แบบจำลองการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์

A Thin Layer Drying Model of Catimor Coffee Cherry

บุญคง คำครุฑลาวงษ์[1], อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์[1]* และ มารีนา มะหนิ[2]

[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

Bounkhong Khamkhoutlavong[1], Usavadee Tuntiwaranuruk[1]* and Marina Mani[2]

[1]Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University

[2]Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอบแห้งของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์ด้วยเครื่องอบแห้งชั้นบาง โดยทำการอบแห้งเมล็ดกาแฟที่มีช่วงความชื้นเริ่มต้นประมาณ 238-248 % มาตรฐานแห้ง และควบคุมอุณหภูมิของห้องอบที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วของอากาศภายในห้องอบคงที่ 1 เมตรต่อวินาที พบว่าอิทธิพลอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่ออัตราส่วนความชื้น และอัตราส่วนความชื้นลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลกับระยะเวลาในการอบแห้ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งชั้นบางจะใช้แบบจำลองของ เลวิส (Lewis), เฮนเดอสันและพาบีส (Henderson and Pabis), ล็อกการิทึมิก (Logarithmic), เพจ (Page), วังและซายห์ (Wang and Singh) ในการทำนาย โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่าการลดลงไคกำลังสอง (χ^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) พบว่าแบบจำลองของเพจ (Page) จะให้ผลที่ได้ดีที่สุดสำหรับอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เมื่อใช้สมการของฟิค (Fick) ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำในเมล็ดกาแฟขณะทำการอบแห้ง พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่อยู่ในช่วง 3.15×10^{-6} ถึง 7.85×10^{-6} ตารางเมตรต่อวินาที นอกจากนี้ยังพบว่าสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์ ได้แก่ ความชื้นของเมล็ดกาแฟมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นกับ ขนาด ปริมาตร ความหนาแน่นปรากฏ ร้อยละ ช่องว่างของอากาศ และความร้อนจำเพาะและมีความสัมพันธ์กันในแบบสมการพหุนาม

คำสำคัญ : การอบแห้งชั้นบาง แบบจำลอง สมบัติทางกายภาพ เมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์

Abstract

This research is a study of thin-layer drying model for Catimor coffee cherry. Initial moisture of Catimor coffee cherry was 238-248% dry basis. Considering the drying kinetics, the coffee cherry was thin-layer by inlet drying air temperature of 50, 60 and 70 °C with a constant air velocity of 1.0 m/s. The experimental result indicates that a moisture ratio is effected by inlet drying air temperature. The moisture ratio also exponentially decreases with the increasing of drying time. Thin-layer drying models of Lewis, Henderson and Pabis, Logarithmic, Page, Wang and Singh was used evaluated by considering a coefficient of determination (R^2), a reduced chi-square (χ^2) and a root means square error (RMSE). The Page model is found to be a best model for describing the characteristics of coffee cherry for the temperatures of 50, 60 and 70 °C. A diffusion coefficient of drying is described by Fick's equation according from 3.15×10^{-6} to 7.85×10^{-6} m^2/s. Also,the physical properties of coffee cherry, which as moisture of coffee cherry to depend on size, volume, apparent density, percentage of void and specific heat capacity and relate with a polynomial equation form.

Keywords : thin drying layer, model, physical properties, catimor coffee cherry.

***Corresponding author.** E-mail : usavadee@buu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันกาแฟนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ และมีการปลูกและผลิตกันมากในแถบอเมริกา ลาติน แอฟริกาและเอเชีย เมล็ดกาแฟที่เป็นพืชเศรษฐกิจของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ได้แก่ กาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์ (Catimor) และสายพันธุ์โรบัสต้า (Robusta) ซึ่งมีการปลูกกันมากในภาคเหนือที่จังหวัดหลวงน้ำทา จังหวัดอุดมไซ และในแถบภาคใต้ คือ จังหวัดจำปาสัก และจังหวัดสาลาวัน โดยเฉพาะที่ทุ่งโบโลเวนส์ (Bolovens Plateaux) ในเขตจำปาสัก มีการปลูกกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์กันมาก

ในการจำหน่าย หรือการแปรรูปกาแฟให้เป็นกาแฟผง หรือกาแฟสำเร็จรูปพร้อมดื่มนั้น จะต้องทำการตากแห้งหรืออบแห้งให้มีความชื้นประมาณ 12%มาตรฐานแห้ง เนื่องจากถ้าเก็บรักษากาแฟที่มีความชื้นสูงจะทำให้เกิดเชื้อรา แต่ถ้าอบแห้งเมล็ดกาแฟให้มีค่าความชื้นต่ำมากๆ ก็จะสิ้นเปลืองพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นการอบแห้งจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญของกระบวนการผลิตกาแฟ

