



การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน

A Study of Drying Cassava Pulp Using a Rotary Screen Dryer

วิเชียร ดวงสีเสน¹, เทวรัตน์ ตริอานรรค^{1*}, นัยวัฒน์ สุขทั้ง¹, วีรชัย อางหาญ¹Wichian Duangsrise¹, Tawarat Treamnu^{1*}, Naiyawat Sukthang¹, Weerachai Arjharn¹¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ. นครราชสีมา 30000¹School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000*Corresponding author: Tel: +66-44-224-583, Fax: +66-44-224-610, E-mail: tawarat@sut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนต้นแบบซึ่งมีขนาดรูตะแกรง 3 mm ความจุ 0.5 m³ ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ทดสอบอบแห้งกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีการเอกซ์ทรูชั่น ปริมาณ 20, 40 และ 60 kg ที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 100°C และ 120°C อัตราการไหลของอากาศ 0.25 m³ s⁻¹ ความเร็วรอบโรตารี 6 rpm ประเมินสมรรถนะการอบแห้งจากเส้นลักษณะการอบแห้ง อัตราการอบแห้งเวลาในการอบแห้ง ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลจากการทดสอบพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งกากมันสำปะหลังคือ อุณหภูมิการอบแห้ง 100°C และปริมาณกากมันสำปะหลัง 40 kg เนื่องจากมีอัตราการอบแห้งสูงสุดคือ 13.60 kg_{water} h⁻¹ โดยใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำและระยะเวลาในการอบแห้งต่ำสุดคือ 5.62 MJ (kg_{water})⁻¹ และ 1.5 h ตามลำดับ โดยกากมันสำปะหลังที่ค้างในตะแกรงห้องอบแห้งมีความชื้นเฉลี่ย 14.55%db และมีสัดส่วนมวลแห้งคงค้าง 44%

คำสำคัญ: กากมันสำปะหลัง, การลดความชื้น, เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน

Abstract

This research aims to determine the optimum conditions of cassava pulp drying using a rotary screen dryer. The dryer was used in this study with 3 mm of screen, 0.5 m³ of volume capacity and using LPG as fuel. The experiment was performed by drying of cassava pulp that was properties improvement by extrusion method of 20, 40 and 60 kg. The 100°C and 120°C of drying air temperature, 0.25 m³ s⁻¹ of drying air flow rate, and 6 rpm of rotary speed were set as drying conditions. Drying characteristics, drying rate, drying time, final moisture content, and specific energy consumption (SEC) were determined to evaluate the cassava pulp drying. The result indicated that the most suitable cassava pulp drying are drying air temperature of 100°C and capacity 40 kg of cassava pulp since it gave the highest drying rate of 13.60 kg_{water} h⁻¹, the lowest in specific energy consumption and drying time of 5.62 MJ (kg_{water})⁻¹ and 1.5 h, respectively. The final moisture content and dry solid of residue cassava pulp in the sieve were 14.55%db and 44%, respectively.

Keywords: cassava pulp, drying, rotary screen dryer

1 บทนำ

ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังกว่า 20 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) ผลผลิตหัวมัน

สำปะหลังทั้งหมดในประเทศไทย 50% จะนำไปผลิตเป็นมันเส้นหรือมันอัดเม็ด และอีก 50% จะนำไปผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลังซึ่งในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีผลพลอยได้คือเปลือกและกากมันสำปะหลังโดยในกระบวนการสกัดแป้งมัน

