

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23
4 -7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งฝักถั่วลิสงด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

Mathematical model of peanut drying using fluidized Bed Technique

วัชรินทร์ ดงบัง*^{1, 2} วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี¹ และ กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย³

¹อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131 Tel: +66-038-102222 Fax: +66-038-745806

²นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา, ³รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002 Tel: +66-043-202845 (operator x125) Fax: +66-043-202849

Watcharin Dongbang*^{1, 2} Worachest Pirompugd¹ and Kittichai Trirattanasirichai³

¹Lecturer, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Burapha University
Tambon Saensook, Amphur Muang, Chonburi 20131, Tel: +66-038-102222 Fax: +66-038-745806

²Graduate Student, ³Associate Professor, Mechanical Engineering Department,
Faculty of Engineering, Khon Kaen University
Amphur Muang, Khon Kaen, 40002 Tel: +66-043-202845 (operator x125) Fax: +66-043-202849

* Email : Watcharin_dongbang@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอผลการศึกษาการอบแห้งเมล็ดพืชด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยทำการทดลองอบแห้งฝักถั่วลิสง แบบเป็นวงจรถวลละ 5 kg มีการหมุนเวียนลมร้อนกลับมาใช้ซ้ำอีกประมาณ 80% อุณหภูมิที่ศึกษาแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 °C ความสูงเบด 10 cm ความเร็วลมร้อนประมาณ 9 m/s ฝักถั่วลิสงมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 38%wb ความชื้นสุดท้ายประมาณ 15%wb ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนที่สูงกว่าจะช่วยลดระยะเวลาให้สั้นลงได้ กล่าวคือใช้เวลาในการอบแห้ง 8.8, 6.8 และ 5.5 h ตามลำดับ และลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าลงได้ กล่าวคือใช้พลังงาน 19.22, 17.74 และ 16.78 kW-h/kg water evap. ตามลำดับ โดยที่คุณภาพของผลิตรอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในทางพาณิชย์ อัตราส่วนความชื้นถูกฟิตเข้ากับแบบจำลองการอบแห้งต่างๆ 6 แบบจำลอง โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) พบว่า แบบจำลอง Modified Henderson and Pabis แบบจำลอง Verma et al. และแบบจำลอง Two-term exponential มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด นอกจากนี้แล้ว ยังได้พิตผลการทดลองเพื่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของฝักถั่วลิสงด้วย

คำสำคัญ : การอบแห้ง, ฟลูอิดไดซ์เบด, ถั่วลิสง

Abstract

This paper presents the study of grains drying using the fluidized bed technique. The peanut is the grains sample for this study. The maximum capacity of grain drying is 5 kg per batch. The hot air recycles to the system by about 80%. The drying system applied 3 levels of hot-air input temperature, namely, 50, 60 and 70 °C induced the fluidized bed condition and the bed-height 10 cm. The air velocity is 9 m/s occurred fluidize bed. The Initial moisture of peanut is 38% (w.b) and final requirement is 15% (w.b). The experimental results show that the hot-air input temperature of drying time and energy consumption. When the temperature of effected hot-air increased from 50 to 70 °C at 15%(w.b), drying time reduced from 8.8 to 5.5 hours and energy consumption reduced from 19.22 to 16.78 kW-h/kg water evaporator, while the quality of productivity air acceptable in the commercial. The curves were fitted to six different semi-theoretical and/or empirical thin-layer drying models to estimate a suitable model for drying of peanut and coefficients were evaluated by non-linear regression analysis. The models were compared based on their coefficient of determination. Modified Henderson and Pabis Model, Verma et al. Model and Two-term exponential Model were found of satisfactorily describe the drying behavior of peanut. In addition, the curves were fitted the experimental to found the diffusivity coefficient of peanut.

