วอากาศร้อน แต่อย่างไรก็ตามที่ความเร็วอากาศร้อน 21 m/s ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าความเร็วอากาศร้อนอื่นๆ นอกจากนั้นผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วอากาศร้อนในช่วงอุณหภูมิ 60 ถึง 80°C ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นสุดท้าย แต่อย่างไรก็ตามที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก 114 kg/h พบว่าความเร็วอากาศร้อน 21 m/s และอุณหภูมิอบแห้ง 130°C สามารถอบแห้งข้าวเปลือกให้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดคือ 17% (w.b.)

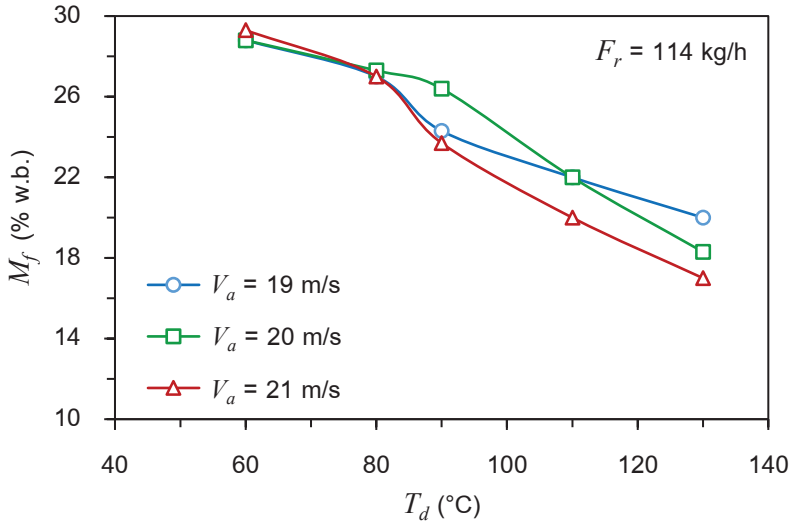


Figure 5 Relationship between the final moisture content and the drying temperature at F_r = 114 kg/h for the different hot air velocities of 19, 20, and 21 m/s

Figure 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสุดท้ายกับอุณหภูมิอบแห้งที่ F_r = 167 kg/h ของความเร็วอากาศร้อน 19, 20, และ 21 m/s พบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายลดลง และที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ พบว่าความเร็วอากาศร้อนให้ผลที่ยังไม่ชัดเจนถึงอิทธิพลที่มีต่อปริมาณความชื้นสุดท้าย ซึ่งความเร็วอากาศร้อน 21 m/s ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ก่อให้เกิดปริมาณความชื้นสุดท้ายที่สูงกว่าความเร็วอากาศร้อนอื่นอย่างชัดเจน และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วอากาศร้อนในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 60°C ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นสุดท้าย แต่อย่างไรก็ตามที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก 167 kg/h พบว่าความเร็วอากาศร้อน 20 m/s และอุณหภูมิอบแห้ง 130°C สามารถอบแห้งข้าวเปลือกให้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดคือ 15% (w.b.)

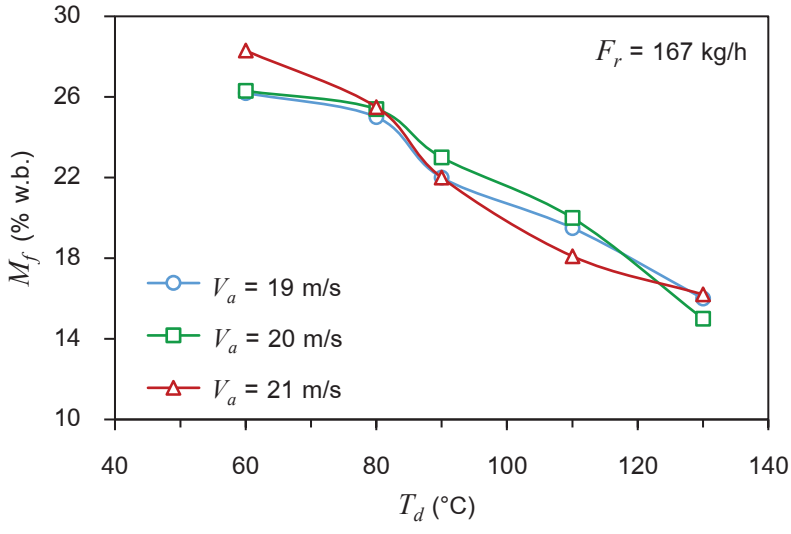


Figure 6 Relationship between the final moisture content and the drying temperature at F_r = 167 kg/h for the different hot air velocities of 19, 20, and 21 m/s

