



การแพร่ความชื้นและปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน

Moisture diffusivity and energy consumption in palm oil fruit drying

สุรจิตร์ พระเมือง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ตำบลเมือง อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

Email: surajitr@lru.ac.th

บทคัดย่อ

การอบแห้งผลปาล์มน้ำมันในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100 °C นาน 8 ชั่วโมง จากความชื้นของผลปาล์มสด 46.25% 36.73% 41.06% 45.94% และ 42.50% มาตรฐานแห้ง ลดลงเหลือ 20.08% 14.51% 13.30% 10.35% และ 8.59% มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C จะทำให้ความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า และใช้เวลาสั้นที่สุด เหมาะสมในการนำไปสกัดน้ำมันปาล์มดิบอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า จะลดลงได้เร็วกว่าอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของการอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน จะมีค่าระหว่าง $(1.04 - 1.82) \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ แปรผันตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะระหว่าง $(5.04 - 7.97) \times 10^{-5} \text{ kg/kJ}$ และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ระหว่าง 12,542.66 - 19,825.53 kJ/kg โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C มีความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด

ABSTRACT

Drying of palm oil fruits in laboratory were performed at temperatures of 60, 70, 80, 90 and 100 °C for 8 hours with initial moisture contents decreasing from 46.25%, 36.73%, 41.06%, 45.94%, and 42.50% dry basis to 20.08%, 14.51%, 13.30%, 10.35% and 8.59% dry basis respectively. At 100 °C moisture content and drying were lowest suitable for crude palm oil extraction. The moisture ratios of the higher temperature decreased rapidly than the lower ones. Moisture diffusivity coefficients for palm fruits drying were ranged between $(1.04 - 1.82) \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ depending on drying temperature. Specific moisture extraction rate and specific energy

consumption were ranged of $(5.04 - 7.97) \times 10^{-4}$ kg/kJ and 12,542.66 – 19,825.53 kJ/kg, respectively. The drying of palm fruits at 90 °C consumed minimum energy.

คำสำคัญ: การอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน การแพร่ความชื้น อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

Keywords: Palm oil fruit drying, Moisture diffusivity, Specific moisture extraction rate, Specific energy consumption.

บทนำ

การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เป็นการดึงเอาไอน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ออกไป โดยอาศัยทั้งการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร ความร้อนจะทำให้ไอน้ำที่อยู่ในสถานะของเหลวเปลี่ยนเป็นไอ มีความดันสูงขึ้นดันตัวเองมาตามรูคาпилลารี (capillary) ของผลิตภัณฑ์ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับความชื้น และลักษณะทางกายภาพผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยเฉพาะปาล์มน้ำมันจะต้องรีบลดความชื้นภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต เพื่อหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซิส (lipolysis) หรือปฏิกิริยาเกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมัน ที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์ม การลดความชื้นผลปาล์มน้ำมันในระดับอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันขนาดใหญ่ จะเป็นการลดความชื้นแบบเปียก ที่ใช้วิธีการนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 110 °C – 140 °C การลดความชื้นแบบเปียกจะมีน้ำทิ้งซึ่งจะต้องบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม การลดความชื้นแบบแห้ง จึงเป็นทางเลือกที่ผู้ประกอบการขนาดเล็กและขนาดกลาง ให้ความสนใจ เนื่องจากสะดวกและลงทุนต่ำ แต่มีข้อเสียในด้านต้นทุนเชื้อเพลิงและระยะเวลาในการลดความชื้นนาน ทำให้มีคิสนสนใจในการศึกษาและพัฒนากระบวนการลดความชื้นผลปาล์มน้ำมันเพื่อลดเวลาในการลดความชื้น ลดต้นทุนเชื้อเพลิง ลดกรดไขมันอิสระ ให้คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Numan et al.,