สำหรับหลังจากจะก่อให้เกิดผลพลอยได้ในรูปกากมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก (หัวมันสำปะหลังสด 1 ตัน จะให้ปริมาณกากมันสำปะหลังประมาณ 60 kg) คิดเป็น 600,000 ตันต่อปี อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีของกากมันสำปะหลังพบว่ามีความชื้นที่นำมาใช้ประโยชน์ได้มากเนื่องจากกากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบของแป้งสูงถึง 64.6% ของน้ำหนักแห้ง จึงนิยมนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์ (ปิยนาน, 2547) หรือนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตให้จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบ Solid-state ในการผลิตสารประกอบต่างๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม กากมันสำปะหลังที่ออกจากกระบวนการผลิตมักมีความชื้นสูงประมาณ 60 - 82%wb จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก ซึ่งหากปล่อยให้แห้งจะถูกละลายโดยจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนที่อยู่รอบข้าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดความชื้นกากมันสำปะหลังเพื่อให้สามารถเก็บรักษาและนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในปัจจุบันการลดความชื้นกากมันสำปะหลังยังใช้วิธีการตากกลางแจ้งขนาดใหญ่ ในช่วงฤดูฝนการตากจะเป็นไปได้ยากทำให้กากมันสำปะหลังบางส่วนไม่สามารถตากได้ทันทำให้สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์และก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนรอบข้าง ประกอบกับการนำเทคโนโลยีการทำแห้งมาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปกากมันสำปะหลังยังคงมีน้อยทำให้ขาดแคลนทางเลือกของเทคโนโลยีในการนำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม จากการตรวจเอกสารพบว่ามีการศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้สายพานอบแห้งแบบต่อเนื่อง (สุระ, 2553) โดยทำการทดลองเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่เวลาต่างกันของการอบแห้งกากมันสำปะหลัง ผลการทดลองพบว่า ความชื้นของกากมันสำปะหลังมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาการอบแห้ง อุณหภูมิและความเร็วลมร้อนเพิ่มขึ้น จุดที่เหมาะสมในการอบแห้งกากมันสำปะหลังในการทดลองนี้ คือความเร็วลมร้อน 8 m s^{-1} และอุณหภูมิอบแห้ง 80°C ทำให้กากมันสำปะหลังมีความชื้นลดลงเหลือ 7.69%wb โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 2 h เทคโนโลยีการอบแห้งที่น่าสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการอบแห้งกากมันสำปะหลังคือ การอบแห้งแบบถาดหมุนหรือแบบโรตารี (Drum or rotary dryers) ซึ่งมีข้อดี คือสามารถทำการอบแห้งได้ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบกะ การหมุนของถาดทรงกระบอกอบแห้งที่ติดครีบกหรือใบพาช่วยโรยวัสดุผ่านอากาศร้อนทำให้วัสดุสัมผัสกับลมร้อนได้ทั่วถึงจึงทำให้อัตราการลดความชื้นเพิ่มขึ้น (สมชาติ, 2540) ด้วยข้อดีนี้จึงได้นำการอบแห้งแบบโรตารีมาประยุกต์ใช้กับการอบแห้งวัสดุเกษตร

หลายชนิด เช่น ข้าวเปลือก (กิตติพงษ์, 2537) มันเส้น (วีรชัย และคณะ, 2552) พริก (พิพัฒน์, 2548) และข้าวโพด (ไพบุลย์, 2533) เป็นต้น แต่เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีความชื้นสูง และมีลักษณะการจับตัวเป็นก้อนจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนารูปแบบการอบแห้งเพื่อลดปัญหาดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนที่พัฒนาขึ้นโดยการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน (Rotary screen dryer)

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังสดได้จากโรงงานแปงมันสำปะหลัง (บริษัทอุตสาหกรรมแปงโคราช จำกัด, จังหวัดนครราชสีมา) มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 371.25%db ความหนาแน่นเฉลี่ย 712.50 kg m^{-3} มีลักษณะปรากฏดังแสดงใน Figure 1a จากนั้นทำการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ต้นแบบ (วีรชัย และคณะ, 2552) ขนาดรูหัวตาย 6 mm ความเร็วรอบ 70 rpm ทำให้ความชื้นกากมันสำปะหลังลดลงเหลือ 234.56%db ความหนาแน่นเฉลี่ย 571.45 kg m^{-3} และมีลักษณะปรากฏดังแสดงใน Figure 1b



Figure 1 Fresh cassava pulp (a) before and (b) after being extruded.