Figure 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสุดท้ายกับอุณหภูมิอบแห้งที่ F_r = 221 kg/h ของความเร็วอากาศร้อน 19, 20, และ 21 m/s พบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกลดลง และที่ความเร็วอากาศร้อน 20 m/s พบว่ามีปริมาณความชื้นสุดท้ายคงที่ในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 60 ถึง 80°C ในขณะที่ความเร็วอากาศร้อน 19 และ 21 m/s ให้แนวโน้มที่สอดคล้องกัน นอกจากนั้นในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 80 ถึง 130°C พบว่าความเร็วอากาศร้อน 20 และ 21 m/s มีปริมาณความชื้นที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งโดยรวมความเร็วอากาศร้อน 21 m/s ให้ผลที่ดีกว่า นอกจากนั้นจากผลการทดลองพบว่าความเร็วอากาศร้อน 19 m/s ก่อให้เกิดปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดอย่างชัดเจน และยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วอากาศร้อนเกิน 19 m/s ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นสุดท้าย แต่อย่างไรก็ตามที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก 221 kg/h พบว่าความเร็วอากาศร้อน 19 m/s และอุณหภูมิอบแห้ง 130°C สามารถอบแห้งข้าวเปลือกให้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดคือ 12% (w.b.)

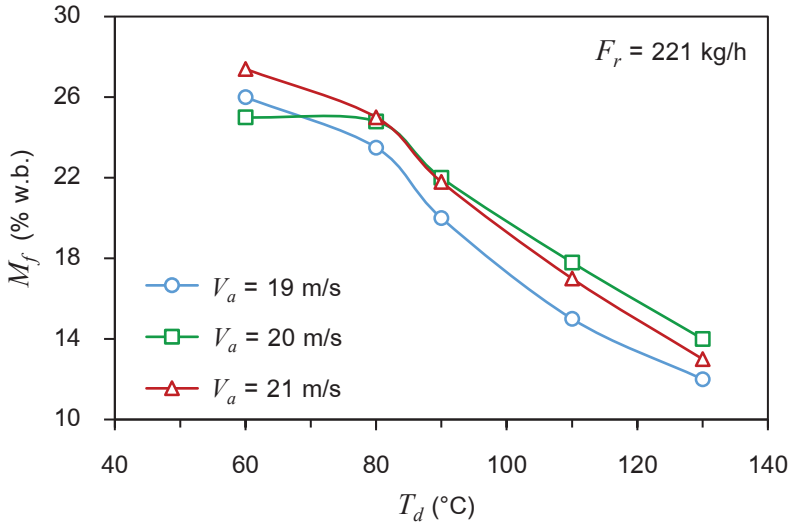


Figure 7 Relationship between the final moisture content and the drying temperature at F_r = 221 kg/h for the different hot air velocities of 19, 20, and 21 m/s

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก พบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกจะลดลงตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้ง ทำให้เกิดอุณหภูมิแตกต่าง (different temperature) ระหว่างอากาศร้อนกับข้าวเปลือกมากขึ้น เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิมาก ก็จะส่งผลให้เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวล (ความชื้น) ระหว่างอากาศร้อนกับผิวชั้นนอกของข้าวเปลือกได้รวดเร็วกว่าและมากกว่า เพราะว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีความสามารถในการดูดซับปริมาณความชื้นในอากาศได้มากกว่า ดังนั้นการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอบแห้งสูงกว่าก็จะสามารถดึงความชื้นออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้เร็วและมากกว่าการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaensup *et al.* (2006) และงานวิจัยของฉัตรชัย นิมมล (2555)

