

การอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน

Cashew Kernel Drying with Rotating Tray Dryer

ธนิต สวัสดิ์เสวี สมชาติ โสภณรณฤทธิ์
อดิศักดิ์ นาถกรณกุล และ เปี่ยมศิลป์ ทองทิพย์

Thanit Swasdisevi, Somchart Soponronnarit,
Adisak Nathakaranakule, and Pieamsin Thongthip

ABSTRACT

The objective of this research is to investigate a suitable condition for drying cashew kernel with rotating tray dryer. Criterion used to consider are as follows: quality of product after drying, drying time and specific energy consumption.

Experimental results showed that the drying time decreased when drying air temperature increased. The appropriate drying condition is at drying air temperature of 90°C, recycled air fraction of 0.45 and specific air flow rate of 70 kg dry air/h-kg dry cashew kernel (air velocity 0.07 m/s). The product quality after drying is acceptable while drying time is low. The specific energy consumption is 68.22 MJ/kg water evap. or 6.85 MJ/kg cashew kernel. Drying cost analysis is reported at 260 baht/kg water evap. or 26.13 bath/kg cashew kernel.

Key words : cashew kernel, drying, rotating tray dryer

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและหาแนวทางในการอบแห้งที่เหมาะสมของเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน

โดยทำการทดลองอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ที่สภาวะต่าง ๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาเป็นดังนี้ คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และความสัมพันธ์เปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง

จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศที่ใช้ออบแห้งเพิ่มขึ้น จะทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลงและในสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ คือที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้ง 90°C สัดส่วนเวียนกลับของอากาศที่ใช้ออบแห้ง 0.45 โดยใช้อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ 70 กิโลกรัม/อากาศแห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์แห้ง (ความเร็วของลม 0.07 เมตรต่อวินาที) ผลผลิตแห้งที่ได้จากการอบแห้งมีคุณภาพดี เวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อย โดยพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมีค่า 68.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย หรือ 6.85 เมกะจูลต่อกิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ และต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งสำหรับการระเหยน้ำออกจากเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ มีค่าเท่ากับ 260 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย หรือ 26.13 บาทต่อกิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์

คำนำ

เมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก เกษตรกรปลูกมะม่วงหิมพานต์เพื่อเก็บผล (nut) แล้วนำมากระเทาะเปลือกออกซึ่งจะได้เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่สามารถขายเป็นสินค้าส่งออกนอกประเทศในรูปแบบอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากปริมาณของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีมากน้อยตามฤดูกาล และมีไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการแปรรูปเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ให้อยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อยืดอายุในการเก็บให้ยาวนาน ซึ่งการอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อเก็บเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ กระบวนการอบแห้งที่ดีต้องคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ต้องเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และมีความสิ้นเปลืองของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งต่ำในกระบวนการ

อบแห้งปัญหาที่พบคือ ผู้ผลิตยังไม่ทราบเงื่อนไขและสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง จึงทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ไม่ได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการและค่าใช้จ่ายในการผลิตค่อนข้างสูง การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลกระทบท่อกระบวนการอบแห้งจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากพารามิเตอร์เหล่านี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาเงื่อนไข และสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์

กิตติวัฒน์ (2537) ศึกษาการอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. การทดลองหาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อนในช่วง $70-90^{\circ}\text{C}$ ความเร็วของลมร้อนในช่วง 0.8-2.0 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ในช่วง 13-20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จำนวนของถาดที่ใช้ในการอบแห้งคือ 1-3 ถาด และใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้ง 2. การทดลองเพื่อการกำหนดสภาวะและเงื่อนไขที่เหมาะสมโดยใช้เกณฑ์ที่พิจารณาคือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิของลมร้อน และ ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง มีผลต่ออัตราการอบแห้ง การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนสูง จะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนต่ำ การอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อน หรือค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์สูง จะสิ้นเปลืองพลังงานสูง และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเข้มกว่าผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนหรือความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ต่ำ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อน $70-80^{\circ}\text{C}$ จะมี

รสชาติมันกว่าที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อน 85-90°C สมควร (2532) ศึกษาการอบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยสร้างตู้อบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขึ้น 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นตู้อบแห้งไฟฟ้าที่มีความจุ 40 กิโลกรัม ใช้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งระหว่าง 90-100°C มีการติดตั้งพัดลมเพื่อระบายความร้อน ใช้เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง 12-16 h และมีความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูง ส่วนแบบที่สองเป็นตู้อบแห้งซึ่งมีความจุ 200 กิโลกรัม ใช้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งระหว่าง 50-70°C ทางด้านบนของตู้อบแห้งติดตั้งท่อระบายความร้อน ใช้เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง 24-35 ชั่วโมง และใช้เชื้อเพลิง