2.2 เครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน (Figure 2) มีขนาดความจุของถังอบแห้ง 0.5 m^3 ทำด้วยตะแกรงซึ่งมีขนาดรูตะแกรง 3 mm ทำงานที่ความเร็วรอบการหมุนของถังอบแห้ง 6 rpm ใช้แก๊ส LPG เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตลมร้อน ด้านนอกตีหุ้มด้วยฉนวนเป็นกล่องสี่เหลี่ยมพร้อมด้านบนเจาะช่องสำหรับป้อนวัสดุส่วนด้านล่างเจาะช่องเป็นทางออกของผลิตภัณฑ์อบแห้ง

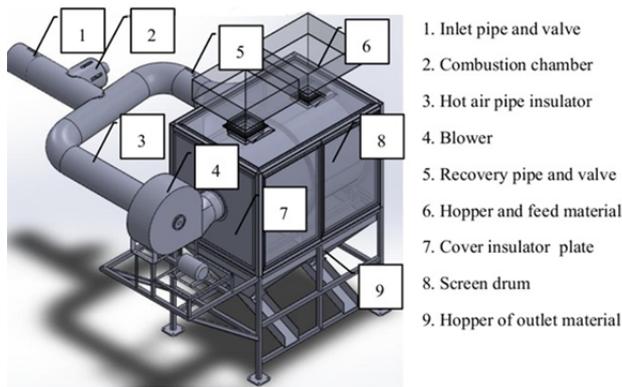


Figure 2 Rotary screen dryer

2.3 ทดสอบและเก็บข้อมูล

นำกากมันสำปะหลังที่ผ่านการลดความชื้นเบื้องต้นด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มาชั่งน้ำหนัก 20 kg ใส่เข้าถังอบปิดฝาเครื่องอบแล้วทำการตั้งอุณหภูมิที่ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Pm PRIMUS REM-94, Primus Co., Ltd.) เปิดระบบการทำงานของเครื่องอบโดยกำหนดอุณหภูมิความร้อน 100 และ 120°C ความเร็วรอบของตะแกรงหมุน 6 rpm ทุกๆ ช่วงเวลา 30 นาที ทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรงด้วยเครื่องชั่ง (METTLER TOLEDO, MTL, IND221, พิกัด 1500 kg, ความละเอียด 0.01 kg) แล้วสุ่มตัวอย่างกากมันสำปะหลังที่ตกผ่านรูตะแกรงและที่ค้างภายในถังอบตำแหน่งละ 5 ตัวอย่างเพื่อนำไปหาความชื้น บันทึกพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งด้วย kWh-meter และชั่งน้ำหนักก๊าซ LPG ที่ใช้ในการอบแห้ง ทำการอบแห้งจนกระทั่งตัวอย่างกากมันสำปะหลังที่ค้างภายในถังอบมีความชื้นน้อยกว่า 15%db ทำการทดลองด้วยวิธีการข้างต้นซ้ำโดยเปลี่ยนน้ำหนักกากมันสำปะหลังเริ่มต้นเป็น 40 และ 60 kg ตามลำดับ

2.4 การประเมินสมรรถนะในการอบแห้ง

ในการประเมินสมรรถนะในการอบแห้งจะนำข้อมูลที่ได้ใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ อัตราการอบแห้ง และระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

2.4.1 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ค่าความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน ประกอบด้วย พลังงานสองส่วน คือ พลังงานที่ใช้ในการผลิตความร้อนจากก๊าซ LPG และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับพัดลมและหมุนถัง ซึ่งค่า SEC สามารถหาได้จากสมการ (1) (ธนรัช และคณะ, 2552)

$$SEC = \frac{(3.6PE) + m_{LPG}(HHV)}{m_w} \quad (1)$$

โดยที่ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ($\text{MJ} (\text{kg}_{\text{water}})^{-1}$), HHV คือ ค่าความร้อนสูงของ LPG (50.14 MJ kg^{-1} , U.S. Department of energy, 2556), m_{LPG} คือ มวลของ LPG ที่ใช้ในการอบแห้ง (kg), m_w คือ มวลของน้ำที่ระเหย (kg), PE คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอดการอบแห้ง (kWh)