ต่อมาหากพิจารณาถึงอิทธิพลของอัตราการไหลของข้าวเปลือกที่มีต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก พบว่าอัตราการไหลของข้าวเปลือกต่ำจะทำให้ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นสุดท้ายที่สูงกว่า ถึงแม้ว่าอัตราการไหลต่ำจะทำให้ข้าวเปลือกกระจายตัวในกระแสอากาศได้ดี ซึ่งควรส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนของอากาศร้อนให้กับเมล็ดข้าวเปลือกทำได้ง่ายกว่าและสามารถถ่ายเทความร้อนและมวล (ความชื้น) ได้ดีกว่า (ฉัตรชัย นิมมล, 2555; Kaensup *et al.*, 2006) แต่ในเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งโค้งกลับให้ผลที่ตรงข้ามกัน เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ เพราะถึงแม้ว่าการทดลองจะใช้ปริมาณข้าวเปลือกในการอบแห้งแต่ละครั้งเท่ากัน แต่ได้กำหนดอัตราการไหล (ป้อน) ของข้าวเปลือกที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแตกต่างกัน โดยใช้สไลด์วาล์วที่ถังป้อนข้าวเปลือกเป็นอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของข้าวเปลือกที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้ง ประกอบกับการอบแห้งนี้ใช้หลักการหมุนวนข้าวเปลือกกลับเข้าอบแห้งซ้ำหลายรอบ ส่งผลให้ข้าวเปลือกที่ผ่านท่ออบแห้งในแต่ละรอบจะต้องไหลกลับไปยังถังป้อนข้าวเปลือก เพื่อรอที่จะถูกป้อนเข้าสู่ท่ออบแห้งอีกครั้ง และถึงแม้ว่าการอบแห้งที่อัตราการไหลของข้าวเปลือกต่ำอาจจะเกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลได้ดีกว่า แต่การอบแห้งข้าวเปลือกที่อัตราการไหลต่ำจะใช้เวลารอที่ถังป้อน

ข้าวเปลือกนานกว่าการอบแห้งข้าวเปลือกที่อัตราการไหลสูงกว่า เพราะฉะนั้น เมื่ออัตราการไหลของข้าวเปลือกสูงก็จะทำให้ข้าวเปลือกสามารถไหลเวียนเข้าสู่ท่ออบแห้งอีกครั้งได้เร็วกว่า และมีเวลาที่อยู่ในท่ออบแห้งได้นานกว่า รวมถึงจำนวนรอบที่ข้าวเปลือกไหลวนผ่านท่ออบแห้งก็จะมากกว่าการอบแห้งที่มีอัตราการไหลต่ำ ซึ่งเป็นผลให้โอกาสในการถ่ายเทความร้อนและมวลก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นถึงแม้ว่าการทดลองนี้จะใช้เวลาอบแห้งโดยรวม 60 นาทีเท่ากัน แต่เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในท่ออบแห้งจริงย่อมแตกต่างกันไปตามอัตราการไหลของข้าวเปลือก ส่งผลให้ข้าวเปลือกที่มีอัตราการไหลต่ำมีค่าปริมาณความชื้นสุดท้ายสูงกว่าการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีอัตราการไหลสูง ในขณะที่งานวิจัยของ Kaensup *et al*. (2006) และงานวิจัยของฉัตรชัย นิมมล (2555) พบว่าการอบแห้งที่ใช้อัตราการไหลของข้าวเปลือกต่ำจะทำให้ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำ เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการกำหนดเงื่อนไขการอบแห้งข้าวเปลือกที่แตกต่างกัน เพราะงานวิจัยของ Kaensup *et al*. (2006) และงานวิจัยของฉัตรชัย นิมมล (2555) ได้ศึกษาปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ทำการอบแห้งผ่านท่ออบแห้งเพียงแค่รอบเดียว ในขณะงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการอบแห้งโดยวนข้าวเปลือกเข้าท่ออบแห้งซ้ำหลายรอบจนครบตามเวลาอบแห้ง 60 นาที ดังนั้นถึงแม้ว่าอัตราการไหลของข้าวเปลือกต่ำกว่าจะทำให้อากาศร้อนสามารถดึงความชื้นออกจากข้าวเปลือกได้ดีกว่า แต่ความต่อเนื่องของการป้อนข้าวเปลือกที่ถังป้อน, อัตราการไหลของข้าวเปลือก, ปริมาณของข้าวเปลือก, และเวลาที่ข้าวเปลือกต้องรอที่ถังป้อนก่อนถูกป้อนเข้าเครื่องอบแห้งอีกครั้งก็จะมีผลโดยตรงต่อแนวโน้มของปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่เกิดขึ้นในการศึกษานี้