Keywords: Drying, Fluidized bed, peanuts

1 บทนำ

ถั่วลิสงเป็นพืชตระกูลถั่ว ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีนในเมล็ด 24-32% น้ำมัน 40-59%[1] พื้นที่เพาะปลูก 563,262 ไร่ ปลูกทั่วประเทศกว่า 60 จังหวัด ได้ผลผลิตรวม 137,562 ตัน ผลผลิตร้อยละ 90 นำมาใช้ภายในประเทศในรูปของถั่วต้ม ถั่วคั่ว ถั่วต้มอบ และประกอบอาหารคาว-หวานต่างๆ รวมทั้งแปรรูปเพื่อจำหน่ายต่างประเทศ บางส่วนนำไปสกัดน้ำมันและกากถั่วลิสง นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ การผลิตถั่วที่มีคุณภาพนั้น ต้องปลอดจากการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ซึ่งเป็นพิษต่อผู้บริโภค [2] ส่วนหนึ่งของการปนเปื้อนของสารดังกล่าวเกิดจากการใช้ระยะเวลานานเกินไปในการตากแห้ง เพื่อลดความชื้นจนถึงจุดปลอดภัย หรืออาจจะถูกฝนในขณะตาก ผักถั่วลิสงที่ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซิน ควรจะต้องมีความชื้นต่ำกว่า 9%wb [2, 3]

เกษตรกรนิยมตากถั่วลิสง 3-4 แดด แล้วนำไปเก็บไว้รอการจำหน่ายต่อไป แต่ถ้าต้องการลดความชื้นให้ต่ำกว่า 9%wb จะต้องใช้เวลาในการตาก 5-7 แดด [1, 3] ซึ่งระยะเวลาในการตากแห้ง อาจจะเป็นข้อจำกัดสำหรับเกษตรกรที่ปลูกถั่วลิสงในช่วงต้นฤดูฝน มีการศึกษาถึง เครื่องอบแห้งไว้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งมีข้อได้เปรียบมากกว่าเครื่องอบแห้งทั่วไป อาทิ ผิวสัมผัสระหว่างผลิตภัณฑ์กับลมร้อนมีมากกว่า ผลิตภัณฑ์มีความร้อนสูง การผสมผสานกันของผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การถ่ายเทความร้อนและความชื้นเป็นไปอย่างรวดเร็วระหว่างผลิตภัณฑ์กับลมร้อน ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า โดยที่ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อ่อนไหวต่อความร้อน ได้รับความเสียหาย[4] นอกจากนี้แล้ว เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ยังง่ายต่อการขนส่งเข้าออกจากเครื่องอบแห้ง โดยอาศัย

หลักของแรงโน้มถ่วง และสามารถขนถ่ายด้วยลมไปยังตำแหน่งต่างๆ ได้ง่ายทำให้ลดอุปกรณ์การขนส่ง [4] มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ การอบแห้งเมล็ดพืชหลายชนิด เช่น ผักถั่วลิสง [3] ข้าวเปลือก [5, 6] ถั่วเหลือง [7] พริก [8, 9] เป็นต้น จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ยังมี การศึกษาถึงตัวแปร ที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่จำเป็นต่อการคำนวณค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะ แบบจำลองเกี่ยวกับผักถั่วลิสง เช่นแบบจำลองการอบแห้งชั้นบาง ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusivity coefficient) พลังงานกระตุ้น (activation energy) ในการอบแห้ง เป็นต้น

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการอบแห้งผักถั่วลิสงด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด และนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมทั้งหาค่าคงที่สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น เป็นต้น

2 ทฤษฎี

2.1 ความชื้นในเมล็ดพืช

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อให้ ความชื้นออกมาโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝง และเกิดการถ่ายเทความร้อน และถ่ายเทมวลจากวัสดุสู่อากาศพร้อมกัน ทำให้ ความชื้นภายในวัสดุลดลง [10, 11] ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ชื้น (m_i) มีสมการดังนี้ [12]

$$M = \frac{(m_i - d)}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) คือ อัตราส่วน น้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง (d) มีสมการดังนี้ [12]

