

การอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

Cassava Pulp Drying Using a Double Drum Dryer

เกียรติศักดิ์ ใจโต¹ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค^{1*} และ กระวี ตรีอำนรรค²

Kaattisak Jaito¹, Tawarat Treeamnuk^{1*} and Krawee Treeamnuk²

Received: 1 June 2020, Revised: 25 August 2020, Accepted: 16 September 2020

บทคัดย่อ

กากมันสำปะหลังเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายเช่น เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล อาหารสัตว์ และปุ๋ยบำรุงดิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังจำเป็นต้องทำการลดความชื้นเพื่อให้การบริหารจัดการง่ายขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้กับวัสดุที่เป็นของเหลวหนืดชนิดหนึ่ง โดยทำการอบแห้งกากมันสำปะหลังที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 84.55% (มาตรฐานเปียก) ปริมาณ 1 กิโลกรัม ด้วยอุณหภูมิลูกกลิ้ง 130 140 และ 150 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 0.30 และ 0.50 มิลลิเมตร ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.19 0.34 และ 0.51 รอบต่อนาที ประเมินสมรรถนะการอบแห้งจากความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลัง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ อัตราการอบแห้ง และความสามารถในการอบแห้ง ผลการศึกษาพบว่าเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 0.34 รอบต่อนาที เป็นสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด กากมันแห้งที่ได้มีความชื้นสุดท้าย 8.03% (มาตรฐานเปียก) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 4.17 เมกะจูลต่อกิโลกรัม อัตราการอบแห้ง 3.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความสามารถในการทำแห้ง 59.85 กรัมต่อนาที

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่, การอบแห้ง, กากมันสำปะหลัง

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

² School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): tawarat@sut.ac.th Tel: 08 4694 2933

ABSTRACT

Cassava pulp is a waste product from the cassava starch industry. It can be used for various purposes i.e. biomass fuel, animal feed, and soil nourishing fertilizer, etc. However, to take advantage of cassava pulp, moisture removal is required to facilitate management. Therefore, the objective of this research is to study the optimum conditions for drying cassava pulp by a double drum dryer which is a type of dryer for drying viscous materials. In the study, 1 kg of cassava pulp samples with average initial moisture content of 84.55% (wet basis) were used. The drum dryer temperature was set at 130, 140 and 150°C, the distance between rollers 0.15, 0.30 and 0.50 mm and the speed of the drying rollers set at 0.19, 0.34 and 0.51 rpm. Evaluation of the drying performance of cassava pulp was made in terms of the final moisture content, the specific energy consumption (SEC), the drying rate (DR), and the drying capacity. The results showed that drying at 140°C, the distance between the rollers of 0.30 mm, the speed of 0.34 rpm are the optimum conditions for cassava pulp drying; this was reflected in the final moisture content at 8.03% (wet basis), SEC of 4.17 MJ/kg, DR of 3.00 kg/h and drying capacity of 59.85 g/min.

Key words: double drum dryer, drying, cassava pulp

บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังสูงถึง 66.90% ของตลาดส่งออกทั่วโลก (Smarter Global Sourcing Starts Here, 2018) และมีปริมาณการผลิตอยู่ที่ 29.3 ล้านตันในปี 2018 โดยมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะถูกนำไปแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีกากมันสำปะหลังเป็นของเหลือทิ้ง ประมาณ 3-5 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 10-20 ของปริมาณการผลิต (Khempaka *et al.*, 2009) ซึ่งหากกากมันสำปะหลังจำนวนมากไม่ได้รับการจัดการจะทำให้เกิดขยะอุตสาหกรรม (Hermiati *et al.*, 2012) ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามพบว่ากากมันสำปะหลังมีส่วนประกอบได้แก่ โปรตีน เถ้า ไขมัน แป้ง และเส้นใย คิดเป็นร้อยละ 2.60, 2.10, 0.13, 59.39 และ

31.67 ตามลำดับ (Kachenpukdee *et al.*, 2016) เมื่อพิจารณาถึงส่วนประกอบของกากมันสำปะหลังพบว่า มีศักยภาพที่จะนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนแทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้ (Paepatung *et al.*, 2009) หรือนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล แต่เนื่องจากกากมันสำปะหลังที่ออกจากกระบวนการผลิตจะมีความชื้นสูงประมาณ 60-85% (Olusegun and Ajiboye, 2010) และหากปล่อยทิ้งไว้จากก่อให้เกิดกระบวนการหมักจนทำให้เกิดเป็นกลิ่นเหม็นรบกวนต่อชุมชนที่อยู่รอบข้าง ซึ่งหากมีวิธีในการลดความชื้นของกากมันสำปะหลังลงก็จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ อีกทั้งการทำแห้งยังช่วยให้กากมันสำปะหลังมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น และช่วยลดน้ำหนักหรือปริมาตรลงทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษาได้อีก