สุภารธรรม และ ยุทธนา (2537) ได้สร้างอุปกรณ์อบแห้งเมล็ดพืชชั้นบางและศึกษาพารามิเตอร์ของการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ อุณหภูมิของอุปกรณ์อบแห้งถูกควบคุมด้วยระบบให้ความร้อนกึ่งอัตโนมัติในช่วง 30-75°C โดยควบคุมอัตราการไหลของอากาศด้วยวาล์วผีเสื้อ (butterfly valve) ในช่วงความเร็ว 1.0-2.0 เมตรต่อวินาที จากการทดลอง พบว่า ค่าความชื้นสมดุลสอดคล้องกันกับแบบจำลองของ Henderson (1952) และแบบจำลองในทางคณิตศาสตร์ที่ทำนายผลการทดลองการอบแห้งได้ดีที่สุดเป็นแบบเอมไพริคัล (Page, 1949) สมการอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ชั้นบางแบบเอมไพริคัลสามารถทำนายผลการอบแห้งได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ออบแห้ง 45-60°C ที่ความเร็วลม 2.19 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์อยู่ในช่วงร้อยละ 19-38 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยค่าคงที่ p และ ค่าคงที่ n อยู่ในรูปสมการที่เป็นฟังก์ชันกับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ สมการมีรูปแบบดังนี้

$$MR = \exp(-pt^n) \quad (1)$$

เมื่อ $p = 6.93 - 1.29 \times 10^{-1} RH - 1.84 \times 10^{-1} T + 7.18 \times$

$$10^{-4} RH^2 + 1.25 \times 10^{-3} T^2 + 2.09 \times 10^{-3} RHT$$

$$n = -9.04 + 2.29 \times 10^{-1} RH + 2.37 \times 10^{-1} T - 1.34 \times 10^{-3} RH^2 - 1.43 \times 10^{-3} T^2 - 2.87 \times 10^{-3} RHT$$

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเงื่อนไขและสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน โดยคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์แบบถาดหมุน (Figure 1) มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้ ตู้อบแห้งเป็นตู้รูปทรงสี่เหลี่ยมมีขนาด $0.40 \times 0.45 \times 0.93$ ลูกบาศก์เมตร (Figure 2) ภายในมีชุดโซ่ส่งกำลังและ ที่วางถาดอบแห้ง จำนวน 8 ถาด โดยที่ถาดอบแห้งสามารถเคลื่อนที่ไปตามชุดโซ่ส่งกำลัง (Figure 3, 4) ถาดอบแห้งมีขนาด $0.15 \times 0.30 \times 0.03$ ลูกบาศก์เมตร ทำด้วยสแตนเลสโปร่งทุกด้าน ด้านหน้าของตู้อบแห้งมีประตูสำหรับนำถาดวัสดุ เข้า - ออก จากตู้อบแห้ง ท่อลมเข้าตู้อบแห้ง มีลักษณะเป็นท่อกลมและเป็นกรวยสี่เหลี่ยมเพื่อช่วยในการกระจายลมเข้าตู้อบแห้ง ท่อลมออกจากตู้อบแห้งต่อกับท่อลมเวียนกลับและมีลิ้นแบบผีเสื้อ (butterfly damper) เพื่อใช้ปรับปริมาณลมร้อนที่เวียนกลับเข้าตู้อบแห้ง พัดลมเป่าอากาศเป็นพัดลมแบบเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง (backward-curved blade centrifugal fan) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้า ขดลวดความร้อน (electric heater) ติดตั้งอยู่ภายในท่อลมก่อนเข้าตู้อบแห้งมีขนาด 2.0 กิโลวัตต์ อัตราการไหลของอากาศควบคุมโดยการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ออบแห้งควบคุมโดยเทอร์โมสแตทความเร็วรอบของถาดอบแห้งควบคุมโดยชุดทรอบ