$$M = \frac{(m_i - d)}{d} \times 100 \quad (2)$$

2.2 การหาความชื้นในผักถั่วลิสง

การหาความชื้นเริ่มต้นในผักถั่วลิสงตามวิธีมาตรฐาน ASAE [12] มีขั้นตอน คือ

- 1) นำผักถั่วลิสงประมาณ 200 กรัม มาแยกเปลือกและเมล็ดออกจากกัน แล้วชั่งน้ำหนักเริ่มต้น โดยแยกเป็นน้ำหนักของถั่วลิสงทั้งผัก และน้ำหนักเฉพาะของส่วนที่เป็นเปลือกกับเมล็ดต่างหาก
- 2) นำเปลือกถั่วและเมล็ดถั่วแยกใส่ภาชนะแต่ละชุด แล้วนำเข้าตู้อบไฟฟ้าซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิที่ $130 \pm 3^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือ $103 \pm 3^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 3) นำเปลือกถั่ว และเมล็ดถั่วออกมาชั่งน้ำหนักสุดท้าย แล้วคำนวณหาความชื้นตามวิธีการของ ASAE [12] ต่อไป

2.3 แบบจำลองการอบแห้ง

การเคลื่อนที่ของ ความชื้นภายในเมล็ดพืชนั้น เป็นไปตามกฎการแพร่ความชื้นของฟิค (Fick) [11, 13, 14] ซึ่งการแพร่ที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดพิจารณาตามฟิคด์ ทรงกลม และทรงกระบอก มีรูปสมการดังนี้

$$\frac{\partial M}{\partial t}(r, t) = D_{eff} \left[\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{c}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right] \quad (3)$$

เมื่อ M คือ ความชื้นที่เวลา t ใดๆ, decimal (dry basis) D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (m^2/s), t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (s), r คือ รัศมีที่วัดจากจุดศูนย์กลางของเมล็ดพืช (m) และ c คือ ค่าคงที่ =1 สำหรับทรงกระบอก และ =2 สำหรับทรงกลม โดยที่สภาวะเริ่มต้นและสภาวะขอบเขตมีข้อสมมุติฐาน คือ ความชื้นภายในวัสดุเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ สามารถเขียนได้ดังนี้ [10]

ภาวะเริ่มต้น (I.C.) และขอบเขต (B.C.) [10]

$$\begin{aligned} I.C.1 \quad t=0 \quad B.C.1 \quad 0 \leq r \leq r_c \quad M &= M_{in} \\ I.C.2 \quad t > 0 \quad B.C.2 \quad r = r_c \quad M &= M_e \\ I.C.3 \quad t > 0 \quad B.C.3 \quad r = 0 \quad \frac{\partial M}{\partial r} &= 0 \end{aligned}$$

เมื่อ r_c คือ รัศมีที่วัดจากจุดศูนย์กลางของเมล็ดพืช (m) งานวิจัยนี้สมมุติฐานว่า ผักถั่วลิสงมีลักษณะคล้ายทรงกระบอกเมื่อแทนค่าเงื่อนไขสภาวะเริ่มต้นและสภาวะขอบเขต ตามที่ระบุไว้ข้างต้น คำตอบของสมการ (3) จะมีรูปแบบดังนี้ [11, 13, 14]

$$MR(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{b_n^4} \exp\left[-\frac{b_n^2 D_{eff} t}{r_c^2}\right] \quad (4)$$

อัตราส่วนความชื้น $MR(t)$ ที่เวลาใดๆ มีรูปแบบสมการดังนี้

$$MR(t) = \frac{M(t) - M_e}{M_{in} - M_e} \quad (5)$$

เมื่อ $M(t)$ คือ ความชื้นเฉลี่ยที่เวลา t ใดๆ (d.b) และ b คือ รากของฟังก์ชันเบเซลอันดับที่ศูนย์ มีผู้วิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งนิยมนำผลการทดลองที่ได้ไปฟิตเข้ากับแบบจำลองการอบแห้ง โดยแบบจำลองที่ได้รับความนิยมมีดังนี้

2.3.1 แบบจำลอง Lewis [15]

$$MR = \exp(-kt) \quad (6)$$

2.3.2 Henderson and Pabis [16]

$$MR = a \exp(-kt) \quad (7)$$

2.3.3 แบบจำลอง Two-term [17]

$$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) \quad (8)$$

2.3.4 แบบจำลอง Modified Henderson [18]

$$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht) \quad (9)$$

2.3.5 แบบจำลอง Verma et al. [19]

$$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt) \quad (10)$$

2.3.6 แบบจำลอง Two-term exponential [20]

$$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat) \quad (11)$$

สำหรับค่าคงที่ของแบบจำลอง ซึ่งฟิตเข้ากับผลการทดลองอบแห้งผักถั่วลิสง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