ด้วย (Hemhirun and Bunyawanichakul, 2017) ปัจจุบันการทำแห้งกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการตากแดดไว้บนลานคอนกรีตในช่วงเดือนที่ไม่มีฝนตก แต่ในช่วงเดือนที่มีฝนตกก็จะใช้วิธีการดังกล่าวไม่ได้ และอาจก่อให้เกิดปัญหาในการจัดการตามมา (Tangpinijkul, 2015) ดังนั้นการทำแห้งหรือลดความชื้นกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้การลดความชื้นกากมันสำปะหลังสามารถทำได้ในช่วงเดือนที่มีฝนตก จากการศึกษาพบว่ามีผู้นำเทคโนโลยีในการทำแห้งมาประยุกต์ใช้กับกากมันสำปะหลัง โดย Duangsrisen *et al.* (2013) นำกากมันสำปะหลังที่ผ่านการลดความชื้นทางกลด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ มาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน พบว่าการอบแห้งกากมันสำปะหลังจำนวน 40 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่ามีการอบแห้งที่สูญเสียน้ำหนักสูงถึง 55% ซึ่งกากมันส่วนนี้ต้องถูกนำกลับมาอบแห้งใหม่จึงไม่สะดวกต่อการทำงาน ในขณะที่การทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นเทคนิคที่มีต้นทุนต่ำ ง่ายต่อกระบวนการผลิต มีกำลังการผลิตสูง และมีระยะเวลาในการทำแห้งสั้นจึงมีความเหมาะสมต่อการลงทุนในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม (Tangduangdee, 1993)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแนวทางในการอบแห้งกากมันสำปะหลังต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

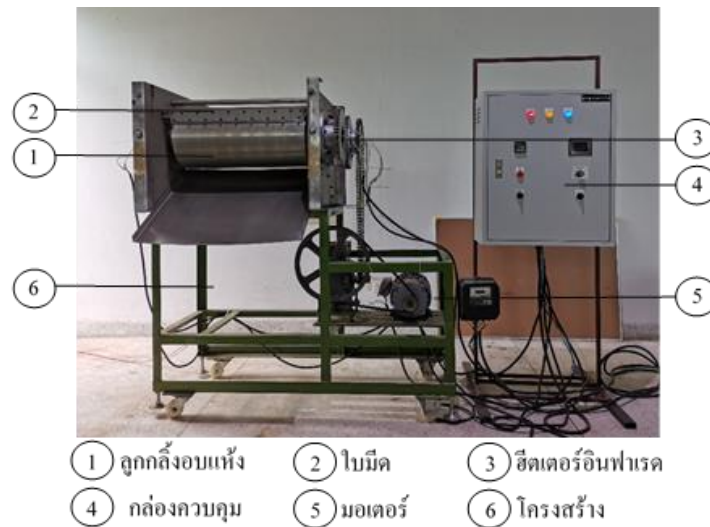
1. กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังสด (ภาพที่ 1) ได้จากโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง (บริษัทอุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด, จังหวัดนครราชสีมา) มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 84.55% (มาตรฐานเปียก)



ภาพที่ 1 กากมันสำปะหลังที่ใช้ในการอบแห้ง

2. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่



ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้แหล่งความร้อนจากอินฟราเรด

การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Prangpru *et al.*, 2015) และศึกษาข้อมูลทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง เช่น ความหนาแน่นของกากมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการหาขนาดของลูกกลิ้ง ความหนืดของกากมันสำปะหลังใช้ในการหาขนาดของมอเตอร์ ความชื้นของกากมันสำปะหลังเพื่อหาปริมาณน้ำที่ต้องการระเหย ทำการออกแบบและเขียนแบบส่วนประกอบของเครื่องอบแห้ง โดยใช้โปรแกรมเขียนแบบทางวิศวกรรม (SolidWork) เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น (ภาพที่ 2) ใช้ความร้อนจากอินฟราเรดประกอบไปด้วย (1) ลูกกลิ้ง 1 คู่ทำจากสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 26.5 cm และยาว 60 cm ทำหน้าที่อบแห้งผลิตภัณฑ์ (2) ใบมีดทำจากสแตนเลส ทำหน้าที่ขูดผลิตภัณฑ์แห้งออกจากลูกกลิ้ง (3) ฮีตเตอร์อินฟราเรด ติดตั้งอยู่ภายในลูกกลิ้ง ทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนให้แก่ลูกกลิ้ง (4) ตู้ควบคุมมีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (5) มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการหมุนลูกกลิ้ง (6)

โครงสร้างเครื่องอบแห้งทำหน้าที่รับน้ำหนักของเครื่องอบแห้ง

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งทำการป้อนกากมันสำปะหลังด้านบนระหว่างลูกกลิ้ง เมื่อลูกกลิ้งหมุนจะพาทากมันสำปะหลังเคลือบลูกกลิ้งเป็นฟิล์มบาง เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผิวของลูกกลิ้งไปยังฟิล์มของกากมันสำปะหลังด้วยการนำความร้อน เมื่อลูกกลิ้งหมุนไปจนถึงตำแหน่งใบมีด ใบมีดจะทำการขูดกากมันสำปะหลังออกมาเป็นแผ่นบางหรือผงตกลงภาชนะรองรับด้านล่าง