2012) การพัฒนากระบวนการอบแห้งโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มลดความชื้นในเครื่องอบแห้งที่ออกแบบเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อให้สามารถนำอากาศร้อนที่ใช้ออบผลปาล์มน้ำมันกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ลดเวลาในการลดความชื้นลงได้ 23.6% (Panya, 2013) การใช้ลมร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวลหรือเศษทะลายปาล์ม (บัญญัติ, 2543) อบแห้งผลปาล์มน้ำมันแบบเบดนิ่ง (fixed bed) พบว่าความสูงของเบดที่เหมาะสมจะเป็น 40 cm และอุณหภูมิของลมร้อนเป็น 120 °C ข้อจำกัดของการอบแห้งแบบเบดนิ่ง คือ จะอบเป็นรอบ ๆ ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตค่อนข้างต่ำ การอบในปริมาณมาก ๆ ก็มีปัญหาปาล์มแห้งไม่สม่ำเสมอ การอบแห้งผลปาล์มน้ำมันแบบต่อเนื่องให้ไหลไปตามสกรู (ชัยวัฒน์, 2555) เป็นวิธีที่ช่วยให้การอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่สุรนิสสาและถนอมศักดิ์ (2558) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการอบผลปาล์มน้ำมัน โดยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (Ohmic heating) ซึ่งเป็นการอาศัยสภาพต้านทานไฟฟ้าของผลปาล์มน้ำมัน เมื่อจ่ายไฟฟ้าผ่าน บ่อลดความชื้นที่มีผลปาล์มน้ำมันและน้ำ จะทำให้เกิดความร้อนภายในผลปาล์มน้ำมัน โดยพบว่าสามารถลดเวลาของการลดความชื้นได้ 6.2 เท่า และประหยัดพลังงานได้ 1.5 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้วิธีการนึ่งด้วยไอน้ำ มาจนถึงปัจจุบันยังไม่มีมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน แต่มีการอบแห้งผลอินทผาลัม (Abdel et al., 2009) ด้วย

พลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้เห็นความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงอื่นร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน

การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ความสิ้นเปลืองพลังงานและอัตราการระเหยน้ำจำเพาะจากการอบแห้งของผลผลิตทางเกษตรในพืชตระกูลเดียวกันกับปาล์มน้ำมัน เช่น ผลหมาก (อีลีหียะและคณะ, 2555) ซึ่งพบว่า อุณหภูมิของการอบแห้ง มีผลต่อระยะเวลาการอบ และคุณภาพของหมากแห้ง การวิจัยนี้จะศึกษาการแพร่ความชื้น และความสิ้นเปลืองพลังงานของการอบผลปาล์มน้ำมัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบอบแห้งผลปาล์มน้ำมันแบบเบตนิ่ง ด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างแก๊สชีวภาพกับแสงอาทิตย์ต่อไป

การอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน

การอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน เป็นกระบวนการต้นทางที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ เนื่องจากกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมัน ซึ่งใน 20 นาทีแรกจะทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 1% เป็น 5% (ธีระและคณะ, 2548) การลดความชื้นของผลปาล์มน้ำมันให้มีความชื้นต่ำกว่า 17% db เปลือกจะไม่แข็งเกินไปเป็นปัญหาต่อเครื่องสกัดน้ำมัน และจะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิส (lipolysis reaction) เนื่องจากน้ำทำให้เกิดการสลายของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์โดยมีเอนไซม์ ไลพอกซิเดส (lipoxidase) ที่มีอยู่ในผลปาล์มน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เป็นกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการซ้ำของผล การกระแทก เกิดบาดแผล ซึ่งทำให้เอนไซม์กับไขมันและน้ำ สัมผัสกัน น้ำที่อยู่ในผลปาล์มน้ำมันจะถูกขับออก อาศัยกลไกทางพลังงานความร้อน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้น้ำในผลปาล์มน้ำมันเปลี่ยนเฟสกลายเป็นไอ แล้วความดันไอ

จะทำให้ไอน้ำถูกขับออกไปพร้อม ๆ กับการถ่ายเทมวลสาร

ความชื้นในผลิตภัณฑ์ จะเป็นปริมาณของน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ซึ่งสามารถหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis moisture content; MC) ได้จากสมการ

$$MC = \frac{M_i - M_d}{M_d} \times 100 (\%db) \quad (1)$$

เมื่อ M_i = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาใด ๆ

M_d = น้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์

อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio; MR) เป็นค่าที่แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะเวลาใด ๆ เทียบกับขณะเวลาเริ่มต้น คำนวณได้จากสมการ