2.4 สัมประสิทธิ์การแพร่

สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของเมล็ดพืช D_{eff} มีค่าแปรผันตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง เป็นไปตามแบบจำลองของ Arrhenius ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้ [11, 14]

$$D_{eff} = D_o \exp\left[-\frac{E_o}{RT_{abs}}\right] \quad (12)$$

เมื่อ D_o คือ Arrhenius factor, E_o คือ Activation energy ($\text{kJ} / \text{kg.mol.K}$), R คือ ค่าคงที่สากลของแก๊ส ($8.314 \text{ kJ} / \text{kg.mol.K}$) และ T_{abs} อุณหภูมิสมบูรณ์ของอากาศอบแห้ง (K) ค่าคงที่ D_o และ E_o หาได้โดยนำผลการทดลอง มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(D_{eff})$ กับ ส่วนกลับของอุณหภูมิสมบูรณ์ที่ใช้ในการอบแห้ง ($1/T_{abs}$) ก็จะได้ค่าคงที่ข้างต้น [11, 14]

2.5 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination: R^2) หมายถึงสัมประสิทธิ์ของตัว

แปร X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้ [21] มีรูปแบบสมการดังนี้

$$R^2 = SSR / SST \quad (13)$$

เมื่อ SSR คือ ความแปรปรวนของ Y ที่เกิดขึ้นกับ X และ SST คือ ความแปรปรวนของ Y ทั้งหมด

2.6 ฟลูอิดไดซ์เซชัน

ความเร็วของลมร้อน U ที่ไหลเข้าฐานล่างของฟลูอิดไดซ์เบด จะต้องมีความมากกว่าความเร็วที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันของอนุภาค แต่น้อยกว่าความเร็วสูงสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด หากค่าความเร็วของอากาศด้วยสมการของ Ergun [22, 23] ได้ดังนี้

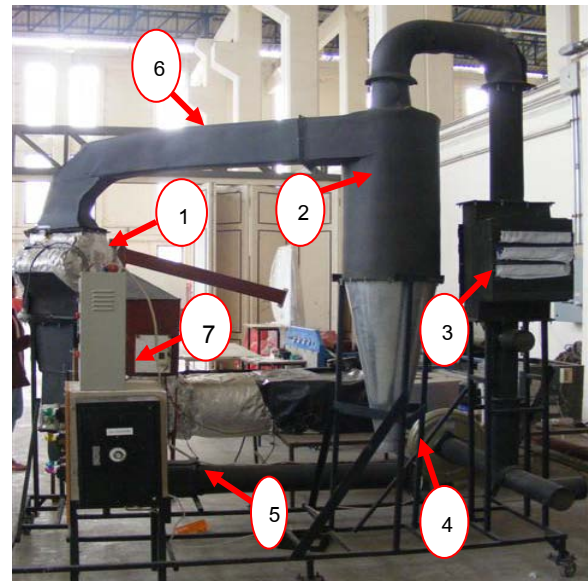
$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \left[\frac{(1-\alpha)^2}{\alpha^3} \frac{\mu U}{d_p^2} \right] + 1.75 \left[\frac{(1-\alpha)}{\alpha^3} \frac{\rho U^2}{d_p} \right] \quad (14)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันลดในเบด, (Pa), L คือ ความหนาเบด(m), α คือ สัดส่วนช่องว่างของอากาศ(-), μ คือ ความหนืดไดนามิกส์ ($N.s/m^2$), U คือ ความเร็วของของไหล (m/s), d_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (m) และ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

3 อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

3.1 อุปกรณ์

โดยการออกแบบเครื่องอบแห้ง ซึ่งสามารถอบแห้งได้แบบเป็นงวดๆ ละ ประมาณ 5 kg ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

เครื่องอบแห้ง ดังรูปที่ 1 ประกอบไปด้วย 1)ห้องอบแห้ง 2)ไซโคลน 3)ห้องบรรจุสารดูดความชื้น 4)โบลเวอร์ 1 HP 5)ขดลวดไฟฟ้า 5 kW 6) ท่อเวียนลมร้อนที่โซบแห้งแล้วกลับมาใช้ซ้ำ โดยปรับที่วาล์วของทางเดินลม และ 7) ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบ PID Control