3. การทดสอบอบแห้งกากมันสำปะหลัง

การทดสอบอบแห้งกากมันสำปะหลังเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งและความเร็วรอบของลูกกลิ้งอบแห้งต่อสมรรถนะการอบแห้งโดยออกแบบการทดลองแบบ $3 \times 3 \times 3$ แฟกทอเรียลใน CRD โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ (130 140 และ 150 องศาเซลเซียส) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (0.15 0.30 และ 0.50 มิลลิเมตร) ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (0.19 0.34 และ 0.51 รอบต่อนาที) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งระดับ

ปัจจัยในการศึกษาได้จากข้อมูลการวิจัย ของ Jaito *et al.* (2017) และการทดสอบเบื้องต้น โดยการทดสอบ เริ่มจากนำกากมันสำปะหลังไปหาความชื้นเริ่มต้น ด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Sriroth *et al.*, 2000) ค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$M = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100\% \quad \text{.....(1)}$$

โดยที่

M = ความชื้นของกากมันสำปะหลัง (% , มาตรฐานเปียก)

w_i = น้ำหนักของกากมันสำปะหลังก่อนเข้าสู่ตู้อบลมร้อน (กรัม)

w_f = น้ำหนักของกากมันสำปะหลังที่ออกจากตู้อบลมร้อน (กรัม)

การทดสอบอบแห้งกากมันสำปะหลัง ดำเนินการโดยทำการตั้งค่าอุณหภูมิ ระยะห่าง ระหว่างลูกกลิ้งและความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ตาม สภาพการอบแห้งที่กำหนด จากนั้นป้อนกากมัน สำปะหลังจำนวน 1 กิโลกรัม เข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบ ลูกกลิ้งคู่ ระหว่างการทดสอบทำการบันทึกเวลาที่ใช้ ในการอบแห้ง น้ำหนักของกากมันสำปะหลังที่ออกจากเครื่องอบแห้งและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ อบแห้ง สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหา ค่า อัตราการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และความสามารถในการทำแห้ง

4. ประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

การประเมินสมรรถนะในการอบแห้ง พิจารณาจากค่าความชื้นสุดท้ายของกากมัน

สำปะหลังที่ออกจากเครื่องอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลือง พลังงานจำเพาะ อัตราการอบแห้ง และความสามารถ ในการอบแห้ง

4.1 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นอัตราส่วนของค่า พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่อง อบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ประกอบไปด้วยพลังงานไฟฟ้า ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า ฮีตเตอร์อินฟราเรดและ ระบบควบคุม สามารถวัดได้ด้วยมาตรวัดไฟฟ้า (kilowatt-hour meter) ต่อปริมาณน้ำ 1 กิโลกรัม ที่ ระเหยออกจากกากมันสำปะหลัง (Sharma and Prasad, 2006; Jaito *et al.*, 2016) ซึ่งสามารถหาได้ จากสมการที่ (2)

$$SEC = \frac{3.6 \times E}{m_{\text{water}}} \quad \text{.....(2)}$$

โดยที่

SEC = ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)

E = พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

m_{water} = มวลของน้ำที่ระเหยออกจากกากมันสำปะหลัง (กิโลกรัม)

4.2 อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) เป็นความสามารถในการระเหยน้ำออกจากวัสดุโดยดูจาก

อัตราการระเหยน้ำออกจากกากมันสำปะหลังต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (Duangsrissen *et al.*, 2013) สามารถหาได้จากสมการที่ (3)

$$DR = \frac{m_{\text{water}}}{t} \quad \dots (3)$$

โดยที่

DR = อัตราการอบแห้ง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้งกากมันสำปะหลัง (ชั่วโมง)

4.3 ความสามารถในการอบแห้ง

ความสามารถในการอบแห้ง (Drying capacity, DC) บ่งบอกถึงความสามารถในการผลิต

กากมันสำปะหลังต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (Ademiluyi *et al.*, 2010) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\dot{m} = \frac{W_p}{t} \quad \dots (4)$$

โดยที่

$\dot{m}$ = ความสามารถในการทำแห้ง (กรัมต่อนาที)

W_p = น้ำหนักกากมันสำปะหลังสด (กรัม)

t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้งกากมันสำปะหลัง (นาที)

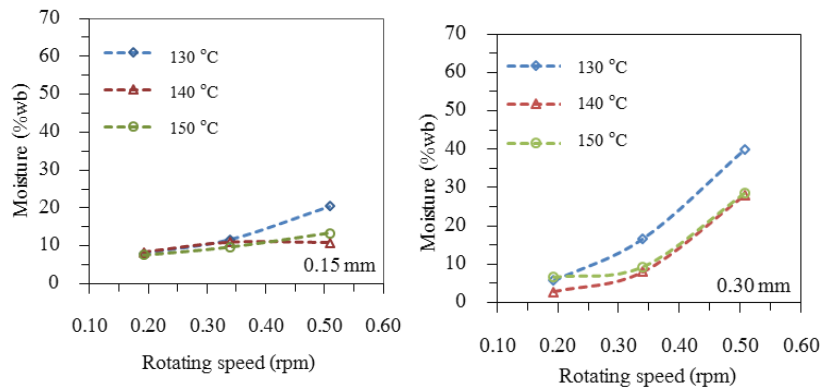
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการอบแห้ง