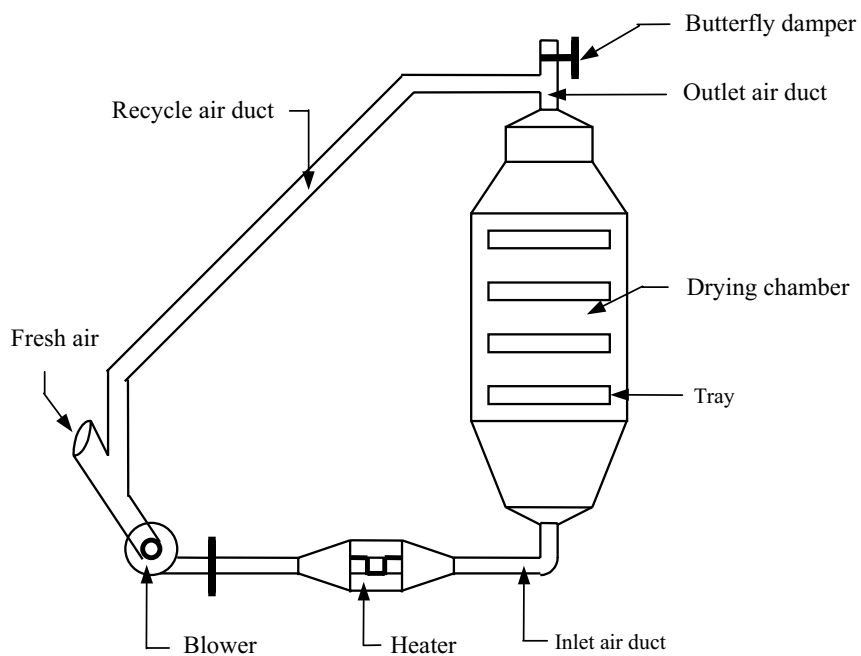


Figure 1 Schematic of rotating tray dryer showing the principal components.

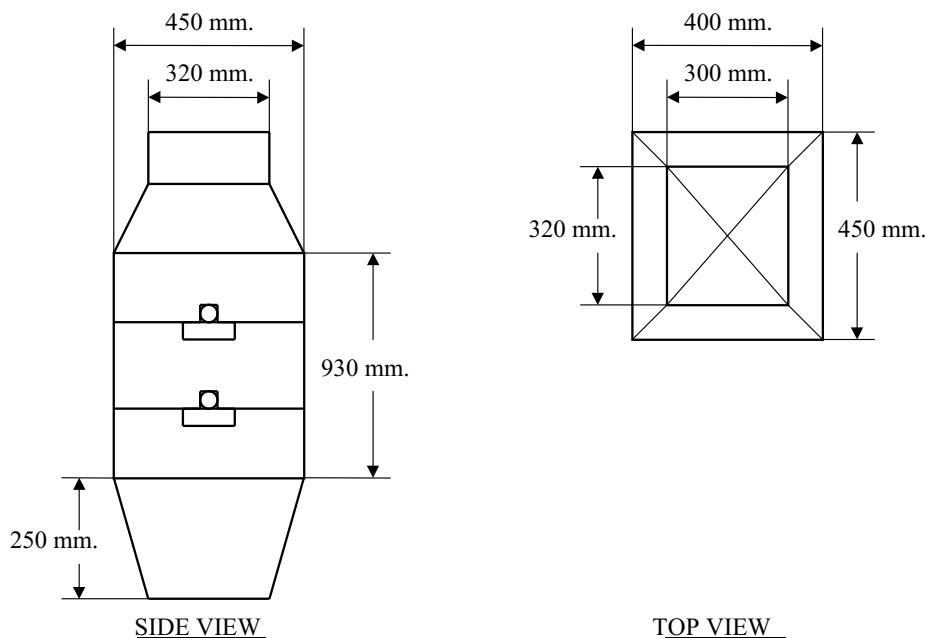


Figure 2 Dimension of a drying chamber.