3.2 เครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดที่ใช้วิจัยนี้ ยี่ห้อ KIMO รุ่น MP 200 สามารถวัดค่าอัตราการไหล ความเร็วลม และอุณหภูมิได้ในเครื่องเดียว เครื่องชั่งน้ำหนัก และเทอร์มistor (U) เพื่อวัดความดันลดในเบด และมาตรวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kW-h) เครื่องมือวัดมีค่าความผิดพลาดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด

Dimension	Measuring Range	Accuracy
Thermocouple	K : From -200-300 °C T : From -200-400 °C	± 0.4% ± 0.4%
Air Flow (m ³ /s)	From 0-99,999 m ³ /h	± 0.2%
Air Velocity(m/s)	From 2-5 m/s From 5.1-100 m/s	± 0.3 m/s ± 0.5%
Weight (g)	From 1-500 g	± 0.2%

3.3 วิธีการศึกษา

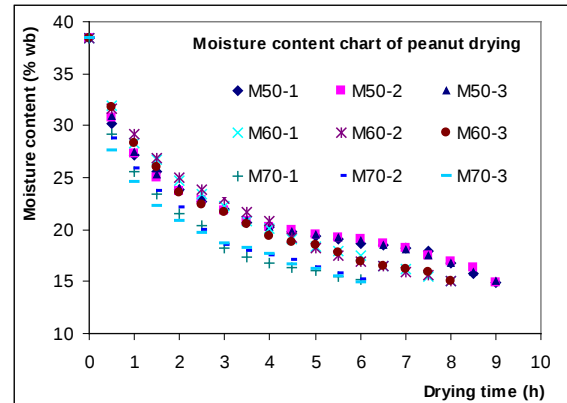
ทำการอบแห้งฝักถั่วลิสง พันธุ์ไทยนาน 9 ซึ่งมี ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 40 %wb เป้าหมายคือลด ความชื้นให้เหลือ 15 %wb ความเร็วลมที่ใช้ในการ อบแห้งคงที่ประมาณ 9 m/s อบแห้งแบบเป็นวงๆ ละ ประมาณ 5 kg หรือที่ความหนาเบดคงที่ 10 cm มีการ หมุนเวียนอากาศที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ซ้ำอีกประมาณ 80% อุณหภูมิอบแห้งอยู่ในช่วงระหว่าง 50 - 70°C โดยปรับที่ PID Control โดยลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ฝักถั่วลิสง แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70°C ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในทุกๆช่วงของอุณหภูมิ การ หาค่าความชื้นของฝักถั่วลิสงดำเนินการตามวิธีการที่ กล่าวไว้แล้วในข้อ 2.2

4. ผลการศึกษาและพิจารณา

4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อน

ผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิลมร้อนแปรผัน โดยตรงต่ออัตราการอบแห้ง กล่าวคือ ที่อุณหภูมิลม ร้อนเข้าเครื่องอบแห้ง 50, 60 และ 70°C ใช้เวลา อบแห้ง 8.8, 6.8 และ 5.5 ชั่วโมง ตามลำดับ อธิบายได้ ว่าความร้อนที่สูงขึ้นนี้จะถูกนำไปเป็น ความร้อนแฝงใน การระเหยน้ำ ออกจากฝักถั่วลิสง และ ใช้กระตุ้นให้เกิด การถ่ายเทมวลหรือความชื้นออกจากเนื้อในของฝักถั่ว ลิสงได้ ซึ่งเป็นไปตามกฎการแพร่ของฟิกค์[11, 14] ทำ