2.4.2 อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR)

เป็นความสามารถในการกำจัดความชื้นออกจากวัสดุโดยดูจากอัตราการระเหยน้ำออกจากกากมันสำปะหลังต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (สมการ (2), สุทธิศักดิ์, 2543)

$$DR = \frac{m_d(M_{pi} - M_{pf})}{t} \quad (2)$$

โดยที่ DR คือ อัตราการอบแห้ง ($\text{kg}_{\text{water}} \text{ h}$), M_{pi} คือ ความชื้นวัสดุก่อนอบแห้ง (%db), M_{pf} คือ ความชื้นวัสดุหลังอบแห้ง (%db), m_d คือ มวลแห้งของกากมัน ($\text{kg}_{\text{dry matter}}$), t คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

2.4.3 สัดส่วนการร่วงผ่านตะแกรง

จะคิดในรูปของมวลแห้งของกากมันสำปะหลังที่ร่วงผ่านตะแกรงต่อมวลแห้งของกากมันสำปะหลังเริ่มต้น (สมการ (3))

$$GPS = \frac{GW}{AW} \times 100\% \quad (3)$$

โดยที่ GPS คือ สัดส่วนการร่วงผ่านตะแกรง (%), GW คือ มวลแห้งของกากมันสำปะหลังที่ร่วงผ่านตะแกรง ($\text{kg}_{\text{dry matter}}$), AW คือ มวลแห้งของกากมันสำปะหลังเริ่มต้น ($\text{kg}_{\text{dry matter}}$)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ลักษณะกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้ง

กากมันที่ได้จากการอบแห้งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ กากมันสำปะหลังที่ร่วงผ่านรูตะแกรงของถังอบ และกากมันสำปะหลังซึ่งยังคงค้างอยู่ภายในตะแกรงถังอบ โดยลักษณะของกากมันสำปะหลังที่ร่วงผ่านรูตะแกรงจะมีลักษณะเป็นผงเส้นใยละเอียด (Figure 3) ขนาดเล็กกว่ารูตะแกรง กากมันสำปะหลังเหล่านี้จะร่วงผ่านตะแกรงมากในช่วงต้นทำให้มีเวลาสัมผัสกับลมร้อนได้น้อยความชื้นยังคงสูงจึงควรนำกลับมาลดความชื้นอีกครั้งขณะที่กากมันสำปะหลังส่วนที่ยังคงค้างภายในถังตะแกรง

ทรงกระบอก (Figure 4) จะเป็นกากมันสำปะหลังที่จับตัวเป็นก้อนโตกว่าขนาดรูตะแกรงจึงไม่ร่วงผ่านตะแกรงทำให้ได้รับความร้อนจากลมร้อนอย่างต่อเนื่องจึงมีความชื้นต่ำเมื่อการอบแห้งสิ้นสุดลง



Figure 3 Cassava pulp pass through the sieve.



Figure 4 Residue cassava pulp in the sieve.

สัดส่วนการร่วงผ่านตะแกรง จะขึ้นอยู่กับปริมาณกากมันสำปะหลังภายในถังอบและอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งปริมาณกากมันสำปะหลังภายในถังอบที่ 20 และ 40 kg มีสัดส่วนการร่วงผ่านตะแกรงใกล้เคียงกันแต่สัดส่วนการร่วงผ่านตะแกรงสูงกว่าที่ 60 kg ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปริมาณการบรรจุเพิ่มมากขึ้นทำให้ความต้านทานการรูดผ่านรูตะแกรงของกากมันมีมากขึ้นจากชั้นของกากมันที่ติดกับผนังตะแกรง ส่วนที่อุณหภูมิ 100°C มีสัดส่วนการร่วงผ่านตะแกรงน้อยกว่าอุณหภูมิ 120°C ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้ผิวด้านนอกของก้อนกากมันแห้งก่อนเมื่อได้รับแรงจากการหมุนและกระแทกจากการโรยตัวทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ รูดออกมาจากรูตะแกรงได้แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณของกากมันในถังอบด้วย (Figure 5)