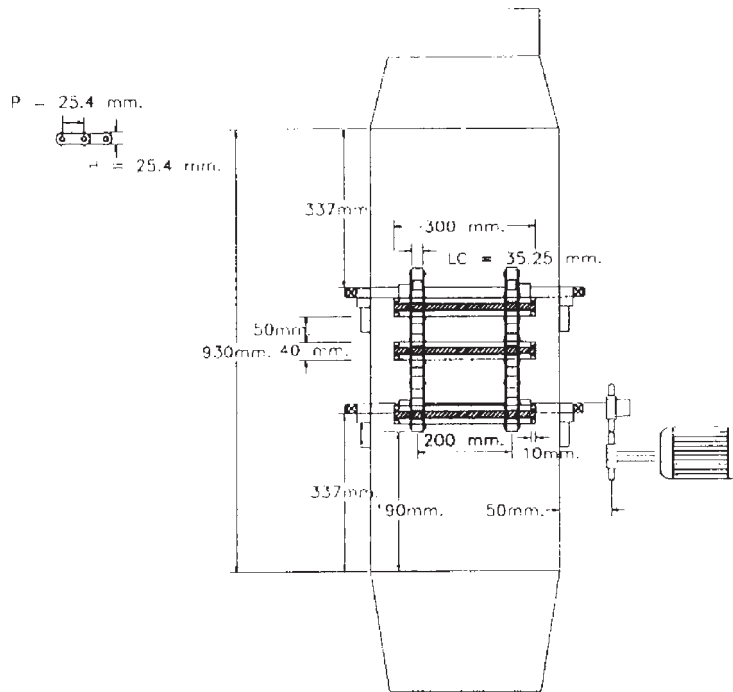


Figure 3 Mechanical of shaft power in drying chamber.

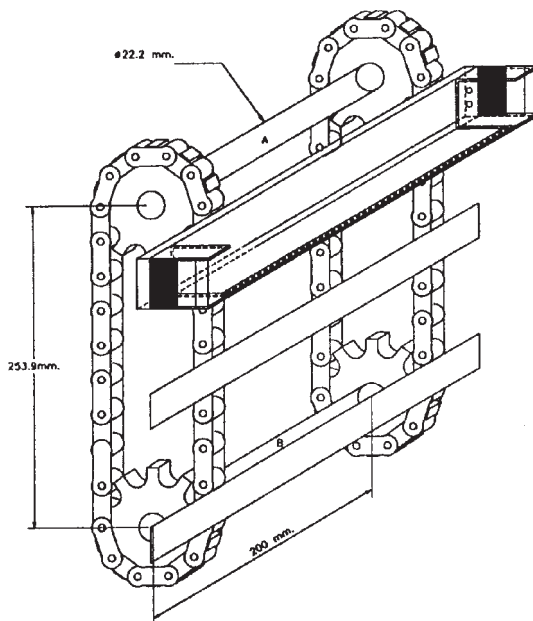


Figure 4 Chain conveyor of power.

ซึ่งประกอบด้วย มอเตอร์ ตัวปรับความเร็ว และ เกียร์ทดรอบ ซึ่งมีอัตราทดรอบที่ 60:1 จำนวนรอบที่ได้จากชุดทดรอบ อยู่ในช่วง 0 - 60 รอบต่อนาที

ก่อนการทดลองนำเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ มาหาความชื้นเริ่มต้น จากนั้นนำเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์บรรจุลงในถาดอบแห้งที่วางอยู่บนชุดส่งกำลัง ซึ่งขับเคลื่อนให้ถาดเคลื่อนที่ในแนวนิ่ง โดยสามารถวางถาดอบแห้งได้ 8 ถาด ทำการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิของลมร้อน 80°C และ 90°C ทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนอากาศเวียนกลับเป็น 45 %, 55%, 65%, 75% และ 85% โดยใช้ลิ้นแบบผีเสื้อทำการวัดความเร็วของอากาศที่เข้าและอากาศที่ให้อากาศเวียนกลับ โดยใช้ hot wire anemometer ค่าความถูกต้อง $\pm 2\%$ วัดอุณหภูมิของอากาศที่เข้า และอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้ง โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล type K

ต่อเข้ากับเครื่อง data logger ค่าความถูกต้อง $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Figure 5) โดยบันทึกค่าอุณหภูมิทุก ๆ ชั่วโมงตลอดการทดลอง บันทึกค่าความเปลี่ยนแปลงพลังงานโดยใช้ กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ (Kilowatt-hour meter) หลังจากอบแห้ง เก็บตัวอย่างเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์เพื่อนำมาหาความชื้นสุดท้าย นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาคุณภาพของเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์หลังการอบแห้ง โดยการตรวจสอบสีของผลิตภัณฑ์ซึ่งใช้แถบสีมาตรฐานของ The Royal Horticultural Society London ทั้งนี้เพื่อให้ได้คุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ผลและวิจารณ์

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศที่ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้ง

จากผลการทดลองอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ซึ่งแสดงใน Table 1 เมื่อนำอุณหภูมิ

ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้ง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมาเขียนกราฟ พบว่า อุณหภูมิอบแห้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งมีค่าค่อนข้างคงที่ (Figure 6)

2. การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กับผลที่วัดได้จากการทดลอง พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนความชื้น (MR) กับ เวลาที่ใช้อบแห้ง (drying time) ของเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง (Figure 7)