การอบแห้งชั้นบาง (thin-layer) เป็นกระบวนการศึกษาเงื่อนไขการอบแห้งที่มีสำคัญและจำเป็นมาก เพราะจะทำให้เข้าใจกระบวนการถ่ายเทความร้อนและกวรถ่ายเทมวล ถ้าทำการอบแห้งแบบชั้นบางโดยเรียงซ้อนๆ กันก็จะเป็นการอบแห้งแบบชั้นหนา ซึ่งคล้ายกับระบบการอบแห้งโดยทั่วๆ ไป

ในการศึกษาการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟที่ผ่านมา Paulo และคณะ (2006) ได้ทดลองอบแห้งเมล็ดกาแฟ เพื่อหาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมที่สุด Alonso และคณะ (2003) ได้ศึกษาการหดตัวของเมล็ดกาแฟ 5 สายพันธุ์ คือ Catuai Vermelho. Catuai Amarelo. Mundo. Novo. Catimor Varadharaju และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟอาราบิกา (Arabica) โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เปลือกนอกและส่วนในของเมล็ด และ Chandrasekar และ Viswanathan (1999) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสภาพการนำความร้อนของเมล็ดกาแฟอาราบิกาและเมล็ดกาแฟโรบัสต้า (Robusta)

ในงานวิจัยนี้ ต้องการหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์ ที่ปลูกในทุ่งโบโลเวนส์ ซึ่งอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยใช้สมบัติทางกายภาพที่เป็นตัวแปรที่สำคัญในการอบแห้ง (Yang และคณะ. 2002) และสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นที่มีความสัมพันธ์กับการอบแห้งและอุณหภูมิ (Varadharaju และคณะ. 2001)

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่าง

งานวิจัยนี้เริ่มจากการนำเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์จากสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ที่มีความชื้น 238-248% มาตรฐานแห้ง ตามมาตรฐาน AOAC (1990)

การทดลองหาสมบัติทางกายภาพ

1. ขนาด และปริมาตร

นำเมล็ดกาแฟที่ความชื้นต่างกันมาวัดขนาด ความยาว ความกว้าง และความหนา แล้วนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาปริมาตร โดยกำหนดให้เมล็ดกาแฟมีรูปร่างเป็นเรขาคณิตทรงกลม และหลักทฤษฎีของ Mohsenin (1986) ซึ่งคำนวณปริมาตร ของผลไม้ต่างๆ จากสมการ

$$V = \frac{\pi ABC}{6} \quad (1)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตร (mm^3), A คือ ความยาว (mm), B คือ ความกว้าง (mm) และ C คือ ความหนา (mm)

2. ความหนาแน่นปรากฏ

นำเมล็ดกาแฟที่มีความชื้นต่างกัน ใส่ภาชนะที่ทราบปริมาตรจนเต็ม จากนั้นนำเมล็ดกาแฟไปชั่งมวล คำนวณหาค่าความหนาแน่นปรากฏ จากสมการ

$$\rho_b = \frac{W}{V_b} \quad (2)$$

เมื่อ ρ_b คือ ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3), W คือ มวลของวัสดุ (kg) และ V_b คือ ปริมาตรของวัสดุรวมกับปริมาตรของช่องว่างอากาศ (m^3)

3. ร้อยละช่องว่างของอากาศ

นำเมล็ดกาแฟที่มีความชื้นที่มีความชื้นต่างกัน ใส่ลงในภาชนะที่ทราบปริมาตร จากนั้นเติมน้ำมันพืชจนเต็มภาชนะ วัดปริมาตรน้ำมันพืชที่ใช้ แล้วคำนวณหาร้อยละช่องว่างของอากาศ จากสมการ

$$p_t = \frac{V_{oil}}{V_b} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ p_t คือ ร้อยละช่องว่างของอากาศ (%) และ V_{oil} คือ ปริมาตรของน้ำมันพืช (m^3)

4. ความร้อนจำเพาะ

นำเมล็ดกาแฟที่มีความชื้นมีความชื้นต่างกันมาทดสอบโดยใช้แคลอรีมิเตอร์ แล้วคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะ จากสมการ

$$C_p = \frac{-m_c C_c (T_e - T_c) - m_w C_w (T_e - T_w)}{m_p (T_e - T_p)} \quad (4)$$