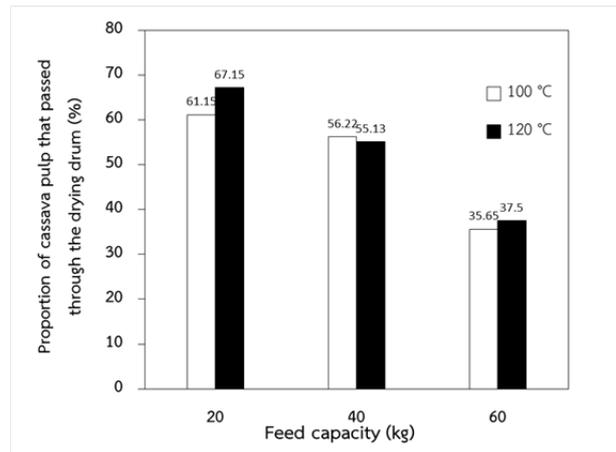
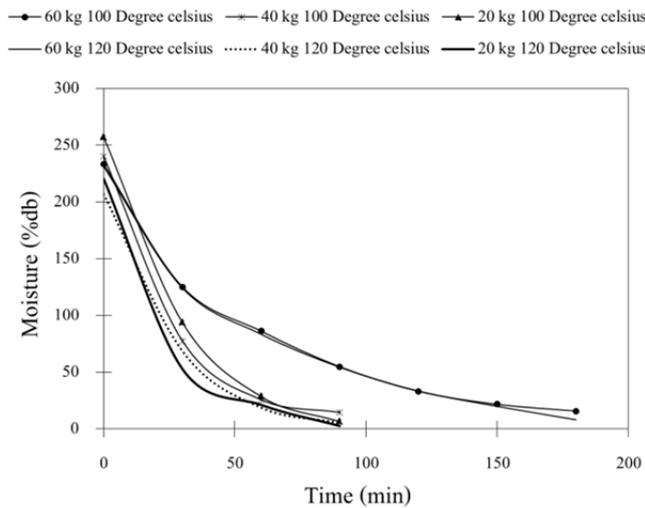


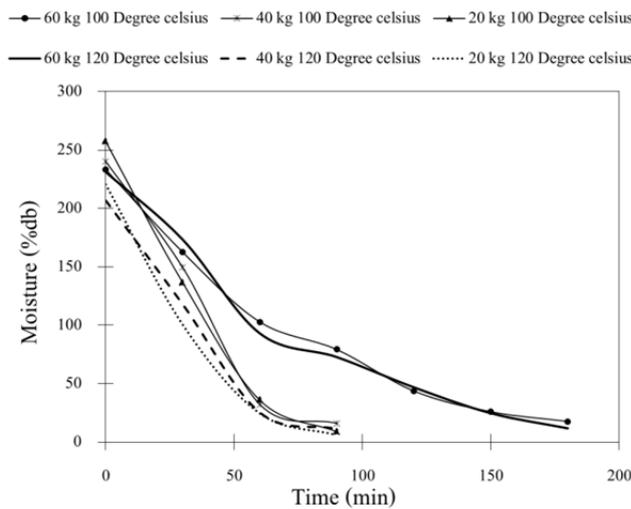
Figure 5 Proportion of cassava pulp that passed through the drying drum.