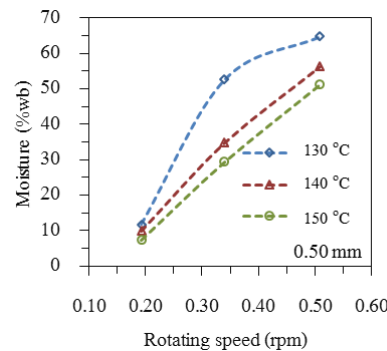
จากผลการทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 140 และ 150 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 0.30 และ 0.50 มิลลิเมตร และที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ 0.19 0.34 และ 0.51 รอบต่อนาที นำไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 14 พบว่าอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง และความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งมีอิทธิพลต่อค่าความชื้นสุดท้าย SEC, DR และ DC อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอบแห้งที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งและความเร็วรอบเดียวกัน

พบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นลดลงเร็วขึ้นแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suriyajunhom and Phongpipatpong (2017) ที่ศึกษาการทำแห้งผักข้าวพวงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าที่ระยะห่าง 0.15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบ 0.19 และ 0.34 รอบต่อนาที หากตัดค่าที่สถานะอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 0.19 รอบต่อนาที และ อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 0.34 รอบต่อนาที แล้วความชื้นสุดท้ายที่อุณหภูมิต่างๆ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1



(ก) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 มิลลิเมตร (ข) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.30 มิลลิเมตร



(ค) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.50 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังกับความเร็วรอบหมุนของลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ
ต่างกัน

ตารางที่ 1 ค่าความชื้นสุดท้าย อัตราการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และความสามารถในการทำแห้งที่
สภาวะการอบแห้งต่างๆ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

สภาวะการอบแห้ง	ความชื้นสุดท้าย (%)	SEC (MJ/kg)	DR (kg/h)	DC (g/min)
0.15mm, 130°C, 0.19rpm	8.08 ^{bcd}	7.19 ^{lm}	0.88 ^a	17.52 ^a
0.15mm, 130°C, 0.34rpm	11.73 ^{cd}	6.09 ^{jk}	1.16 ^{ab}	23.35 ^{ab}
0.15mm, 130°C, 0.51rpm	20.52 ^f	4.90 ^{fgh}	1.46 ^{bc}	30.02 ^{bc}
0.15mm, 140°C, 0.19rpm	8.34 ^{bcd}	7.34 ^m	1.12 ^{ab}	22.35 ^{ab}
0.15mm, 140°C, 0.34rpm	10.97 ^{bcd}	5.50 ^{hij}	1.55 ^{bcd}	31.22 ^{bcd}
0.15mm, 140°C, 0.51rpm	10.87 ^{bcd}	4.92 ^{fgh}	1.77 ^{cd}	35.57 ^{cd}
0.15mm, 150°C, 0.19rpm	7.57 ^{abc}	7.18 ^{lm}	1.23 ^{ab}	24.59 ^{ab}
0.15mm, 150°C, 0.34rpm	9.70 ^{bcd}	5.20 ^{ghi}	1.89 ^{cde}	38.00 ^{cd}
0.15mm, 150°C, 0.51rpm	13.30 ^{de}	4.37 ^{def}	2.38 ^{ef}	48.04 ^{ef}
0.30mm, 130°C, 0.19rpm	5.76 ^{ab}	5.58 ^{hij}	1.85 ^{cd}	36.74 ^{cd}
0.30mm, 130°C, 0.34rpm	16.69 ^{ef}	4.26 ^{cdef}	2.64 ^{fg}	53.86 ^{fg}
0.30mm, 130°C, 0.51rpm	39.93 ⁱ	3.38 ^a	3.41 ^{ijk}	76.21 ^{jk}

ตารางที่ 1 (ต่อ)