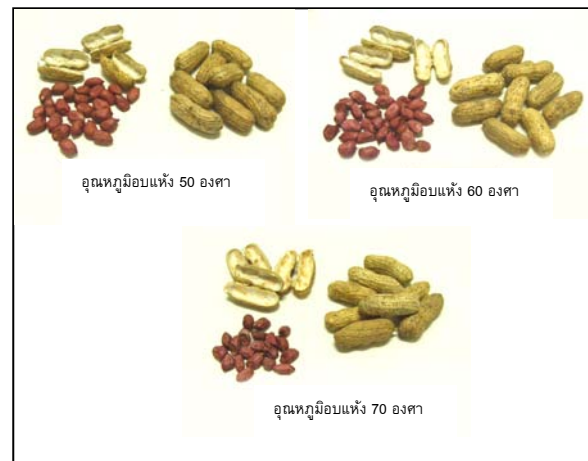
ให้อัตราการลดลงของความ ชื้นเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลการทดลองได้แสดงไว้แล้วดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟแสดงพฤติกรรมของการอบแห้ง

4.2 คุณภาพของถั่วลิสง

คุณภาพของถั่วลิสงหลังการอบแห้งดังแสดงใน รูปที่ 3 พบว่า มีการหดตัวของเมล็ดถั่วเล็กน้อย โดยเฉพาะอุณหภูมิ 70 °C แต่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 3 สภาพถั่วลิสงหลังการอบแห้ง

4.3 การสิ้นเปลืองพลังงาน

ผลการทดลองยังพบว่า การใช้พลังงานในการ อบแห้งมีค่าลดในช่วงอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น

เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

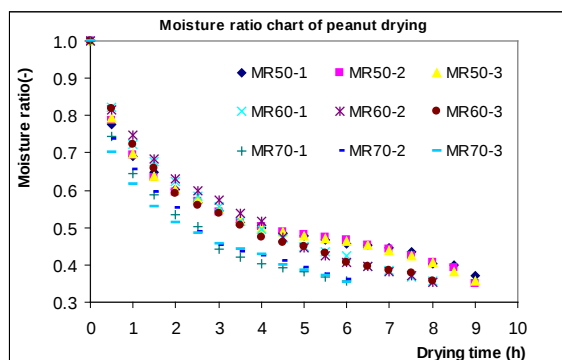
ตารางที่ 2 การใช้พลังงานในการอบแห้ง

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hr)	การใช้ไฟฟ้า (kW/h)	การใช้พลังงาน (kW-h/kg water evap.)
50°C	8.8	22.1	29.5
60°C	6.8	20.4	27.2
70°C	5.5	19.3	25.7

5 แบบจำลองการอบแห้ง

5.1 อัตราการอบแห้ง

ผลการทดลองได้นำไปคำนวณอัตราส่วนความชื้นด้วยสมการที่ (5) และสร้างความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้น และเวลาในการอบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงอัตราการอบแห้ง

5.2 แบบจำลองการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งดังรูปที่ 4 ได้พีตเข้ากับแบบจำลองอบแห้งชั้นบาง ดังปรากฏในสมการที่ (6) ถึง (11) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแต่ละแบบจำลอง สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ช่วยในการคำนวณ และแสดงค่าพารามิเตอร์ไว้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์สำหรับสมการที่ (6) ถึง (11)

Eq.	Temp	Model constant	R^2
(6)	50	$k=0.1518$	0.554
	60	$k=0.1644$	0.827
	70	$k=0.2371$	0.719
(7)	50	$a=0.8152, k=0.1029$	0.825
	60	$a=0.8667, k=0.1293$	0.928
	70	$a=0.8373, k=0.1771$	0.864
(8)	50	$a=0.3695, b=0.6263, k=1.3273, g=0.0513$	0.998
	60	$a=0.3004, b=0.6958, k=1.2112, g=0.0514$	0.999
	70	$a=0.3803, b=0.6153, k=1.7125, g=0.05137$	0.996
(9)	50	$a=0.2599, b=0.6219, c=0.1140, k=1.1257, g=0.0503, h=1.8185$	0.998
	60	$a=0.2095, b=0.6836, c=0.1022, k=1.3272, g=0.0825, h=0.8300$	0.999
	70	$a=-1.3653, b=0.6153, c=1.7456, k=1.7125, g=0.0939, h=1.7125$	0.996
(10)	50	$a=0.3724, k=1.3501, g=0.0517$	0.998
	60	$a=0.3024, k=1.2384, g=0.0855$	0.999
	70	$a=0.3829, k=1.7455, g=0.0945$	0.996
(11)	50	$a=0.1403, k=0.8693$	0.784
	60	$a=0.1469, k=0.8971$	0.927
	70	$a=0.1562, k=1.2173$	0.853