3.2 สมรรถนะการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาความสามารถในการลดความชื้นกากมันสำปะหลังพบว่ากากมันสำปะหลังที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนจะประกอบด้วยกากมันสำปะหลัง 2 ส่วน คือ กากมันสำปะหลังที่ร่วงผ่านรูตะแกรงและกากมันสำปะหลังที่ค้างตะแกรง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการอบแห้งของกากมันสำปะหลังทั้งสองส่วนนี้พบว่ามีความเหมือนกัน (Figure 6) เมื่อพิจารณาจากปริมาณการบรรจุกากมันสำปะหลังในถังอบแห้งพบว่าปริมาณการบรรจุกากมันสำปะหลังมีผลต่อความสามารถในการลดความชื้นของกากมันสำปะหลัง โดยที่ปริมาณการบรรจุต่ำคือ 20 และ 40 kg ความสามารถในการลดความชื้นของกากมันสำปะหลังที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อการบรรจุเพิ่มขึ้นเป็น 60 kg ความสามารถในการลดลงของความชื้นกากมันสำปะหลังจะมีค่าลดลงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นความสามารถในการลดความชื้นจึงขึ้นอยู่กับปริมาณการบรรจุด้วย ปริมาณการบรรจุที่น้อยเกินไป (20 kg) ทำให้มีสัดส่วนของปริมาตรว่างภายในถังอบเหลือมากจึงเป็นการบรรจุที่ไม่เต็มความสามารถของเครื่องอบแห้ง ส่วนในกรณีที่บรรจุมากเกินไป (60 kg) ทำให้มีปริมาตรว่างภายในถังอบเหลือน้อยโอกาสที่กากมันจะสัมผัสกับอากาศร้อนจึงน้อยกว่าทำให้ความสามารถในการลดความชื้นลดลง



(a) Cassava pulp passed through the drying drum.



(b) Cassava pulp that remained in the drying drum.

Figure 6 Drying characteristic curve of cassava pulp.

เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจาก 100 เป็น 120°C ส่งผลต่อความสามารถในการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งตะแกรงหมุน โดยที่อุณหภูมิ 120°C สามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าแต่ไม่เร็วกว่า 1 ชั่วโมงของการเก็บข้อมูลคือ 30 นาที จึงทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งกากมันสำปะหลังที่ปริมาณการบรรจุ 20 และ 40 kg ยังคงใช้เวลา 1.5 h เท่าเดิม ส่วนที่ปริมาณการบรรจุ 60 kg ก็ยังคงใช้เวลาในการอบแห้ง 3 h (Figure 6) จึงจะได้ความชื้นสุดท้ายตามต้องการ (ต่ำกว่า 15%db) เมื่อพิจารณาจากเส้นอัตราการอบแห้งของกากมันสำปะหลังพบว่า การอบแห้งกากมันสำปะหลังมีพฤติกรรมการอบแห้งอยู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period of drying) ในทุกสภาวะการอบแห้ง (Figure 7) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นในกากมันสำปะหลังที่นำมาอบแห้งนี้จะเป็น

ความชื้นที่อยู่ภายในเนื้อไม้ได้เป็นความชื้นอิสระซึ่งถูกกำจัดออกเบื้องต้นด้วยวิธีเอกซ์ทรูชัน โดยที่ปริมาณการบรรจุ 20 และ 40 kg มีอัตราการอบแห้งที่ใกล้เคียงกันและสูงกว่าที่ปริมาณการบรรจุ 60 kg จึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งที่น้อยกว่า

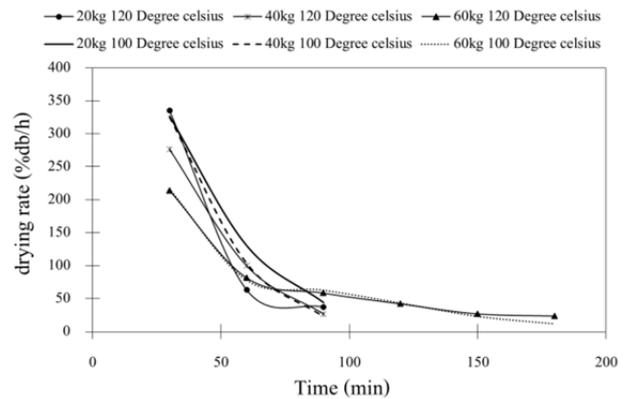


Figure 7 Drying rate curves of cassava pulp.