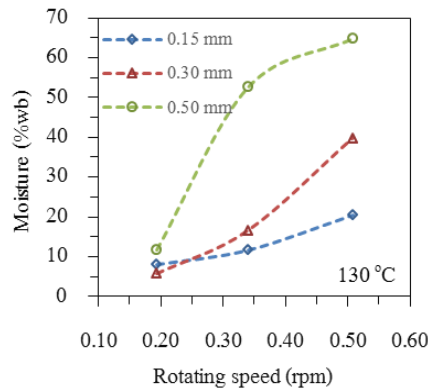
สภาวะการอบแห้ง	ความชื้นสุดท้าย (%)	SEC (MJ/kg)	DR (kg/h)	DC (g/min)
0.30mm, 140°C, 0.19rpm	2.82 ^a	6.83 ^{lm}	1.59 ^{bcd}	31.44 ^{bcd}
0.30mm, 140°C, 0.34rpm	8.03 ^{bcd}	4.17 ^{bcde}	3.00 ^{fgh}	59.85 ^{gh}
0.30mm, 140°C, 0.51rpm	28.16 ^g	3.50 ^{abc}	3.83 ^{kl}	81.13 ^k
0.30mm, 150°C, 0.19rpm	6.55 ^{abc}	7.31 ^m	2.00 ^{de}	39.89 ^{de}
0.30mm, 150°C, 0.34rpm	9.28 ^{bc}	4.33 ^{def}	2.75 ^{fg}	55.10 ^{fg}
0.30mm, 150°C, 0.51rpm	28.61 ^g	4.27 ^{def}	3.31 ^{hij}	70.12 ^{ij}
0.50mm, 130°C, 0.19rpm	11.74 ^{cd}	4.77 ^{efg}	1.92 ^{cde}	38.61 ^{cd}
0.50mm, 130°C, 0.34rpm	52.69 ^{jk}	4.07 ^{abcde}	2.75 ^{fg}	67.46 ^{hi}
0.50mm, 130°C, 0.51rpm	64.86 ^l	3.56 ^{abc}	3.74 ^{jkl}	108.61 ^l
0.50mm, 140°C, 0.19rpm	9.96 ^{bcd}	5.76 ^{ij}	1.84 ^{cd}	36.77 ^{cd}
0.50mm, 140°C, 0.34rpm	37.85 ^h	3.74 ^{abcd}	2.85 ^{fgh}	61.77 ^{ghi}
0.50mm, 140°C, 0.51rpm	53.60 ^k	3.37 ^a	3.99 ^l	102.22 ^l
0.50mm, 150°C, 0.19rpm	7.37 ^{abc}	6.58 ^{kL}	1.88 ^{cde}	37.35 ^{cd}
0.50mm, 150°C, 0.34rpm	29.42 ^g	5.18 ^{ghi}	2.84 ^{fgh}	60.02 ^{gh}
0.50mm, 150°C, 0.51rpm	51.21 ^j	3.47 ^{ab}	4.51 ^m	108.61 ^l

หมายเหตุ 1. อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

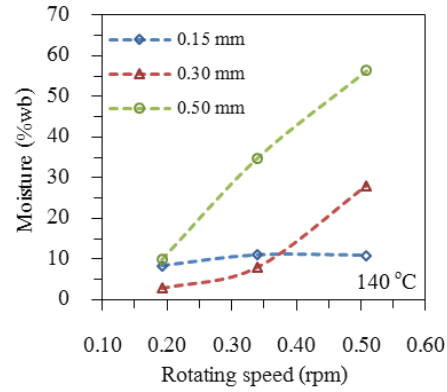
2. สภาวะที่เป็นแถบสีเทาไม่สามารถทำการอบแห้งให้มีความชื้นสุดท้ายเหมาะสมกับการเก็บรักษาได้ (ความชื้นมากกว่า 14%)

เมื่อพิจารณาเฉพาะระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งส่งผลให้ความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังมีค่าสูงขึ้นแสดงดังภาพที่ 4 เนื่องระยะห่างที่เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มของกากมันสำปะหลังหนาขึ้นส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลทำได้ยากขึ้น (Qiu *et al.*, 2020) จึงทำให้ความชื้นสูงขึ้นและเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเมื่อ

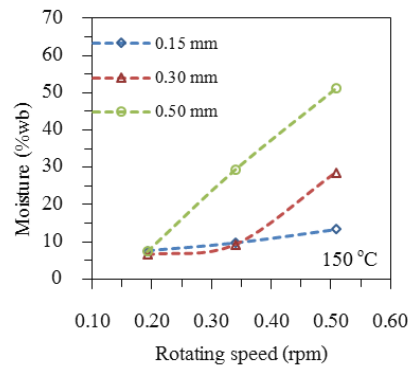
อุณหภูมิและระยะห่างคงที่พบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังมีค่าสูงขึ้น ซึ่งผลการศึกษานี้ให้ผลเช่นเดียวกัน Pua *et al.* (2010) และ Chia and Chong (2015) ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบต่อการอบแห้งขนุนผง และเปลือกแก้วมังกรด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งตามลำดับ



(ก) อุณหภูมิในการอบแห้ง 130 องศาเซลเซียส



(ข) อุณหภูมิในการอบแห้ง 140 องศาเซลเซียส



(ค) อุณหภูมิในการอบแห้ง 150 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความเร็วยรอบของลูกกลิ้งที่ระยะห่างต่างๆ กัน

กากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งแล้วหากมีความชื้นต่ำกว่า 14% (ภาพที่ 5 ก) มีลักษณะทางกายภาพหลังการอบแห้งเป็นผง หรือแผ่นบางกรอบสามารถเก็บรักษาและจัดการต่อเป็นกากมันอัดเม็ด

และกากมันผงได้ง่าย ส่วนกากมันที่มีความชื้นสูงกว่า 14% (ภาพที่ 5 ข) มีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนและไม่สามารถเก็บไว้นานเกิน 1 สัปดาห์เนื่องจากจะเกิดเชื้อราขึ้น