$$MR = \frac{MC_i - MC_e}{MC_o - MC_e} \quad (2)$$

เมื่อ MC_i = ความชื้นผลิตภัณฑ์ ณ เวลาใด ๆ

MC_o = ความชื้นผลิตภัณฑ์ในตอนเริ่มต้น

MC_e = ความชื้นสมดุลผลิตภัณฑ์

ความชื้น สมดุล (Moisture equilibrium, MC_e) เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณน้ำที่ยังหลงเหลือในผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งเกิดสภาวะสมดุลของไอน้ำในอากาศกับไอน้ำในผลิตภัณฑ์ หรือเป็นสภาวะที่ไม่มีไอน้ำถูกขับออกมาจากผลิตภัณฑ์จากสภาวะสมดุลของความชื้นสัมพัทธ์อากาศรอบๆ ผลิตภัณฑ์ ซึ่งในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์จะมีค่าแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามสำหรับปาล์มน้ำมัน ค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ในตอนเริ่มต้น จะมีค่ามากกว่าค่าความชื้นสมดุลมากๆ ($MC_o \gg MC_e$) ทำให้สามารถหาอัตราส่วนความชื้นได้จากสมการ

$$MR = \frac{MC_i}{MC_o} \quad (3)$$

สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (Effective moisture diffusivity coefficient) เป็นสมบัติทางกายภาพที่บ่งบอกความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์ อาศัยสมการของการแพร่ตามกฎข้อที่ 2 ของฟิกส์ (Fick's second law of diffusion) ซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์อันดับ 2

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla M) \quad (4)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

เมื่อ M = ความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่เวลา t ใดๆ (%db)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (m^2/s)

สำหรับวัสดุที่เป็นทรงกลมใน 2 มิติ สามารถปรับสมการที่ (5) ได้เป็น

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right) \quad (6)$$

ซึ่ง r = รัศมีของผลิตภัณฑ์ (m)

เมื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์อันดับ 2 และกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ให้ความชื้นกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในผลิตภัณฑ์ จากความชื้นเริ่มต้น (MC_0) จนกระทั่งความชื้นสมดุล (MC_e) ผลิตภัณฑ์ไม่มีการหดตัว และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเป็นค่าคงตัว จะได้สมการคำตอบเป็น

$$\frac{MC_i - MC_e}{MC_o - MC_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n^2} \right) e^{-\left(\frac{n\pi}{r}\right)^2 D t} \quad (7)$$

โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็มบวก เมื่อแทนค่า n ในสมการที่ (7) จะพบว่า $n=2, 3, 4$ ขึ้นไปจะได้พจน์ที่มีค่าน้อยมาก ดังนั้นเพื่อความง่ายจึงพิจารณาเฉพาะพจน์ที่มีค่า $n=1$ จะปรับสมการที่ (7) ใหม่ได้เป็น

$$MR = \frac{MC_i - MC_e}{MC_o - MC_e} = \left(\frac{6}{\pi^2} \right) e^{-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{r^2}} \quad (8)$$

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น และ

D_{eff} = สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (m^2/s)

$$\ln MR = -\frac{\pi^2}{r^2} D_{eff} t + \ln \left(\frac{6}{\pi^2} \right) \quad (9)$$

เทียบกับสมการทั่วไปของเส้นตรง $y = mx \pm C$ จะเห็นว่า $-\frac{\pi^2}{r^2} D_{eff}$ คือความชันของกราฟ มีค่าลดลงเมื่อเวลา t เพิ่มขึ้น และ $\ln \left(\frac{6}{\pi^2} \right)$ คือค่าจุดตัดแกน $+y$ ดังนั้นเมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\ln(MR)$ กับ t จะหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล ได้จากสมการ

$$D_{eff} = (\text{slope}) \frac{r^2}{\pi^2} \quad (m^2/s) \quad (10)$$

เมื่อ r คือ รัศมีเฉลี่ยของผลปาล์มน้ำมัน (m)

อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate; SMER) เป็นปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ต่อค่าพลังงานที่ใช้ตลอดการอบแห้ง ซึ่งหาได้จากสมการ

$$SMER = m_w = \frac{M_i - M_f}{P} \quad (kg/kJ) \quad (11)$$

เมื่อ m_w = มวลของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ เป็นผลต่างของมวลตอนเริ่มต้น (M_i) กับมวลตอนสุดท้าย (M_f) (kg)