สำหรับอิทธิพลของความเร็วอากาศร้อนที่มีต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก พบว่าจากการทดลองยังให้ผลที่ไม่ชัดเจน ซึ่งเป็นผลมาจากการกำหนดเงื่อนไขการทดลองความเร็วอากาศร้อนที่มีค่าใกล้เคียงกัน ได้แก่ 19, 20, และ 21 m/s ในขณะงานวิจัยของ Kaensup *et al*. (2006) ได้ศึกษาความเร็วอากาศร้อน 20, 25, และ 30 m/s ส่วนงานวิจัยของฉัตรชัย นิมมล (2555) เลือกศึกษาความเร็วอากาศร้อน 20 และ 30 m/s ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ ได้เลือกใช้ความเร็วอากาศร้อนที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงให้ผลลัพธ์ที่สามารถเห็นถึงความแตกต่างของแนวโน้มที่ชัดเจนกว่า ส่วนเหตุผลที่งานวิจัยนี้เลือกใช้ความเร็วอากาศร้อนที่มีค่าใกล้เคียงกัน เพราะเครื่องเป่าอากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถสร้างความเร็วอากาศร้อนในท่ออบแห้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76.2 mm ได้สูงสุดเพียง 21 m/s และจากการทดลองพบว่าความเร็วอากาศร้อนต่ำสุดที่สามารถพาข้าวเปลือกไปได้คือ 19 m/s ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกศึกษาช่วงความเร็วอากาศร้อน 19 ถึง 21 m/s เพื่อให้สอดคล้องกับสมรรถนะของเครื่องเป่าอากาศ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Kaensup *et al*. (2006) และงานวิจัยของฉัตรชัย นิมมล (2555) โดยพบว่าถึงแม้ว่างานวิจัยของ Kaensup *et al*. (2006) ใช้ท่ออบแห้ง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm) ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน แต่สามารถสร้างความเร็วอากาศร้อนได้สูงถึง 30 m/s ส่วนงานวิจัยของฉัตรชัย นิมมล (2555) ใช้ท่ออบแห้ง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm) ที่มีขนาดเล็กกว่า แต่ได้เลือกใช้เครื่องเป่าอากาศความดันสูงซึ่งสามารถสร้างความเร็วอากาศร้อนได้สูงถึง 30 m/s เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kaensup *et al*. (2006) ดังนั้นสมรรถนะของเครื่องเป่าอากาศจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณากำหนดช่วงความเร็วอากาศร้อนที่ทำการศึกษา แต่อย่างไรก็ตามความเร็วอากาศร้อนก็จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือก, เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในท่ออบแห้ง, อัตราการไหลของข้าวเปลือก, และอุณหภูมิอบแห้ง ดังนั้นหากเลือกใช้ความเร็วอากาศร้อนที่เหมาะสมกับอัตราการไหลของข้าวเปลือกและอุณหภูมิอบแห้ง ก็จะสามารถลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกได้ดีขึ้น