(ก) กากมันสำปะหลังมีความชื้นต่ำกว่า 14%



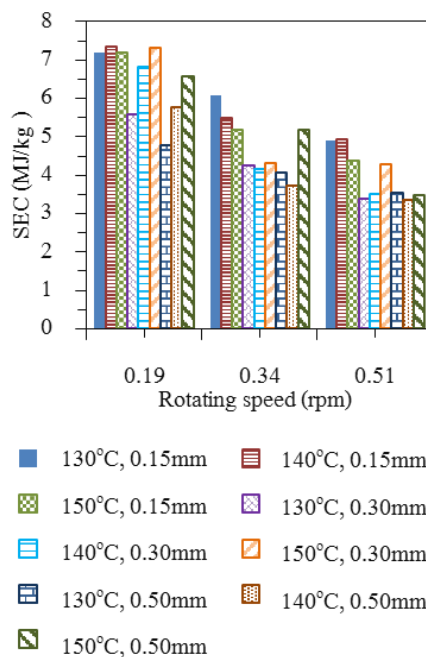
(ข) กากมันสำปะหลังมีความชื้นสูงกว่า 14%

ภาพที่ 5 ลักษณะกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

2. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เมื่อพิจารณาด้านพลังงานในรูปของค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหรือ SEC พบว่าค่า SEC ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงร่วมกันของอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง และความเร็วยรอบการหมุนของลูกกลิ้ง ดังแสดงในภาพที่ 6 และตารางที่ 1 การเพิ่มขึ้นของความเร็วยรอบส่งผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง เนื่องจากความเร็วยรอบที่เพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการอบแห้งเร็วขึ้น จึงส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานต่อปริมาณน้ำระเหยมีค่าลดลง ที่ความเร็วยรอบ 0.19 รอบต่อนาที พบว่าที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการอบแห้งส่งผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นต้องการพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับฮีตเตอร์อินฟราเรดที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับการเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งเพื่อใช้ในการอบแห้งกากมะพร้าวของ Jaito *et al.* (2016) ส่วนที่ 0.15 มิลลิเมตร พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อค่า SEC ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพบว่า ลูกกลิ้งสามารถพาทากมันสำปะหลังไปบนลูกกลิ้งได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ จึงใช้เวลาในการอบแห้งรวมทั้งหมดสั้นกว่าเมื่อคิดเป็นค่า SEC แล้วจึงไม่แตกต่างกัน ที่ความเร็วยรอบ 0.34 รอบต่อนาที พบว่าที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น อุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความ

สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงเนื่องจากระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มของกากมันหนาขึ้น มีน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อผนวกกับค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำมีค่ามากขึ้น ซึ่งความหนาที่เพิ่มขึ้นจาก 0.15 เป็น 0.30 มิลลิเมตร เป็นค่าที่ยังอยู่ในช่วงที่พลังงานความร้อนจากลูกกลิ้งสามารถระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้จนถึงระดับการเก็บรักษาที่ปลอดภัย อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นถึง 0.5 มิลลิเมตร จะไม่สามารถลดความชื้นกากมันได้ถึงระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาได้ และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วยรอบ 0.51 รอบต่อนาที พบว่ามีค่า SEC ต่ำที่สุดเนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งต่ำ อย่างไรก็ตามที่ความเร็วยรอบนี้พบว่าสามารถอบแห้งให้กากมันมีความชื้นปลอดภัยได้ที่สภาวะระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 มิลลิเมตร และอุณหภูมิการอบแห้ง 140 และ 150 องศาเซลเซียสเท่านั้น ส่วนที่ความหนา 0.30 และ 0.50 มิลลิเมตร ไม่สามารถทำให้กากมันสำปะหลังแห้งได้ เนื่องจากทั้งความหนาของชั้นฟิล์มและความเร็วยรอบหมุนที่เร็วขึ้นทำให้ไม่สามารถระเหยน้ำออกจากกากมันได้ ก่อนที่จะออกจากเครื่องอบแห้ง ดังนั้นจึงถือได้ว่าที่ความหนา 0.30 และ 0.50 มิลลิเมตร และความเร็วยรอบของลูกกลิ้ง 0.51 รอบต่อนาที ไม่เหมาะสมต่อการอบแห้งกากมัน

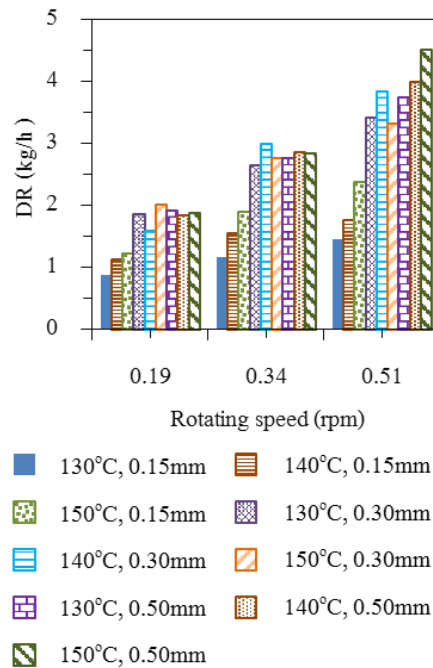


ภาพที่ 6 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ

3. อัตราการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งพบว่า ค่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงร่วมกันของอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง และความเร็วรอบการหมุนลูกกลิ้ง แสดงดังภาพที่ 7 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งอบแห้งส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การถ่ายเทมวลได้มากขึ้น (Kumwan *et al.*, 2018) ส่วนความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการระเหยลดลงทำให้