สมการเอมไพริคัลของ Page(1949) ที่ได้จากการทดลองในช่วงอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้อบแห้ง $80-90^{\circ}\text{C}$ ความเร็วลม 0.07 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์อยู่ในช่วง 13-15

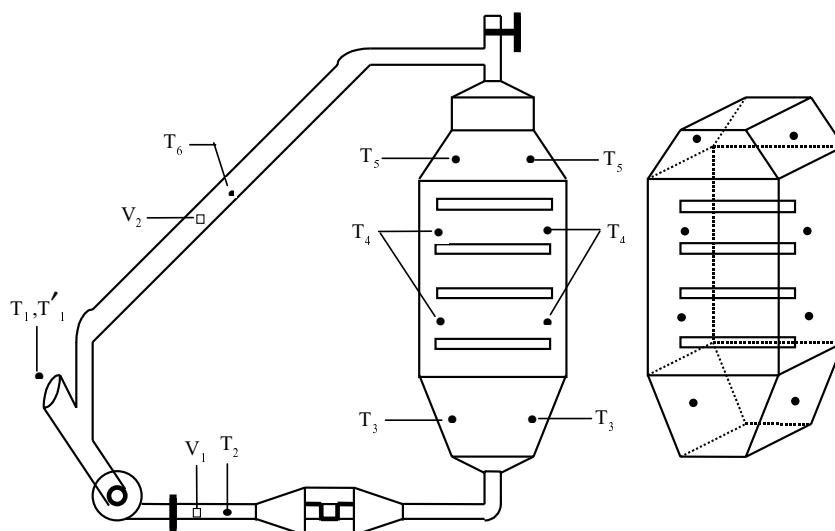


Figure 5 Positions for measuring air temperature and air speed in rotating tray dryer.

- Temperature, dry basis ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$)
- Temperature, wet basis (T'_1)
- Air speed (V_1, V_2)

เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง เป็นดังนี้

$$MR = \exp(-pt^n) \quad (2)$$

$$เมื่อ \quad p = -2.20935 - 0.48434 \text{ RH} + 0.06043 \text{ T} - 0.05370 \text{ RH}^2 + 0.00009 \text{ T}^2 - 1.1414 \text{ RHT}$$

$$n = -2.24092 - 0.48978 \text{ RH} + 0.07659 \text{ T} - 0.05444 \text{ RH}^2 - 0.00074 \text{ T}^2 + 0.0890 \text{ RHT}$$

$$\text{สำหรับ } 80^\circ\text{C} \leq T \leq 90^\circ\text{C}$$

$$0.23 \leq \text{RH} \leq 0.27$$

$$45\% \leq \text{Recycled air (RC)} \leq 85\%$$

3. การหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสม

ในการศึกษาหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสมพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 90°C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ทางด้าน

Table 1 Experimental results of cashew kernel drying at the same final moisture content.

Description	Test no.					
	1	2	3	4	5	6
Drying air condition						
Average temperature ($^\circ\text{C}$)	80.9	80.9	80.1	90.9	90.4	90.3
Initial weight (kg)	4.13	4.14	4.17	4.07	4.31	4.27
Specific mass flow rate (kg dry air/h·kg dry cashew kernel)	70	70	70	70	70	70
Fraction of air recycled (%)	65	75	85	65	55	45
Ambient condition						
Average temperature ($^\circ\text{C}$)	31.1	32.1	32.9	31.5	31.2	30.5
Average relative humidity (%)	64.3	58.7	61.1	61.7	65.8	70.1
Condition of cashew kernel						
Average moisture before drying (% db)	13.02	13.99	13.27	13.27	13.10	13.95
Average moisture after drying (% db)	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Final weight (kg)	3.78	3.76	3.81	3.72	3.94	3.88
Energy consumption						
Motor 1 for blower (kW·h)	1.83	2.00	2.00	1.74	1.70	1.59
Motor 2 for transmission (kW·h)	0.66	0.72	0.72	0.62	0.61	0.57
Heater (kW·h)	4.27	4.18	4.26	4.55	5.58	5.23
Total (kW·h)	6.76	6.90	6.98	6.91	7.89	7.39
Specific energy consumption						
Motor 1 for blower (MJ/kg- H_2O evap.)	18.82	18.95	20.00	17.90	16.54	14.68
Motor 2 for transmission (MJ/kg- H_2O evap.)	6.79	6.82	7.20	6.38	5.93	5.26
Heater (MJ/kg- H_2O evap.)	43.92	39.60	42.60	46.80	54.29	48.28
Total (MJ/kg- H_2O evap.)	69.53	65.37	69.80	71.08	76.76	68.22
Drying time (h)	8.45	9.21	9.24	8.01	7.82	7.34