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งโค้งเพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของข้าวเปลือก, ความเร็วอากาศร้อน, และอุณหภูมิอบแห้ง ที่มีต่อปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก พบว่าการอบแห้งรูปแบบนี้สามารถอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ ปทุมธานี 1 ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นประมาณ 29 ถึง 30% (w.b.) ให้เหลือปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 15% (w.b.) ภายในเวลาอบแห้ง 60 min มี 3 สภาวะ ซึ่งทั้งหมดเกิดขึ้นที่อัตราการไหลของข้าวเปลือก 221 kg/h และอุณหภูมิอบแห้ง 130°C โดยพบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดคือ 12% (w.b.) เกิดขึ้นที่ความเร็วอากาศร้อน 19 m/s รองลงมาคือปริมาณความชื้นสุดท้าย 13% (w.b.) ที่ความเร็วอากาศร้อน 21 m/s และอันดับที่สามคือปริมาณความชื้นสุดท้าย 14% (w.b.) ที่ความเร็วอากาศร้อน 20 m/s นอกจากนั้นจากผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกจะลดลงตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้น และในทำนองเดียวกัน เมื่ออัตราการไหลของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกลดลง ในขณะที่ความเร็วอากาศร้อนให้ผลที่ยังไม่ชัดเจนถึงอิทธิพลที่มีต่อปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก นอกจากนั้นยังพบว่าการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 60 ถึง 80°C มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณความชื้นสุดท้ายค่อนข้างช้า หลังจากนั้นแนวโน้มการลดลงของปริมาณความชื้นสุดท้ายจะเร็วขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิอบแห้ง 130°C แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากการศึกษานี้ใช้อุณหภูมิ

อบแห้งที่สูง จึงควรมีการศึกษาถึงวิธีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ รวมถึงการศึกษาผลกระทบของปัจจัยข้างต้นที่มีต่อคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่อออบแห้งโค้ง เพื่อยืนยันถึงความเป็นไปได้สำหรับการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมการเกษตรต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ฉัตรชัย นิมมล. (2555). ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้หออบแห้งชนิดท่อเกลียว. *วารสารวิจัย มข.*, *17*(1), 97-109.

มณฑล ชูโชนาค, พิรสิทธิ์ ทวยนาค, และมุสตาฟา ยะภา. (2557). ผลกระทบของความเร็วของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้ต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบท่อ. *การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 13* (น. 18-23). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิทยา แก้วสวัสดิ์, มณฑล ชูโชนาค, และมุสตาฟา ยะภา. (2557). การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบท่อ. *การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 13* (น. 12-17). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุพงษ์ชัย นาคสังข์, มณฑล ชูโชนาค, และมุสตาฟา ยะภา. (2556). การศึกษาเชิงทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบท่อ. *การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 12* (น. 94-99). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เอนก สุทธิฤทธ์, มณฑล ชูโชนาค, เจษฎา แพรกนันเธอ, และมุสตาฟา ยะภา. (2560). การศึกษาอิทธิพลของอัตราการป้อนและอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบท่อ. *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13* (น. 39-43). วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

Bhandari, B. (2015). Handbook of Industrial Drying, Edited by AS Mujumdar: CRC Press: Boca Raton, FL; 2015. ISBN: 978-1-4665-9665-8.

Bunyawanichakul, P., Walker, G.J., Sargison, J.E., & Doe, P.E. (2007). Modelling and simulation of paddy grain (rice) drying in a simple pneumatic dryer. *Biosystems engineering*, *96*(3), 335-344.

Kaensup, W., Kulwong, S., & Wongwises, S. (2006). A small-scale pneumatic conveying dryer of rough rice. *Drying Technology*, *24*(1), 105-113.

Kaensup, W., Kulwong, S., & Wongwises, S. (2006). Comparison of drying kinetics of paddy using a pneumatic conveying dryer with and without a cyclone. *Drying Technology*, *24*(8), 1039-1045.

Kemp, I.C., Oakley, D.E., & Bahu, R.E. (1991). Computational fluid dynamics modelling of vertical pneumatic conveying dryers. *Powder Technology*, *65*(1-3), 477-484.

Kemp, I.C. (1994). Scale-up of pneumatic conveying dryers. *Drying Technology*, *12*(1-2), 279-297.

Nimmol, C., Yodrux, A., & Hirunwat, A. (2020). Rapid drying of high-moisture paddy using a pneumatic dryer with corrugated-surface drying column. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 141, p. 01006). EDP Sciences.

Tanaka, F., Uchino, T., Hamanaka, D., & Atungulu, G. G. (2008). Mathematical modeling of pneumatic drying of rice powder. *Journal of food Engineering*, *88*(4), 492-498.