เมื่อ m_c คือ มวลของแคลอรีมิเตอร์ (kg), m_w คือ มวลของน้ำร้อน (kg), m_p คือ มวลของตัวอย่าง (kg), C_c คือ ความร้อนจำเพาะของแคลอรีมิเตอร์ (kJ/kg^{0}C), C_w คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg^{0}C), C_p คือ ความร้อนจำเพาะของตัวอย่าง (kJ/kg^{0}C), T_c คือ อุณหภูมิของแคลอรีมิเตอร์ที่เวลาเริ่มต้น (^{0}C), T_w คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่เวลาเริ่มต้น (^{0}C), T_p คือ อุณหภูมิของตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้น (^{0}C) และ T_e คือ อุณหภูมิสภาวะสมดุล (^{0}C)

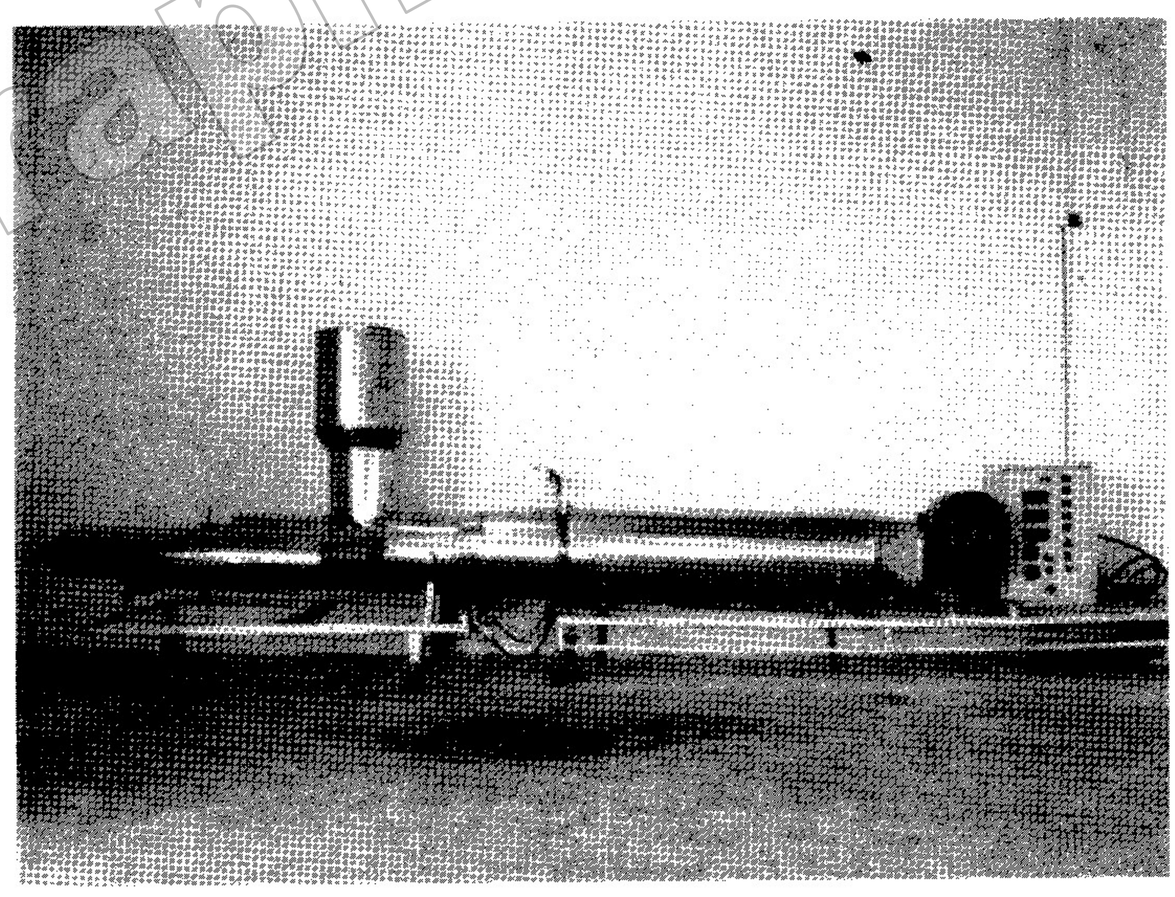
จากนั้นนำค่าที่ได้จากข้อ 1, 2, 3 และ 4 มาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อหาสมการที่เหมาะสมต่อไป