อบแห้งเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นถึง 0.51 รอบต่อนาที ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร จะไม่สามารถลดความชื้นกากมันได้ถึงระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาได้ และเมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งสูงสุดที่สามารถอบแห้งให้กากมันสำปะหลังมีความชื้นอยู่ในระยะปลอดภัยได้คือ ที่ความเร็วรอบ 0.34 รอบต่อนาที อุณหภูมิอบแห้ง 140 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตร

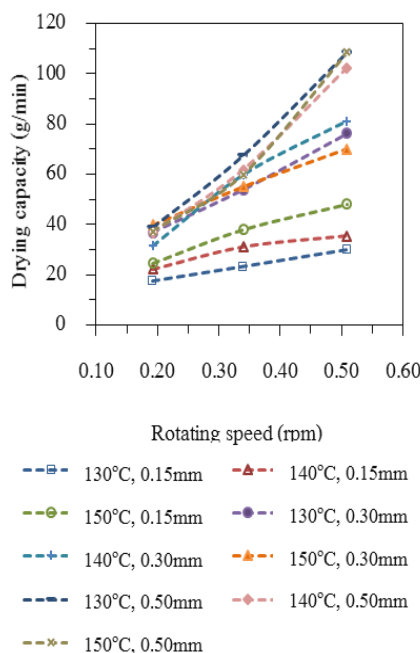


ภาพที่ 7 อัตราการอบแห้งของกากมันสำปะหลังอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ

4. ความสามารถในการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาความสามารถในการอบแห้ง กากมันสำปะหลังพบว่า ค่าความสามารถในการอบแห้งขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้ง และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ดังแสดงในภาพที่ 8 การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้ง ทำให้การนำกากมันสำปะหลังเข้าสู่ห้องอบแห้งได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ค่าความสามารถในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทำให้กากมันสำปะหลังเกาะติดเป็นฟิล์มหนาขึ้นส่งผลให้ป้อนกากมันสำปะหลังเข้าสู่เครื่องอบแห้งได้มากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษากากมันสำปะหลังสำเร็จรูปของ Vanmontree *et al.* (2013) เมื่อพิจารณา

ที่ความเร็วรอบ 0.19 และ 0.34 รอบต่อนาที พบว่า ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตร กับ 0.5 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนที่ความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้ง 0.51 รอบต่อนาที ให้ความสามารถสูงสุดในการทำแห้ง แต่ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่ 0.3 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร ไม่สามารถอบแห้งกากมันสำปะหลังให้อยู่ในระบะปลดกัยได้ และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบที่ 0.34 รอบต่อนาที พบว่าสามารถอบแห้งให้กากมันมีความชื้นปลดกัยได้ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 140 และ 150 องศาเซลเซียสเท่านั้น โดยที่อุณหภูมิการอบแห้งไม่ส่งผลต่อความสามารถในการอบแห้งกากมันสำปะหลัง



ภาพที่ 8 ความสามารถในการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการอบแห้งร่วมกัน ทั้งความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลัง ค่า SEC, DR, และ DC แล้ว พบว่าค่าความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังเป็นค่าที่มีความสำคัญต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังให้อยู่ในระยะปลอดภัยต่อการเก็บรักษาที่ความชื้นต่ำกว่า 14 % ร่วมกับค่า SEC, DR และ DC แล้วจากตารางที่ 1 พบว่าที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.30 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 0.34 รอบต่อนาที นั้นมีค่าความชื้นสุดท้ายที่ 8.03% ค่า SEC เท่ากับ 4.17 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ค่า DR 3.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และให้ค่าความสามารถในการอบแห้งกากมันสำปะหลังเข้าเครื่องอบแห้งสูงสุดที่ 59.85 กรัมต่อนาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งกากมันด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนของ Duangsrissen *et al.* (2013) พบว่าที่

สภาวะการอบแห้งนี้สามารถลดการใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากกากมันสำปะหลังต่อกิโลกรัมลงได้ 25.80%

สรุป

จากการทดลองศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ โดยความชื้นกากมันสำปะหลังเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 84.77% (มาตรฐานเปียก) พบว่าอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง และความเร็วรอบการหมุนลูกกลิ้งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสุดท้ายของกากมัน, SEC, DR และ DC ของการอบแห้งกากมันสำปะหลัง โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความชื้นสุดท้ายของกากมันลดลง แต่ SEC และ DR เพิ่มขึ้น และไม่ส่งผลกระทบบต่อค่า DC ส่วนค่าระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความชื้นสุดท้ายของกากมัน, DR และ DC เพิ่มขึ้นโดยไม่ส่งผลต่อค่า SEC และค่าความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความชื้นสุดท้ายของกากมัน, SEC, DR

และ DC เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อศึกษาปัจจัยทั้งสามพร้อมกัน พบว่าการอบแห้งที่สภาวะอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.30 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 0.34 รอบต่อนาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เนื่องจากให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ มีอัตราการอบแห้งสูง และให้ค่าความสามารถในการทำแห้งสูงสุดโดยที่ความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา ซึ่งสามารถพัฒนาต่อยอดไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยการประยุกต์ใช้ความร้อนเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตมาเป็นแหล่งความร้อนให้กับลูกกลิ้งเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งการจัดการกากมันสำปะหลังและการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนการวิจัยแผนงานพัฒนาบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563