P = พลังงานของแหล่งกำเนิดความร้อน (kJ)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption; SEC) เป็นค่าพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำที่ระเหย ซึ่งค่าเป็นส่วนกลับของอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ

$$SEC = \frac{1}{SMER} = \frac{P}{M_i - M_f} \quad (kJ/kg) \quad (12)$$

วิธีดำเนินการวิจัย

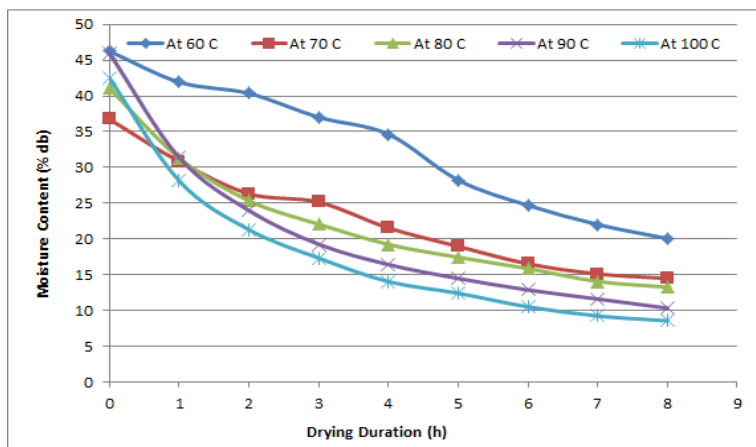
การวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ เริ่มจากนำผลปาล์มน้ำมันที่ได้จากทะเลสาบเดียวกันมาวัดขนาดด้วยเวอร์เนีย โดยสุ่มวัดผลปาล์มน้ำมันที่มีขนาดต่าง ๆ กันแล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นแบ่งผลปาล์มน้ำมัน

ออกเป็น 5 ชุด เพื่อนำไปอบที่ระดับอุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100 °C ด้วยเตาอบ hot air oven (ยี่ห้อ Memmert รุ่น ULE-500) นาน 8 ชั่วโมง แล้วอบต่อเพื่อหาสภาพแห้งโดยการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 105 °C ไปจนกระทั่งน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง (นานประมาณ 18 ชั่วโมง) ชั่งน้ำหนักผลปาล์มก่อนอบ และทุก ๆ ชั่วโมงด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ทำการวัดกำลังไฟฟ้าของเตาอบที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ด้วย Clamp on watt meter (ยี่ห้อ CEM รุ่น DT-3348) และนำค่าน้ำหนักของผลปาล์มแต่ละชุด มาคำนวณหาค่าความชื้น (MC) อัตราส่วนความชื้น (MR) สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (D_{eff}) อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) จากสมการ (1) (3) (10) (11) และ (12) ตามลำดับ

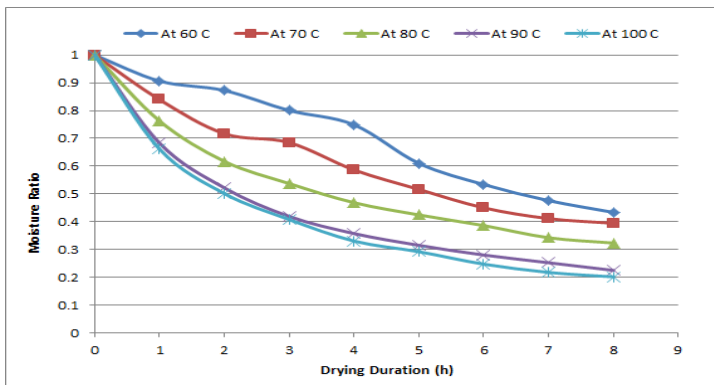
ผลการวิจัย

ค่าความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มน้ำมันอยู่ระหว่าง 36.7 %db - 46.3 %db ใช้เวลาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100 °C นาน 8 ชั่วโมง

เท่ากัน จนได้ความชื้นสุดท้ายอยู่ระหว่าง 8.6 %db - 20.1 %db โดยยิ่งอุณหภูมิในการอบแห้งมีค่าสูง ความชื้นสุดท้ายจะยิ่งมีค่าต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 1 และหากพิจารณาความชื้นที่สามารถนำไปสกัดเป็นน้ำมันปาล์มดิบได้เหมาะสม เนื่องจากเปลือกของผลปาล์ม น้ำมันจะไม่แข็งเกินไป จะมีค่าความชื้นประมาณ 17 %db (ธีระและคณะ, 2548) เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C จะใช้เวลา 3 ชั่วโมงก็เพียงพอ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 80 70 และ 60 °C จะใช้เวลานาน 5 5 6 และมากกว่า 8 ชั่วโมง ตามลำดับ แต่เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ (ปริญญาและคณะ, 2556) ความเหมาะสมของความชื้นของผลปาล์มน้ำมันเป็น 20 %db - 30 %db ผิวของผลปาล์มน้ำมันจะไม่แข็งจนเกินไป อัตราส่วนความชื้นเมื่อพิจารณาว่าค่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้น จะเห็นว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า จะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยค่าความชื้นของกราฟใน 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้งความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วดังแสดงในรูปที่ 2