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการอบแห้งตลอดช่วงเวลาของการอบแห้งในรูปของอัตราการระเหยน้ำพบว่าปริมาณการบรรจุมีผลต่ออัตราการอบแห้งโดยที่ปริมาณการบรรจุ 40 kg ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดคือ $13.6 \text{ kg}_{\text{water}} \text{ h}^{-1}$ (Figure 8) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าปริมาณการบรรจุมีความเหมาะสมซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของไพบูลย์ (2533) ที่แนะนำว่าปริมาณของวัสดุในถังอบแบบโรตารีที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 10-15% ของปริมาตรถังอบ ซึ่งปริมาณการบรรจุ 20, 40 และ 60 kg ของกากมันสำปะหลังคิดเป็น 7, 14 และ 21% ของปริมาตรถังตามลำดับ ดังนั้นปริมาณการบรรจุน้อยเกินไป (20 kg) จะก่อให้เกิดการทำงานที่ไม่เต็มสมรรถนะของเครื่องเนื่องจากลมร้อนยังสามารถรับความชื้นจากวัสดุได้อีก ส่วนการบรรจุที่มากเกินไปจะทำให้โอกาสที่วัสดุสัมผัสกับลมร้อนมีน้อยการอบแห้งจึงใช้เวลานานมากขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งจึงต่ำกว่า

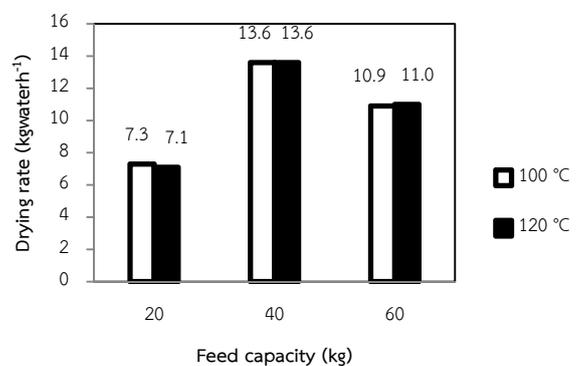


Figure 8 Drying rate of cassava pulp.

เมื่อพิจารณาในด้านความคุ้มค่าทางพลังงานในรูปของค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะพบว่าทั้งปริมาณการบรรจุและอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งต่างส่งผลกระทบต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เมื่อปริมาณกากมันสำปะหลังในถังอบมีปริมาณมากหรือน้อยไปจะใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำสูงซึ่งปริมาณกากมันสำปะหลังภายในถังอบที่ 40 kg และอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง 100°C ใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำน้อยกว่าสภาวะอื่นคือ $5.62 \text{ MJ (kg}_{\text{water}})^{-1}$ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกากมันสำปะหลังภายในถังอบเดียวกัน อุณหภูมิความร้อน 100°C จะใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำน้อยกว่าอุณหภูมิความร้อน 120°C ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นให้อัตราการระเหยน้ำที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น (Figure 9)

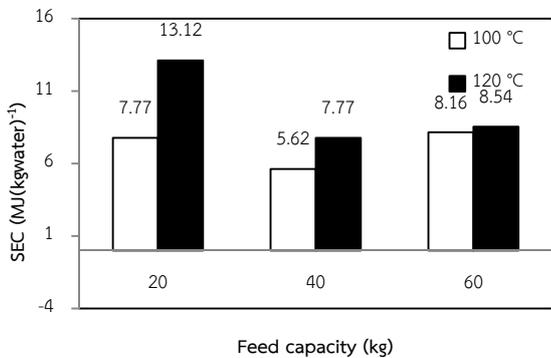


Figure 9 Specific energy consumption.