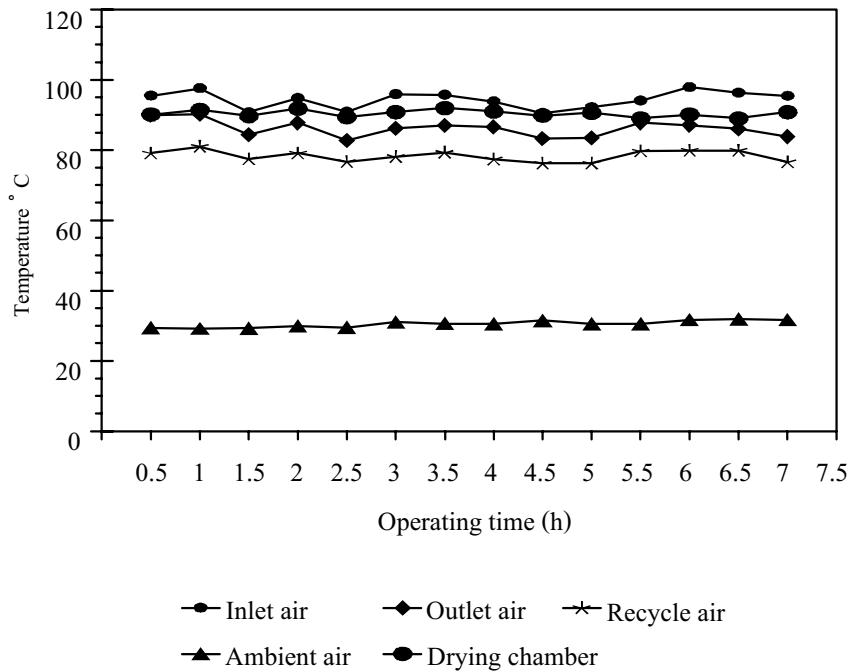


Figure 6 Temperature profile at various positions (drying air temperature of 90°C and recycled air of 45 %).

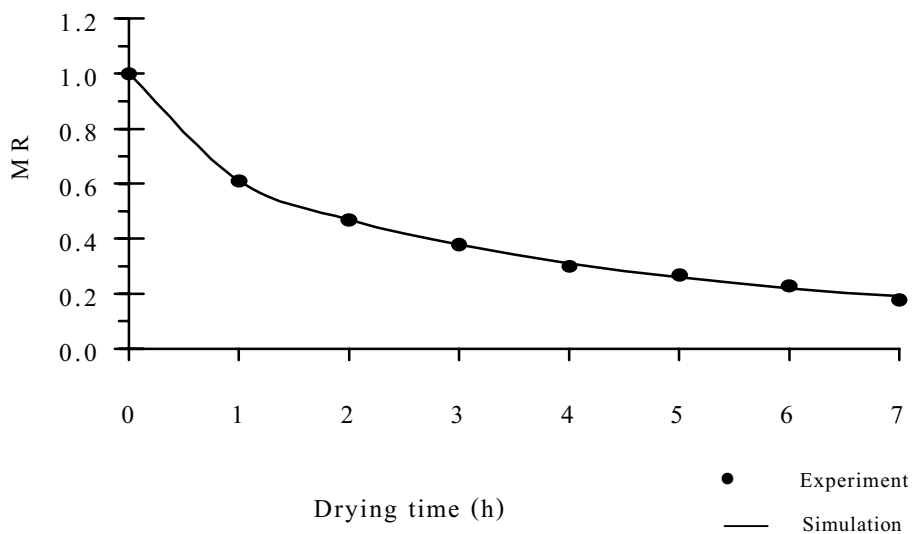


Figure 7 Comparison between experimental and simulation results (drying air temperature 90°C, recycled air 45%, specific air flow rate 70 kg/h-kg dry cashew kernel).

