

การอบแห้งถั่วลิสงด้วยลมร้อนร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกล Peanuts drying using hot air and mechanical vibrations

ร้อยทิศ ญาติเจริญ¹* และ วัชรินทร์ ดงบัง¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ถนนลงหาดบางแสน ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131
Email: yart_3@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเชิงทดลองอบแห้งถั่วลิสงโดยอาศัยลมร้อนร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกล โดยทำการทดลองอบแห้งถั่วลิสงทั้งฝักแบบชั้นบาง งดละ 1000 g ความสูงเบด 1.5 cm ถั่วลิสงมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 56%wb การศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 กรณีเพื่อเปรียบเทียบ กรณีแรก ศึกษาการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 70 - 90°C มีการหมุนเวียนลมร้อนกลับมาใช้ซ้ำอีกประมาณ 80% กรณีสอง ศึกษาการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกลที่แอมพลิจูดระหว่าง 0.1- 0.3 mm โดยที่อุณหภูมิลมร้อนยังคงเท่ากับกรณีแรก เป้าหมายการอบแห้งเพื่อลดความชื้นถั่วลิสงให้เหลือประมาณ 12%wb พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มความร้อนแฝงในการระเหยน้ำให้สูงขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลงได้ นอกจากนี้การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกล โดยการเพิ่มแอมพลิจูดการสั่นสะเทือนให้สูงขึ้นเพื่อกระตุ้นการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในถั่วลิสง พบว่า สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นลงได้เร็วขึ้นเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้แล้วยังได้ทำการอบแห้งถั่วลิสงที่ได้แยกเมล็ดออกจากเปลือกแล้ว พบว่าระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด ผลการทดลองได้นำไปหาพารามิเตอร์กับแบบจำลองการอบแห้งแบบชั้นบาง 4 แบบจำลอง พบว่าแบบจำลอง Two-term Henderson สามารถอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งได้ดีที่สุด

คำหลัก: การอบแห้ง, ฝักถั่วลิสง, การสั่นสะเทือนทางกล, การระเหย

Abstract

In this study, the experiment of peanuts drying by using hot air combined mechanical vibration was investigated. By drying 1000g of peanuts with thin layer method at 1.5 cm height and starting at 56%wb initial moisture content down to 12%wb final moisture content. The experiment was studied on 2 cases; first case was dried by using hot air between 70 - 90°C and 80% reheating. Second case was dried by using hot air combined the mechanical vibration between 0.1-0.3 mm amplitude. The experimental result was found that the increasing of hot air temperature reduces drying time and the increasing of mechanical vibration amplitude also reduces drying time too. The result was fitted to parameters of 4 popular models. The Two-term Henderson model was best for explain drying behavior.

Keywords: peanuts drying, mechanical vibration, evaporation

1. บทนำ

ถั่วลิสงเป็นเมล็ดพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง บริโภคง่าย ใช้เป็นส่วนประกอบอาหารคาว หวานต่าง ๆ บางส่วนนำไปสกัดน้ำมัน และกากใช้ในอุตสาหกรรมสัตว์และวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายชนิด เนื่องจากถั่วลิสงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงคือเป็นแหล่งอาหารโปรตีนและไขมัน ซึ่งในเมล็ดถั่วลิสงแห้งประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 45 - 55 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าพืชตระกูลถั่วชนิดอื่นๆ และมีโปรตีนร้อยละ 25 - 26 [1] อย่างไรก็ตามถั่วลิสงยังมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตถ้าเก็บถั่วลิสงไว้ในบริเวณที่ที่มีความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเชื้อราจะมีผลทำให้เกิดสารพิษที่มีชื่อว่า สารอะฟลาท็อกซิน (Aflatoxins) สารอะฟลาท็อกซินจัดเป็นสารที่สร้างขึ้นจากเชื้อรา มักพบการปนเปื้อนในพืชไร่หลายชนิดโดยเฉพาะถั่วลิสง [2] ถั่วลิสงสามารถนำไปแปรรูปเพื่อส่งจำหน่ายต่างประเทศได้ โดยคุณภาพของผลผลิตถั่วลิสงขึ้นอยู่กับความชื้น การเก็บรักษา การนำไปถนอมอาหารหรือระยะเวลาในการตากแดดธรรมชาติ เป็นปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาถั่วลิสงให้เกิดประโยชน์มากที่สุด การถนอมอาหารโดยการทำแห้งเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งหลักการในการทำแห้ง มีหลายวิธีคือ ได้แก่ ใช้กระแสลมร้อนสัมผัสกับอาหารโดยตรง เช่น ตู้อบลมร้อน หรือตากแดด [3] การลดความชื้นในอาหารโดยใช้ไมโครเวฟ [4] หรือเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด [5] เป็นต้น หลักในการทำอาหารให้แห้ง คือ เมื่ออาหารได้รับความร้อนโมเลกุลของน้ำในอาหารจะเกิดการสั่นสะเทือนและเกิดการถ่ายเทความร้อน ทำให้น้ำที่อยู่ภายในเมล็ดพืชถ่ายเทมวลออกมาสู่ผิวภายนอก หลักจากนั้นความร้อนแฝงซึ่งได้จากลมร้อนจะทำหน้าที่ระเหยน้ำออกจากผิวของเมล็ดพืชต่อไป [6]