การอบแห้งชั้นบางและสัมประสิทธิ์การแพร่

การศึกษาการอบแห้งของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์ด้วยเครื่องอบแห้งชั้นบาง ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 238-248% มาตรฐานแห้ง ตามมาตรฐาน AOAC (1990) โดยควบคุมอุณหภูมิของห้องอบที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และความเร็วของอากาศภายในห้องอบเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที ทำการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและน้ำหนักของเมล็ดกาแฟด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 1 ชั่งมวลเมล็ดกาแฟด้วยเครื่องชั่ง Mettler รุ่น ml 1001 (มีค่าความละเอียด 0.01 g) บันทึกมวลทุกๆ 5 นาที ในช่วง 60 นาทีแรก หลังจากนั้นบันทึกข้อมูลทุกๆ 30 นาที และหยุดการทดลองเมื่อมวลของเมล็ดกาแฟมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (ไม่เกิน 0.03 กรัม) นำเมล็ดกาแฟที่ผ่านการอบแห้งไปหาความชื้นสุดท้าย และหาค่าอัตราส่วนความชื้น (MR) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (5)$$

เมื่อ M_o, M และ M_e คือ ความชื้นเริ่มต้น ความชื้น ณ เวลา t ใดๆ และความชื้นสมดุล ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์หาอัตราส่วนความชื้นจะสมมติให้ค่าความชื้นสมดุลมีค่าเท่ากับศูนย์ (Ibrahim Doymaz, 2008) เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นที่คำนวณได้จากการทดลองกับค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 5 สมการ แสดงดังตารางที่ 1 เป็นการวิเคราะห์ค่าคงที่และอัตราส่วนความชื้นจากสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear regression) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) ค่าการลดลงไคกำลังสอง (reduced chi-square, χ^2) และค่ารากที่



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ทดสอบการอบแห้งชั้นบางของผลผลิตทางการเกษตร
(ที่มา : มารีนา และคณะ, 2551)

สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root means square error, RMSE) โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟควรเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ให้ค่า R^2 สูงสุด และให้ค่า χ^2 และ RMSE ต่ำสุด ซึ่งค่า χ^2 และ RMSE หาได้จากสมการ

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (6)$$

$$RMSE = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=}^{N}(MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2\right)^{1/2} \quad (7)$$

เมื่อ $MR_{exp,i}$ คือ ค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง $MR_{pre,i}$ คือ ค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการแบบจำลอง N คือ จำนวนข้อมูลของการทดลอง และ Z คือ จำนวนพารามิเตอร์ในแต่ละแบบจำลอง

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายสมการการอบแห้งเมล็ดกาแฟ

Model names	Mathematical expression
Lewis (Bruce, 1985)	$MR_{pre,i} = \exp(-kt)$
Henderson and Pabis (1961)	$MR_{pre,i} = a\exp(-kt)$
Logarithmic (Togrul, 2003)	$MR_{pre,i} = a\exp(-kt) + c$
Page (Page, 1949, cited by Bruce, 1985)	$MR_{pre,i} = \exp(-kt^n)$
Wang and Singh (Wang and Singh, 1978)	$MR_{pre,i} = 1 + at + bt^2$

หมายเหตุ: เมื่อ a, b, c, n คือ ค่าคงที่การอบแห้งของแบบจำลอง และ k เป็นค่าคงที่อัตราการอบแห้ง (min^{-1})

ค่าอัตราส่วนความชื้นที่หาได้จากการทดลอง ใช้สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (D_{eff}) ตามสมการของฟิค (Fick) (Crank, 1975 and Luikov, 1968) โดยกำหนดให้วัตถุดิบมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม มีรูปสมการการอบแห้งทางทฤษฎี ตามสมการ

$$MR_{pre,i} = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{6}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2}\exp\left[-\frac{n^2\pi^2 D_{eff}t}{R^2}\right] \quad (8)$$

เมื่อ n = 1, 2, ... เป็นค่าคงที่, R คือ ค่ารัศมีของทรงกลม (m) และ t คือ เวลาใดๆ (min)

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการหาความสัมพันธ์ของลักษณะทางกายภาพ

1. ขนาดและปริมาตร

ขนาดของเมล็ดกาแฟ ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา และปริมาตรของเมล็ดกาแฟ พบว่าถ้าความชื้นเริ่มต้นมีค่าสูงค่าความยาว ความกว้าง ความหนา และปริมาตรเมล็ดกาแฟจะมีค่ามากด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดกาแฟจะอยู่ในรูปสมการพหุนาม (Polynomial) แสดงได้ดังสมการ

$$A = 10^{-5}M_o^2 + 0.0042M_o + 13.226 \quad (9)$$

$$B = 7.10^{-6}M_o^2 + 0.009M_o + 9.4719 \quad (10)$$

$$C = -8.10^{-6}M_o^2 + 0.011M_o + 8.6195 \quad (11)$$

$$V = 21.10^{-4}M_o^2 + 1.3596M_o + 569.14 \quad (12)$$

เมื่อ A คือ ความยาวของเมล็ดกาแฟ (mm)
B คือ ความกว้างของเมล็ดกาแฟ (mm)
C คือ ความหนาของเมล็ดกาแฟ (mm)
V คือ ปริมาตรของเมล็ดกาแฟ (mm^3)
M_o คือ ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดกาแฟ (อยู่ในช่วง 238-248% มาตรฐานแห้ง)