เอกสารอ้างอิง

- Ademiluyi, F.T., Abowei, M.F.N., Puyate, Y.T. and Achinewhu, S.C. 2010. Effects of drying parameters on heat transfer during drying of fermented ground cassava in a rotary dryer. **Drying Technology** 28(4): 550-561.
- Chia, S.L. and Chong, G.H. 2015. Effect of rotation speed and steam pressure on physico-chemical properties of drum dried pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **International Food Research Journal** 22(1): 372-376.
- Duangsrise, W., Treeamnuk, T., Sukthang, N. and Arjarn, W. 2013. A Study of Drying Cassava Pulp Using a Rotary Screen Dryer. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal** 19(1): 7-13. (in Thai)
- Hemhirun, S. and Bunyawachakul, P. 2017. Review of Control Methods for Paddy Drying in Various Dryers. **Engineering Journal Chiang Mai University** 24(1): 60-68. (in Thai)
- Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Sunarti, T.C., Suparno, O. and Prasetya, B. 2012. Potential utilization of cassava pulp for ethanol production in Indonesia. **Scientific Research and Essays** 7(2): 100-106.
- Jaito, K., Treeamnuk, T., Treeamnuk, K. and Prangpru, N. 2016. Shredded-Coconut Drying by Spouted-Bed Technique for Cold Press Coconut Oil Production. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal** 22(1): 64-72. (in Thai)
- Jaito, K., Treeamnuk, T. and Treeamnuk, K. 2017. The performance study of double drum dryer for moisture reduction of cassava pulp. **International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering** 6(4): 2394-2827.
- Kachenpukdee, N., Santerre, C.R., Ferruzzi, M.G. and Oonsivilai, R. 2016. Modified Dietary Fiber from Cassava Pulp and Assessment of Mercury Bio-accessibility and Intestinal Uptake Using an In Vitro Digestion/Caco-2Model System. **Journal of Food Science** 81: T1854-T1863.

- Khempaka, S., Molee, W. and Guillaume, M. 2009. Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broilers: Effect on growth performance, carcass traits, digestive organs, and nutrient digestibility. **Journal of Applied Poultry Research** 18(3): 487-493.
- Kumwan, R., Thiangchanta, S. and Kesai, S. 2018. Determination of Drying Rate of Jackfruit by Infrared Dryer, Vacuum System. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal** 11(2): 67-77. (in Thai)
- Olusegun, H.D. and Ajiboye, T.K. 2010. The design, construction and testing of a vertical squeeze cassava pulp dewatering machine. **International Journal of Engineering & Applied Sciences** 2(1): 27-43.
- Paepatung, N., Nopharatana, A. and Songkasiri, W. 2009. Bio-methane potential of biological solid materials and agricultural wastes. **Asian Journal on Energy and Environment** 10(1): 19-27.
- Prangpru, N., Treeamnuk, T. and Treeamnuk, K. 2015. Comparison of the Efficiency of the Carrier Effect on the Drying Process of Tamarind Juice with a Drum Dryer, pp. 480-485. *In The 8th TSAE National Conference and the 16th TSAE International Conference.* BITEC Bangna, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Pua, C.K., Hamid, N.S.Abd., Tan, C.P., Mirhosseini, H., Rahman, R.B and Rusul, G. 2010. Optimization of drum drying processing parameters for production of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology** 43: 343-349.
- Qiu, J., Boom, R.M. and Schutyser, M.A. 2020. Model development for conductive thin film drying processes. **Journal of Food Engineering** 268: 1-6.
- Sharma, G.P. and Prasad, S. 2006. Specific energy consumption in microwave drying of garlic cloves. **Energy** 31(12): 1921-1926.
- Smarter Global Sourcing Starts Here. 2018. **Overview of Global Cassava Market.** Available Source: <https://www.tridge.com/intelligences/mandioca/export>, February 12, 2020.
- Sriroth, K., Chollakup, R., Chotineeranat, S., Piyachomkwan, K. and Oates, C.G. 2000. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. **Bioresource technology** 71(1): 63-69.
- Suriyajunhom, P. and Phongpipatpong, M. 2017. Effect of drying temperature, maltodextrin and gum arabic on physiochemical characteristics of Gac powder produced by double drum drying, pp. 243-249. *In The 18th TSAE National Conference and the 10th TSAE International Conference.* IMPACT Exhibition Center, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Tangduangdee, C. 1993. A Mathematical Modelling of Drying Process Using Rotary Drum Dryer. Master of Engineering, King

- Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Tangpinijkul, N. 2015. **Research Report no Research and Development of Machinery for Cassava Chip.** Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Vanmontree, B., Treeamnuk, T., Jitkuson, P. and Singkong, W. 2013. Drying of semi-finished germinated brown rice porridge with a double Drum dryer. *In The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference.* Hua Hin Grand Hotel and Plaza, Prachuap KhiriKhan. (in Thai)