การทำเมล็ดพืชเกิดการสั่นสะเทือนทางกลขณะอบแห้งนั้น เกิดขึ้นกับการอบแห้งที่ทำให้เมล็ดพืชมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา เช่น การอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด เป็นต้น ซึ่งได้รับความนิยมอย่างกว้างในการ

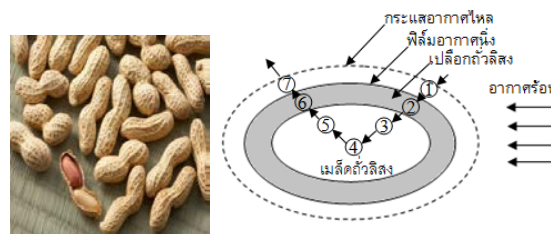
นำมาใช้ในการอบแห้ง เช่น ข้าวเปลือก [7] พริก [8] และถั่วลิสง [5] เป็นต้น ข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งดังกล่าวคือ ใช้ความเร็วลมค่อนข้างสูง เพื่อทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดจึงไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมในครัวเรือน

งานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางในการทำให้เมล็ดพืชเกิดการสั่นสะเทือนโดยใช้กลไก และใช้ความเร็วลมในการอบแห้งต่ำกว่าแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อลดขนาดเครื่องและการประหยัดพลังงาน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งฝักถั่วลิสงด้วยลมร้อนร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกล และเพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งแบบชั้นบาง เป็นต้น

2. ทฤษฎี

2.1 การถ่ายเทความร้อนในฝักถั่วลิสง

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และอิทธิพลของความเร็วลม [9] ซึ่งแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การถ่ายเทความร้อนและมวลในถั่วลิสง [9]

จากรูปที่ 1 เป็นการแสดงไหลของความร้อนและความชื้นผ่านความต้านทานหลายตัวซึ่งต่อแบบอนุกรมกันอยู่ ได้แก่ 1) ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่ฟิล์มอากาศนิ่ง 2) ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่เปลือกถั่วลิสง 3) ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนในเมล็ดถั่วลิสง 4) น้ำที่จะระเหย 5) ความต้านทานการถ่ายเทมวลในเมล็ดถั่วลิสง 6) ความต้านทานการถ่ายเทมวลที่เปลือกถั่วลิสง และ 7) ความต้านทานการถ่ายเทมวลที่ฟิล์มอากาศนิ่ง [9]

2.2 ความชื้นเริ่มต้นของถั่วลิสง

การหาความชื้นเริ่มต้นในผักถั่วลิสงสำหรับงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASAE [10] โดยนำผักถั่วลิสงมาแยกเมล็ดกับเปลือกออกจากกัน แล้วคำนวณหาความชื้นในเปลือกและเมล็ด จากนั้นจึงนำมาคำนวณความชื้นเริ่มต้นของผักถั่วลิสง ซึ่งมีสมการต่อไปนี้