Note: Temp = Temperature (°C) , Eq. = Equation

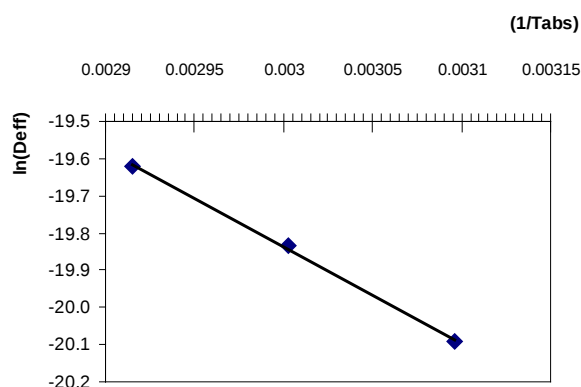
จากตารางที่ 2 พบว่า แบบจำลองดังสมการที่ (8 , 9 & 10) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 มากที่สุด ซึ่งอธิบายได้ว่าสัมประสิทธิ์ของเวลา t สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้น MR ได้

ดีกว่า [21] ผลการทดลองที่ได้ ยังได้ถูกนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น D_{eff} ด้วยสมการที่ (4) ได้คำตอบดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของผักถั่วลิสง

Drying Air Temperature ($^{\circ}C$)	Effective Diffusivity Coefficient, m^2/s
50	1.8786E-9
60	2.4311E-9
70	3.0074E-9

ค่าสัมประสิทธิ์จากตารางที่ 3 นำไปสร้างกราฟ โดยจัดให้แกนตั้งเป็น $\ln(D_{eff})$ และแกนนอนเป็น $(1/T_{abs})$ [11, 14] ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์สัมประสิทธิ์การแพร่กับอุณหภูมิ

และพีทกราฟเข้ากับสมการที่ (12) ก็จะได้ ค่าคงที่ Arrhenius factor (D_o) และ Activation energy (E_a) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณโดยใช้ SPSS ได้คำตอบของค่าคงที่ มีค่าดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าคงที่ของสมการที่ (12)

Parameter	Constant Coefficient
$D_o (m^2/s)$	5.595×10^{-6}
$E_a (kJ/kmol)$	2581.2

เขียนอยู่ในรูปสมการที่ (12) จะได้ สมการสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของผักถั่วลิสงดังนี้

$$D_{eff} = 5.595 \times 10^{-6} \exp \left[-\frac{2581.2}{T_{abs}} \right] \quad (15)$$

สมการที่ (15) มีค่า $R^2 = 0.999$ มีเงื่อนไขการใช้สมการอยู่ในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง T ระหว่าง 50 - 70 $^{\circ}C$ และความชื้นเริ่มต้นของถั่วลิสงไม่เกิน 40 % (wb)

6 สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้สรุปผลการศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อน และแบบจำลองการอบแห้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

6.1 อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อน

การอบแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนที่สูง จะสามารถลดเวลาในการอบแห้งให้สั้นลงได้ จากผลการทดลองพบว่า การลดความชื้นจาก 38 %wb ให้เหลือ 15%wb ด้วยอุณหภูมิลมร้อน 50, 60 และ 70 $^{\circ}C$ ใช้เวลาในการอบแห้ง 8.8, 6.8 และ 8.8 ชั่วโมง

ตามลำดับ และยังพบว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนที่สูง จะลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ด้วย เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่า แต่อย่างไรก็ตาม คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยสังเกตจากกายภาพของเมล็ดถั่วพบว่า เมล็ดถั่วที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าจะมีลักษณะเหี่ยวหรือเมล็ดรีบ แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในการพาณิชย์ เนื่องจากว่าสามารถนำไปทำเป็นถั่วลิสงป่นได้

6.2 แบบจำลองการอบแห้ง

งานวิจัยนี้ได้พิจารณาส่วนความชื้นเข้ากับแบบจำลองการอบแห้ง จำนวน 6 แบบจำลอง โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 พบว่า แบบจำลอง Modified Henderson and Pabis [18] แบบจำลอง Verma et al. [19] และแบบจำลอง Two-term exponential [20] มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด

7 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ใคร่ขอขอบพระคุณผู้ให้ทุนสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ คือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ 2551 สัญญาเลขที่ 65/2551 และขอขอบคุณนิสิตและเจ้าหน้าที่ภาควิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลการทดลองครั้งนี้

8 เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมวิชาการเกษตร, เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับถั่วลิสง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 2524.
- [2] ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น, การผลิตถั่วลิสงอย่างถูกต้องและเหมาะสม. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 2542.
- [3] K. T. Watcharin D, & Manit S., "The study to peanut drying using fluidized bed technique," in *The 4th national symposium on graduate research* Chiang Mai: Chiang Mai University, 2547.
- [4] L.-S. Fan, *Principles of gas-solid flows*, 1 ed. England: Cambridge University, 1998.
- [5] A. N. Naret Meeso, Thanid Madhiyanon, "Influence of FIR irradiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying," *Journal of Food Engineering*, vol. 65, pp. 293-301, 2004.
- [6] A. N. Naret Meeso, Thanid Madhiyanon, Somchart Soponronnarit, "Modelling of far-infrared irradiation in paddy drying process," *Journal of Food Engineering*, vol. 78, pp. 1248-1258, 2007.
- [7] T. S. Somchart Soponronnarit, Somboon Wetchacama, Wivat Wutiwiwatchai, "Fluidised bed drying of soybeans," *Journal of Stored Products Research*, vol. 37, pp. 133-151, 2001.
- [8] S. K. K. S.M. Tasirin, K. Jaafar, K.F. Lee, "The drying kinetics of bird's chillies in a fluidized bed dryer," *Journal of Food Engineering*, vol. 79, pp. 695-705, 2007.
- [9] T. U. Suparerk Charmongkolpradit, Nipon Mahaprom, Nantawat plymuang, "The Study Effect Factors on Continuous Chillies Drying by using Fluidized Bed Technique for Drying Process," in *The 21 st Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand* 2007.
- [10] S. Soponronnarit, *Grains and food drying (in Thai)*, 7 ed. Thailand: King Mongkut's University of Technology Thonburi, 1997.
- [11] A. S. Mujumdar, *Drying Technology in agriculture and food sciences*, 1 ed. USA: Science Publishers, 2000.
- [12] S. Joseph, *Current ASAE Standards Projects*. USA: ASAE, 1989.
- [13] P. F. A. Vega, A. Andre, R. Lemus, "Mathematical modeling of hot-air drying

- kinetics of red bell pepper," *Journal of Food Engineering*, vol. 79, pp. 1460-1466, 2007.
- [14] R. P. Singh, *Introduction to food engineering*, 2 ed. USA: Academic, 1993.
- [15] W. K. Lewis, "The rate of drying of solid materials," *Industrial & Engineering Chemistry*, vol. 13, pp. 427-432, 1921.
- [16] S. M. Henderson, & Pabis, S., "Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients," *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 6, pp. 169-174, 1961.
- [17] S. M. Henderson, "Progress in developing the thin layer drying equation," *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, vol. 17, pp. 1167-1168, 1974.
- [18] V. T. Karathanos, "Determination of water content of dried fruits by drying kinetics," *Journal of Food Engineering*, vol. 39, pp. 337-344, 1999.
- [19] L. R. Verma, Bucklin, R. A., Endan, J. B., & Wraton, F. T., "Effects of drying air parameters on rice drying models," *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, vol. 28, pp. 296-301, 1985.
- [20] Y. I. Sharaf-Elden, Blaisdell, J. L., & Hamdy, M. Y., "A model for ear corn drying," *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, vol. 23, pp. 1261-1265, 1980.
- [21] V. Kanlaya, *Using to SPSS for Windows(in Thai)*. Thailand: Chulalongkorn University, 2004.
- [22] S. Ergun, "Fluid flow through packed columns," *Chem. Eng. Prog*, vol. 48, p. 89, 1952.
- [23] I. B. Gui-Hua Qian , Ian W. Burdick , Robert Pfeffer , Henry Shaw , John G. Stevens, "Gas-solid fluidization in a centrifugal field," *AIChE Journal*, vol. 47, pp. 1022-1034, 2001.