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะคิดแยกเป็น ในส่วนของมอเตอร์ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่อุณหภูมิอบแห้ง 90°C จะน้อยกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 80°C เพราะที่อุณหภูมิอบแห้ง 90°C มอเตอร์จะทำงานน้อยกว่าเนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า ในส่วนของขดลวดความร้อน(heater) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่อุณหภูมิอบแห้ง 90°C จะมากกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 80°C เพราะขดลวดความร้อนต้องทำงานมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงพลังงานรวมทั้งหมดพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 90°C มีแนวโน้มความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ทางด้านสัดส่วนอากาศเวียนกลับพบว่าทั้ง 2 ช่วงอุณหภูมิเมื่อสัดส่วนเวียนกลับของอากาศลดลงเวลาในการอบแห้งจะลดลง ทางด้านความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเวียนกลับของอากาศ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะพบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ดังนั้นเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเป็นเกณฑ์ พบว่าสถานะในการอบแห้งที่เหมาะสมคือ สถานะที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดซึ่งเป็นดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง 90°C อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 70 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์แห้งสัดส่วนอากาศเวียนกลับ 45% ใช้เวลาในการอบแห้ง 7.34 ชั่วโมง มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมด 68.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย (6.85 เมกะจูลต่อกิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์) โดยแยกเป็น ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจาก มอเตอร์ตัวที่ 1 สำหรับพัดลม 14.68 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย (1.47 เมกะจูลต่อกิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์) มอเตอร์ตัวที่ 2 สำหรับชุดส่งกำลัง 5.26 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย (0.53 เมกะจูลต่อกิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์) และขดลวดทำความร้อน 48.28 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย (4.85 เมกะจูลต่อกิโลกรัมเมล็ดใน

มะม่วงหิมพานต์) ตามลำดับ Figure 8 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ (จากความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 13 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จนมี ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 3.5 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง) ที่อุณหภูมิ 80°C โดยมีสัดส่วนอากาศเวียนกลับ 65%, 75%, 85% และ ที่อุณหภูมิ 90°C โดยมีสัดส่วนอากาศเวียนกลับ 45%, 55%, 65% ตามลำดับ

4. คุณภาพของผลิตภัณฑ์

คุณภาพของผลิตภัณฑ์เมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากการอบที่อุณหภูมิ 90°C จะมีคุณภาพดีที่สุดคือสีไม่เข้มมากเกินไป สีของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานของ The Royal Horticultural Society London) จากเกณฑ์มาตรฐาน สีที่วัดได้ของผลิตภัณฑ์ต้องเป็นสีขาวนวลอยู่ในเกณฑ์ Code 158 ระดับ A-D, 161 ระดับ A-D และ 164 ระดับ A-D หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C สัดส่วนอากาศเวียนกลับ 45% ได้สีของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ 158 ระดับ A (YELLOW-WHITE) ใน Table2

5. การประเมินค่าใช้จ่าย

การประเมินค่าใช้จ่ายประเมินที่สถานะในการอบแห้งที่เหมาะสมโดยมีเงื่อนไขที่ใช้ดังนี้กำลังการผลิต 4.27 กิโลกรัมต่อวงด เครื่องอบแห้งทำงานวันละ 2 วงด เวลาอบแห้ง 7 ชั่วโมงต่อวงด และในหนึ่งปี เครื่องอบแห้งทำงาน 3 เดือน อบแห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ได้ปีละ 698 กิโลกรัม ราคาต้นทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง 70,776 บาท อายุการใช้งาน 10 ปี ค่าบำรุงรักษารายปีคิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนการสร้างเครื่องอบแห้ง มูลค่าซากคิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนการสร้างเครื่องอบแห้ง ความ

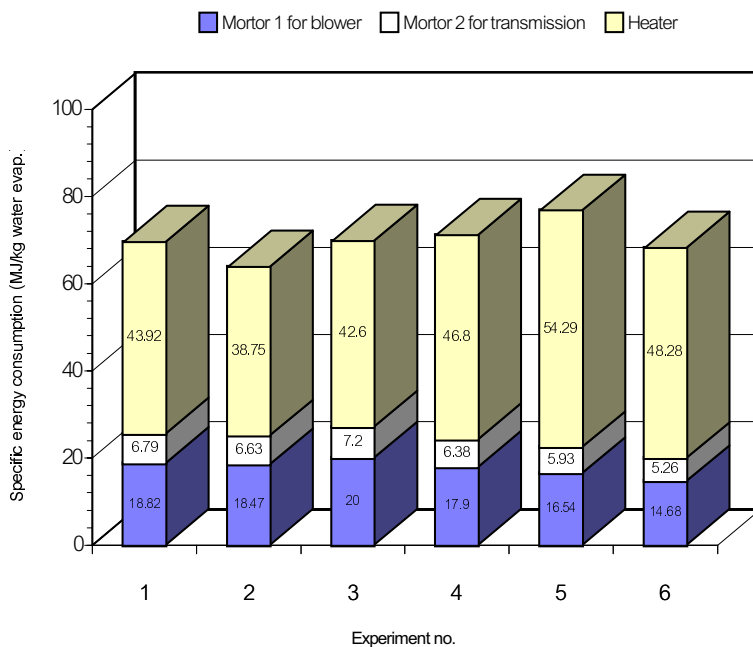


Figure 8 Specific energy consumption of cashew kernel drying (average initial moisture content of 13% db. and average final moisture content of 3.5 % db.).