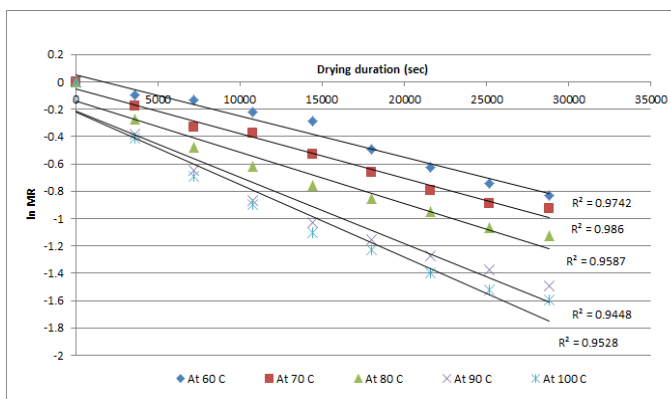
รูปที่ 1 ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง ของผลปาล์มน้ำมันที่อบแห้งอุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100 °C นาน 8 ชั่วโมง



รูปที่ 2 อัตราส่วนความชื้น ของผลปาล์มน้ำมันที่อบแห้งอุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100 °C นาน 8 ชั่วโมง

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล ที่ได้จากสมการที่ (10) และค่าความชันของกราฟ $\ln MR$ กับ t ดังแสดงในรูปที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง $1.04 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} - 1.82 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ แปรผันตรงกับอุณหภูมิของการอบแห้ง เป็นแบบเชิงเส้น ระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุดแตกต่างกัน 75% ผลการคำนวณค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ และ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ แสดงในตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของผลปาล์มน้ำมันที่ได้กับผลหมากแบบไม่ผ่าซีก (อีลีหัยะและคณะ, 2555) ที่อบแห้งในอุณหภูมิเดียวกันพบว่าผลปาล์มน้ำมันมีค่าต่ำกว่า ($1.68 \times 10^{-9} - 25.50 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) แสดงว่าความหนาแน่นของผลปาล์มน้ำมัน หรือผลปาล์มน้ำมัน

มีน้ำมันอยู่มากกว่าผลหมาก ทำให้น้ำแพร่ออกมานอกผิวได้น้อยกว่า และมีค่าน้อยกว่าการอบแห้งมะพร้าวชุดแบบชั้นบาง (อาณัติและคณะ, 2551) ประมาณ 100 เท่า ซึ่งได้ค่าระหว่าง $1.1932 \times 10^{-7} - 1.9514 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ แต่มีค่าสูงกว่าการอบแห้งเมล็ดกาแฟที่อบในช่วงอุณหภูมิ 40 °C – 60 °C (Nilnont et al., 2012) ที่ได้ค่าระหว่าง $6.637 \times 10^{-13} - 7.173 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ กำลังไฟฟ้าของเตาอบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100°C เท่ากับ 1.51 1.53 1.54 1.55 และ 1.57 kW ตามลำดับ ได้ค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะสูงสุดของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 °C มีค่ามากที่สุด และความสิ้นเปลืองพลังงานมีค่าต่ำสุด การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C จะได้อัตราการระเหยน้ำจำเพาะต่ำสุด



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่า ln MR กับเวลาของการอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100 °C

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ของการอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 60 °C – 100 °C

| อุณหภูมิในการอบแห้ง | D_{eff} | SMER | SEC |
|---------------------|---|-----------------------------|-----------------|
| 60 °C | 1.04×10^{-9} m ² /s | 6.02×10^{-5} kg/kJ | 16,612.67 kJ/kg |
| 70 °C | 1.12×10^{-9} m ² /s | 5.04×10^{-5} kg/kJ | 19,825.53 kJ/kg |
| 80 °C | 1.28×10^{-9} m ² /s | 6.26×10^{-5} kg/kJ | 15,971.46 kJ/kg |
| 90 °C | 1.66×10^{-9} m ² /s | 7.97×10^{-5} kg/kJ | 12,542.66 kJ/kg |
| 100 °C | 1.82×10^{-9} m ² /s | 7.50×10^{-5} kg/kJ | 13,335.14 kJ/kg |