2. ความหนาแน่นปรากฏ

ผลจากการหาค่าความหนาแน่นปรากฏของเมล็ดกาแฟที่ความชื้นเริ่มต้นต่างๆ กัน พบว่าเมื่อความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดกาแฟมีค่าสูงจะทำให้ค่าความหนาแน่นปรากฏของเมล็ดกาแฟมีค่าสูงด้วย โดยมีความสัมพันธ์ในแบบสมการพหุนาม (Polynomial) ซึ่งแสดงได้ดังสมการ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$\rho_b = -0.0051M_o^2 + 2.3642M_o + 308.24 \quad (13)$$

เมื่อ ρ_b คือ ความหนาแน่นปรากฏของเมล็ดกาแฟ (kg/m^3)

3. ร้อยละช่องว่างของอากาศ

ผลจากการทดลองหาค่าร้อยละช่องว่างของอากาศของเมล็ดกาแฟที่ความชื้นเริ่มต้นต่างๆ กัน พบว่าเมื่อความชื้นเริ่มต้นมีค่าสูงจะมีค่าร้อยละช่องว่างของอากาศสูงด้วย โดยมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการพหุนาม (Polynomial) แสดงได้ดังสมการ

$$p_t = -6.10^{-5}M_o^2 + 0.0347M_o + 38.879 \quad (14)$$

เมื่อ p_t คือ ร้อยละช่องว่างของอากาศของเมล็ดกาแฟ (%)

4. ความร้อนจำเพาะ

ผลการคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะของเมล็ดกาแฟที่ความชื้นเริ่มต้นต่างๆ กัน พบว่าเมื่อความชื้นเริ่มต้นมีค่าสูงจะมีค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้นด้วย โดยมีความสัมพันธ์ในรูปสมการพหุนาม (Polynomial) แสดงได้ดังสมการ

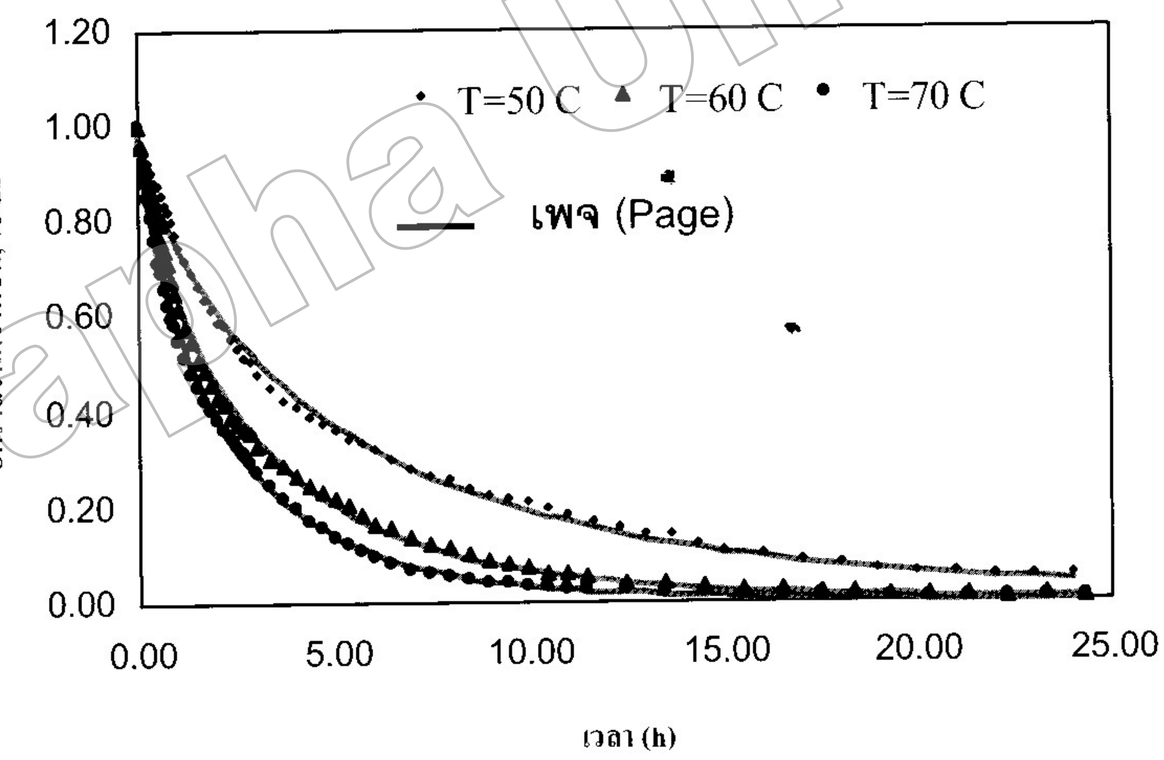
$$C_p = -6\times10^{-5}M_o^2 + 0.0036M_o + 4.7348 \quad (15)$$