Test No.1, Temperature 80°C, Fraction of air recycled = 0.65

Test No.2, Temperature 80°C, Fraction of air recycled = 0.75

Test No.3, Temperature 80°C, Fraction of air recycled = 0.85

Test No.4, Temperature 90°C, Fraction of air recycled = 0.65

Test No.5, Temperature 90°C, Fraction of air recycled = 0.55

Test No.6, Temperature 90°C, Fraction of air recycled = 0.45

Table 2 Quality of cashew kernel product compared to standard color (The Royal Horticultural Society London).

Test No.	Fraction of air recycled (%)	Temperature (°C)	Color (R.H.S. chart)
1	65	80	158 B
2	75	80	158 B
3	85	80	158 B
4	65	90	158 B
5	55	90	158 B
6	45	90	158 A

สามารถในการระเหยน้ำ 0.38 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อ
จวด ราคาไฟฟ้าต่อยูนิต 1.55 บาท อัตราการใช้ไฟฟ้า
1.01 กิโลวัตต์-ชั่วโมง อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 18
เปอร์เซ็นต์ต่อปี จากการประเมินค่าใช้จ่ายได้ค่าใช้จ่าย
รายปีรวมทั้งหมด 18,251 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 26.13
บาทต่อกิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ แยกเป็นค่า
ใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง 18.24 บาทต่อกิโลกรัม
เมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ ค่าไฟฟ้า 2.82 บาทต่อ
กิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ และค่าบำรุงรักษา
5.07 บาทต่อกิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์

สรุป

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบ
แห้งเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบ
ถาดหมุน สามารถทำนายการอบแห้งได้ดี โดยที่อัตรา
การอบแห้งจะใกล้เคียงกับการทดลอง ในการอบแห้ง
ควรคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้ในการ
อบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งจากผลการ
ทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง
เมล็ดในมะม่วงหิมพานต์คือที่ อุณหภูมิอบแห้ง 90°C
อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ 70 กิโลกรัมอากาศ
แห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์แห้ง
สดส่วนอากาศเวียนกลับ 45 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้ใน
การอบแห้งเป็น 7.34 ชั่วโมง และความสิ้นเปลือง
พลังงานจำเพาะทั้งหมดในการอบแห้ง 68.22 เมกะ
จูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย หรือ 6.85 เมกะจูลต่อ
กิโลกรัมเมล็ดในมะม่วงหิมพานต์

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้
จากการอบแห้งควรมีการทำ panel test ของ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งในแต่ละสภาวะด้วย

เพื่อความต้องการในการสรุปหาสภาวะการอบแห้งที่
เหมาะสม

2. ศึกษาชนิดของเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้
ทดแทนไฟฟ้าเพื่อลดต้นทุนในการผลิต

คำขอบคุณ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุน
สนับสนุนงานวิจัย ที่ให้การสนับสนุนกลุ่มวิจัย
เทคโนโลยีการอบแห้ง สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี

เอกสารอ้างอิง

- กิตติวัฒน์ วงศ์พิศาล. 2537. การอบแห้งเนื้อในเมล็ด
มะม่วงหิมพานต์ในเครื่องอบแห้งแบบถาด,
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี,
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- สมควร อินทรพาณิชย์. 2532. การแปรรูป
มะม่วงหิมพานต์. วารสารแก่นเกษตร 4 : 201-
206.
- สุวรรณ ภูริวนิชย์กุล และยุทธนา ภูริวนิชย์กุล.
2537. อุปกรณ์อบแห้งเมล็ดพืชชั้นบาง : พารามิ
เตอร์ของการอบแห้งชั้นบางของเนื้อในเมล็ด
มะม่วงหิมพานต์. วารสารสงขลานครินทร์ 16: 381-
392.
- Henderson, S.M. 1952. A basic concept of equilibrium.
Agricultural Engineering 33: 29-31.
- Page, G.E. 1949. Factor influencing the maximum
rate of drying shell corn in layers. MSc. Thesis,
Purdue Univ. West Lafayette, Indiana,

วันรับเรื่อง : 10 มิ.ย. 41
วันรับตีพิมพ์ : 15 ม.ค. 42