สรุปผลการวิจัย

การอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องอบที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการเก็บข้อมูล ที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100°C ผลปาล์มสดมีความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 36.7 %db – 46.3 %db เมื่ออบไปนาน 8 ชั่วโมง ความชื้นผลปาล์มลดลงเหลือ 8.6 %db – 20.1 %db มีค่าอัตราส่วนความชื้นสุดท้ายระหว่าง 0.20 – 0.43 โดยการอบแห้งในอุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นสุดท้าย และอัตราส่วนความชื้นสุดท้าย มีค่าน้อยกว่าการอบแห้งในอุณหภูมิต่ำกว่า รวมทั้งระยะเวลาในการอบแห้งจะสั้นกว่า ความชื้นที่เหมาะสมในการนำไปเข้าเครื่องสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ได้คุณภาพตามมาตรฐานควรมีค่าประมาณ 17 %db จะได้ว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C จะใช้เวลาอบแห้ง 4 ชั่วโมง แต่ถ้าอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C หรือต่ำกว่า ต้องใช้เวลามากกว่า 8 ชั่วโมง

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของการอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน มีค่าระหว่าง $(1.04 - 1.82) \times 10^{-9}$ m²/s แปรผันตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ทำให้ได้ค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่อุณหภูมิ

60 70 80 90 และ 100 °C คือ 1.82×10^{-4} 4.04×10^{-4} 5.01×10^{-4} 6.38×10^{-4} และ 6.00×10^{-4} kg/kJ และ 2,076.6 2,478.2 1,996.4 1,567.8 และ 1,666.9 kJ/kg ตามลำดับโดยพบว่าการอบแห้งผลปาล์มที่อุณหภูมิ 90 °C มีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำสุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สภาวิจัยแห่งชาติและมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย และประธานวิสาหกิจชุมชนปาล์มน้ำมันอำเภอนาดวง จังหวัดเลย ที่อนุเคราะห์ปาล์มน้ำมันเพื่อการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ชัยวัฒน์ พรหมพชร (2555). เครื่องอบผลปาล์มแบบสกรู. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ ชัยรัตน์ นิลนนท์ ธีรพงศ์ จันทรมนิยม ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง (2548). เส้นทางสู่ความสำเร็จ การผลิตปาล์มน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- บัญญัติ นิยมवास (2543). การพัฒนาระบบอบแห้งผลปาล์ม. วิทยานิพนธ์ วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

- ปริญญา พานิชย์ นันทพันธ์ นภัทรานันท์ และชยุต นันทดุสิต (2556). พฤติกรรมการแห้งและความแข็งผิวของผลปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27 วันที่ 16 – 18 ตุลาคม 2556, จังหวัดชลบุรี.
- สุนิสา ปู่เถา และกอบศักดิ์ กาญจนางพงศ์กุล (2558). การให้ความร้อนเบื้องต้นแก่ผลปาล์มโดยการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 16 วันที่ 17 – 19 มีนาคม 2558, กรุงเทพมหานคร.
- อานัติ พิลา ฐานิตย์ เมธิยานนท์ และสมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2551). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งมะพร้าวชุดแบบชั้นบาง. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 วันที่ 15 – 17 ตุลาคม 2551, กรุงเทพมหานคร.
- อิลีหัยะ สนิโซ ฟามิรา สุอูดี และรัชดาภรณ์ ฮานาฟี (2555). สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ความสิ้นเปลืองพลังงาน และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะของการอบแห้งผลหมากด้วยพลังงานความร้อนร่วม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 17 (1): 142- 149.
- Boubekri, A.G., Benmoussa, H. and Mennouche, D. (2009). Solar drying kinetics of date palm fruits assuming a step-wise air temperature change. *Journal of Engineering Science and Technology* 4(3): 292 – 304.
- Dangvilailux, P. (2013). The study of drying oil palm fruit with hot air using cylindrical tank. *Proceeding of the 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering*, 16-18 October 2013, Chonburi.
- Hani, N. A., Han, N. M., May, C. Y. and Ngan, M. A. (2012). Dry heating of palm fruits: Effect on selected parameters. *American Journal of Engineering and Applied Science* 5 (2): 128 – 131.
- Nilmont, W., Thepa, S., Kasayapanand, W., Thamrongmas, C. and Bala, B.K. (2012). Finite element simulation for coffee (*coffea arabica*) drying. *Food and Bioproducts Processing* 90: 341 – 350.