เมื่อ C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดกาแฟ (kJ/kg-°C)

ผลการอบแห้งชั้นบางและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากผลการทดลองอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟ ในช่วงอุณหภูมิ 50-70 °C พบว่าอัตราส่วนความชื้น มีค่าลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิสูงกว่าจะมีอัตราส่วนความชื้นสูงกว่า ดังแสดงในภาพที่ 2

การหาค่าอัตราส่วนความชื้นและค่าตัวแปรต่างๆ ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งหกแบบโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าการอบแห้งชั้นบางเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิค่าต่างๆ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเพจ (Page) จะได้ค่า R^2 มากที่สุด และค่า χ^2 และค่า RMSE ต่ำสุด ซึ่งผลการคำนวณด้วยแบบจำลองจะมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด ดังนั้นจะได้ว่าแบบจำลองของเพจ (Page) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับใช้ทำนายการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งเมล็ดกาแฟที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณด้วยแบบจำลองของเพจ

จากการการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ ตามสมการของฟิค (Fick) พบว่าอุณหภูมิอบแห้งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้น และได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์ที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (D_{eff}) ที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ

อุณหภูมิ (^{0}C)	D_{eff} (x 10^{-6} m^2/h)	R^{2*}
50	3.15	0.9880
60	5.89	0.9895
70	7.85	0.9917

หมายเหตุ * : $$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(MR_i - MR_{pre,i}\right)\cdot\sum_{i=1}^{n}\left(MR_i - MR_{exp,i}\right)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n}\left(MR_i - MR_{pre,i}\right)^2\right]\cdot\left[\sum_{i=1}^{n}\left(MR_i - MR_{exp,i}\right)^2\right]}}$$

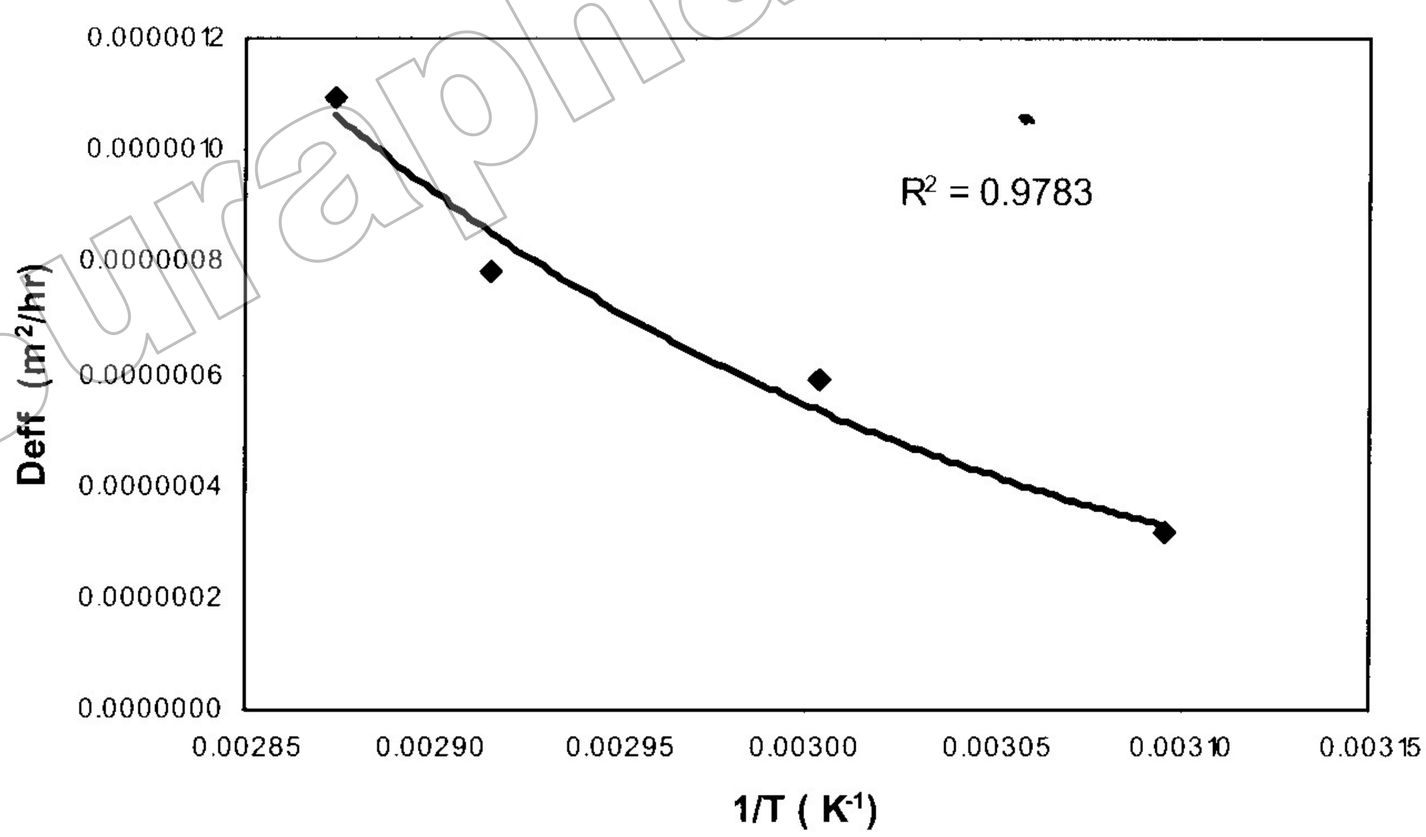
จากตารางที่ 2 จะได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจะมีค่าสูงขึ้นตามค่าของอุณหภูมิอบแห้ง แสดงได้ดังภาพที่ 3 และมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอบแห้งในรูปสมการเอกซ์โปเนนเชียล คือ