3.3 การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน

จากการทดสอบจะเห็นว่ากากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งแบบตะแกรงหมุนจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนที่ร่วงผ่านตะแกรงซึ่งมีความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาอบแห้งคือ 107.21%db ซึ่งเป็นส่วนที่ยังมีความชื้นสูงโดยเฉพาะช่วงต้นของการอบแห้ง (Figure 6a) จะต้องมีการนำไปทำการอบแห้งอีกขั้นตอนหนึ่งเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการจัดเก็บ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กับกากมันสำปะหลังที่ค้างอยู่ในถังอบแห้งซึ่งมีความชื้นต่ำเพียงพอในการเก็บรักษากากมันทั้งสองส่วนมีความแตกต่างกันที่ขนาดของกากมันสำปะหลัง คือ ขนาดน้อยกว่า 3 mm และขนาดมากกว่า 3 mm โดยที่สภาวะการอบแห้ง 100°C, 40 kg ให้สัดส่วน 56:44 (Figure 5) ซึ่งการนำกากมันสำปะหลังแห้งนี้ไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบจึงสามารถทำได้ เช่น ในส่วนของกากมันสำปะหลังแห้งที่มีขนาดน้อยกว่า 3 mm สามารถนำไปผลิตเป็นวัตถุดิบอาหาร

สัตว์ได้ (ปิยนาด, 2547; สุทิสสา, 2553) ส่วนขนาดมากกว่า 3 mm สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาต่อไป

4 สรุป

จากการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้ ปริมาณกากมันสำปะหลังภายในถังอบ 40 kg และอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง 100°C เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน เนื่องจากให้อัตราการอบแห้งสูงสุดคือ $13.60 \text{ kg}_{\text{water}} \text{ h}^{-1}$ และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพียง $5.62 \text{ MJ (kg}_{\text{water}})^{-1}$ ซึ่งน้อยกว่าที่สภาวะอื่น

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

U.S. Department of energy. 2556. Lower and Higher Heating Values of Fuels. แหล่งข้อมูล: http://hydrogen.pnl.gov/cocoon/morf/hydrogen/site_specific/fuel_heating_calculator?canprint=false เข้าถึงเมื่อวันที่ 7 มกราคม 2556.

กิตติพงษ์ กุลมาตย. 2537. การอบแห้งข้าวเปลือกแบบถังทรงกระบอกหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธนธัช มุขพันธ์, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, พรรษา ลิบลับ และวีรชัย อาจหาญ. 2552. การอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งหมุนแบบกะ. การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6, หน้า 582-588.

ปีตุนาด หนูเสน. 2547. การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารชั้นต่อการใช้ผลผลิตของโคนมลุกผสมพันธุ์ไฮลสไตร์พีเซียน. วิทยานิพนธ์สาขาเทคโนโลยีผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา 199 หน้า.

พิพัฒน์ อมตฉายา. 2548. รายงานการวิจัย การอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา.

ไพบุลย์ ไรจน์วิบูลย์ชัย. 2535. การอบแห้งข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วีรชัย อาจหาญ, วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน, พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, เทวรัตน์ ทิพยวิมล, ศธา วาทกิจ, พรรษา ลิบลับ, ชาญชัย

- โรจนส์โรซ, สามารถ บุญอาจ และวิเชียร ดวงสีเสน. 2552. การพัฒนากระบวนการผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล. รายงานโครงการวิจัย งานวิจัยเพื่อนวัตกรรมประจำปีงบประมาณ 2551, ภาควิชาศูนย์นวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 82 หน้า.
- สมชาติ โสภณธฤทธิ. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สุระ ตันดี, ศุภฤกษ์ ขามงคลประดิษฐ์, โชติชวาล ชัยธวัชวิบูลย์, อนุชา สมพงษ์. 2553. คุณลักษณะของการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่อง. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม ครั้งที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2553, 18 สิงหาคม 2553 ณ ห้องประชุมอาคาร 14 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.
- สุทธิศักดิ์ ภัทรสถาพรกุล. 2543. การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบบีบความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 123 น.
- สุทธิสา เข้มผกา. 2553. การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสำหรับไก่เนื้อ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 42 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. มันสำปะหลังโรงงาน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2551. แหล่งข้อมูล: http://www2.oae.go.th/statistic/yearbook5_0/production/fieldcrop/cassava2_3-5_2.xls เข้าถึงเมื่อ 23 ธันวาคม 2554.