$$D_{eff} = 4.511\exp\left(\frac{-5309.8}{T_{abs}}\right) \quad (16)$$

เมื่อ D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (m^2/h)

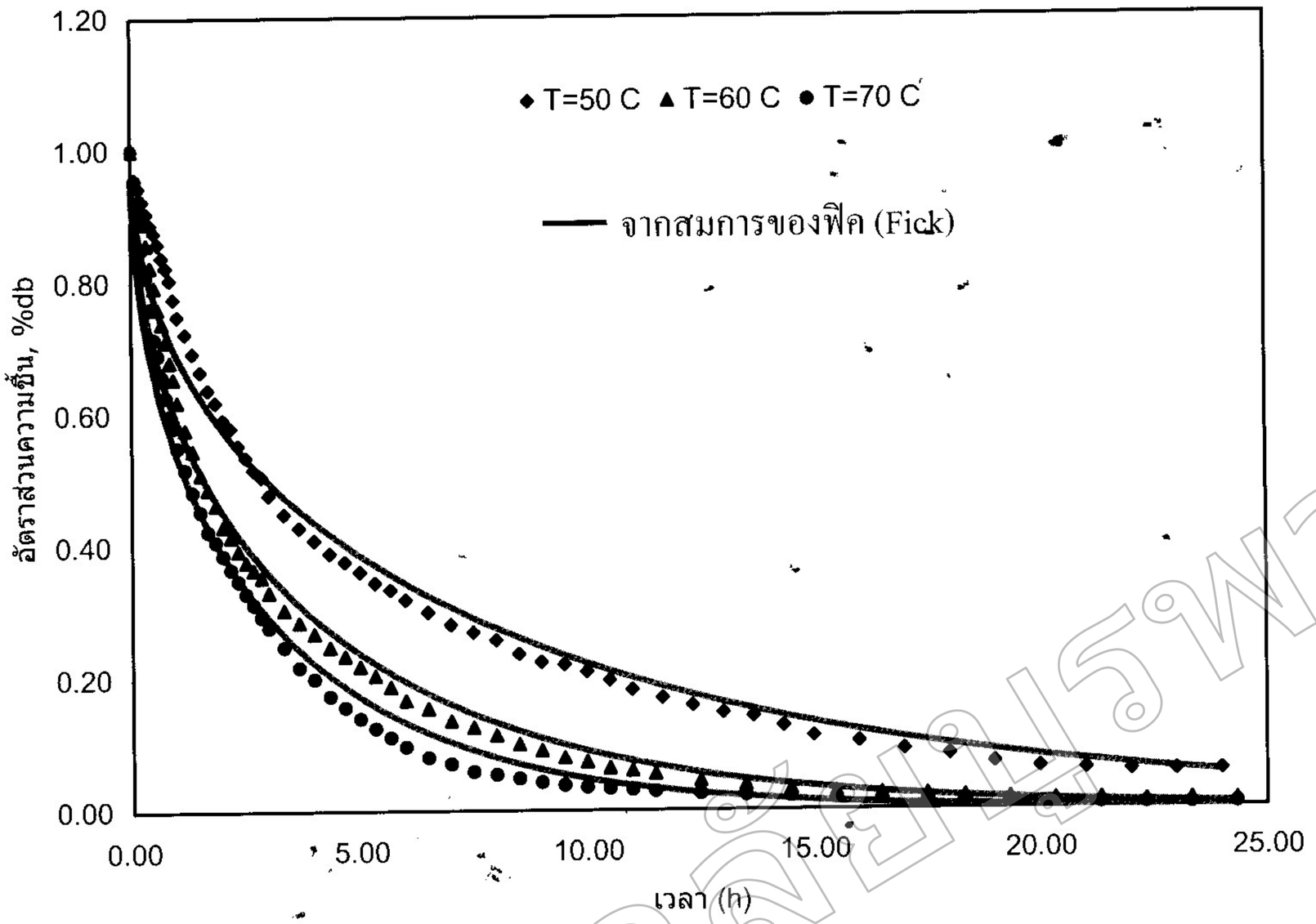
T_{abs} คือ อุณหภูมิอบแห้ง (K)

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ แทนในสมการของฟิค (Fick) พบว่าค่าอัตราส่วนความชื้นที่คำนวณได้จากสมการของฟิค (Fick) คือ สมการที่ 8 มีค่าใกล้เคียงกับผลที่คำนวณได้จากการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4 อัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง และจากสมการของฟิค์ (Fick)

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์ ได้แก่ ขนาด ปริมาตร ความหนาแน่นปรากฏ ร้อยละช่องว่างของอากาศ และความร้อนจำเพาะ พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้นและมีความสัมพันธ์กับความชื้นในรูปแบบสมการพหุนาม

สำหรับการศึกษาการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์ พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่ออัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้ง โดยอัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลงเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล จากการศึกษาแบบจำลองการอบแห้งชั้นบาง พบว่าแบบจำลองของเพจ (Page) จะให้ผลที่ได้ดีที่สุดสำหรับอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นอยู่ในช่วง 3.15×10^{-6} - 7.85×10^{-6} ตารางเมตรต่อวินาที และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิและมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล

เอกสารอ้างอิง

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). *การอบแห้งเมล็ดพืช และอาหารบางประเภท.* (พิมพ์ครั้งที่ 7). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

มารีนา มะหนิ, อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์, ปิติ พานิชายุนนท์ และชนะ จันทร์ฉ่ำ. (2551). สมบัติเชิงความร้อนและจลนศาสตร์การอบแห้งชั้นบางของพริกชี้ฟ้า. *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปี 2551.* มหาวิทยาลัยทักษิณ: สงขลา

Alonso, Jr, P.C., Corra, P.C., Pinto, F.A.C., & Sampaio, C.P. (2003). Shrinkage evaluation of five Different Varieties of Coffee Berries during the Drying Process. *Biosystems Engineering, 86*(4), 481-485.

AOAC. (1990). Official Method of Analysis. Arlington, VA : *Association of Official Analytical Chemists. Inc.*

Chandrasekar,V., & Viswanathan, R. (1999). Physical and Thermal Properties of Coffee. *Journal of Agriculture Engineering Research, 73*, 227-234.

Crank, J. (1975). The mathematics of diffusion (2nd ed.). *Oxford. UK : Clarendon Press.*

Hakan Okyay Menges & Can Ertekin. (2006). Thin layer drying model for treated and untreated Stanley plums. *Energy Conversion and Management. 47*, 2337-2348.

Ibrahim Doymaz. (2008). Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing. 47*, 914-919.

Melissa, A., Rodrigues, A., Maria Lcia A., Borges, Adriana S., Franca, Leandro S., Oliveira Paulo C., & Corra. (2003). Evaluation of Physical Proprieties of coffee during Roasting. *Agriculture Engineering International, 5.*

Paulo Cesar Correa, Osvaldo Resende & Deise Menezes Ribeiro. (2006). Drying characteristics and kinetics of coffee berry, *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, 8*(1), 01-10.

Varadharaju, N., Karunanidhi, C., & Kailappan, R. (2001). Coffee Cherry Drying: A two-Layer Model. *Drying Technology, 19*(3&4), 709-715.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University