คำนวณร้อยละโดยมวลของเปลือกถั่วตั้งสมการ (1)

$$A = \left(\frac{m_{s,in}}{m_p} \right) * 100\% \quad (1)$$

A คือ ร้อยละโดยมวลของเปลือกถั่ว (%)

$m_{s,in}$ คือ มวลเริ่มต้นของเปลือกถั่ว (g)

m_p คือ มวลเริ่มต้นของเมล็ดและเปลือกถั่ว (g)

คำนวณร้อยละของเมล็ดถั่วตั้งสมการ (2)

$$B = \left(\frac{m_{k,in}}{m_p} \right) * 100\% \quad (2)$$

B คือ ร้อยละโดยมวลของเมล็ดถั่ว (%)

$m_{s,in}$ คือ มวลเริ่มต้นของเมล็ดถั่ว (g)

m_p คือ มวลเริ่มต้นของเมล็ดและเปลือกถั่ว (g)

คำนวณค่าความชื้นในเปลือกถั่วตั้งสมการ (3)

$$C = \left(\frac{m_{s,in} - m_{s,f}}{m_{s,in}} \right) * 100\% \quad (3)$$

C คือ ความชื้นในเปลือกถั่ว (%wb)

$m_{s,in}$ คือ มวลเริ่มต้นของเปลือกถั่ว (g)

$m_{s,f}$ คือ มวลสุดท้ายของเปลือกถั่ว (g)

คำนวณค่าความชื้นในเมล็ดถั่วตั้งสมการ (4)

$$D = \left(\frac{m_{k,in} - m_{k,f}}{m_{k,in}} \right) * 100\% \quad (4)$$

D คือ ความชื้นในเมล็ดถั่ว (%wb)

$m_{k,in}$ คือ มวลเริ่มต้นของเมล็ดถั่ว (g)

$m_{k,f}$ คือ มวลสุดท้ายของเมล็ดถั่ว (g)

คำนวณความชื้นเริ่มต้นในผักถั่วตั้งสมการ (5)

$$M_{in} = \frac{(D*B) + (C*A)}{100} \quad (5)$$

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้นในผักถั่วลิสง (%wb)

A คือ ร้อยละโดยมวลของเปลือกถั่ว (%)

B คือ ร้อยละโดยมวลของเมล็ดถั่ว (%)

C คือ ความชื้นในเปลือกถั่ว (%wb)

D คือ ความชื้นในเมล็ดถั่ว (%wb)

2.3 ความชื้นในผักถั่วลิสงทั้งผัก

การหาค่าความชื้นในผักถั่วลิสงในขณะทำการทดลองในงานวิจัยนี้ใช้มาตรฐาน ASAE [10] โดยการนำผักถั่วลิสงในห้องอบแห้งออกมาชั่งน้ำหนัก ส่วนต่างของมวลที่หายไปก็จะนำไปคำนวณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงขณะอบแห้งด้วยสมการ (6)

$$M_t = \left(\frac{m_{in} - m_t}{m_{in}} \right) * 100\% \quad (6)$$

M_t คือ ความชื้นที่เปลี่ยนแปลงที่เวลาใดๆ ขณะอบแห้ง (%wb)

m_{in} คือ มวลเริ่มต้นของผักถั่วลิสง (g)

m_t คือ มวลที่เวลาใดๆ ขณะอบแห้ง (g)

2.4 สมการอบแห้งชั้นบาง

ความสัมพันธ์พื้นฐานของการอบแห้งผักถั่วลิสงได้นำไปคำนวณในรูปของสมการอบแห้งชั้นบาง โดยอาศัยหลักพื้นฐานดังสมการ (7) [9]

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_{eq}) \quad (7)$$

สมการ (7) ถูกทำการอินทิเกรตโดยกำหนดที่สภาวะเวลาเริ่มต้น $M(0) = M_{in}$ และ ที่เวลาใดๆ $M(t) = M$ และจัดรูปสมการใหม่ให้อยู่ในลักษณะสมการอบแห้งชั้นบางดังสมการ (8) [9]

$$\overline{MR} = \exp(-kt) \quad (8)$$

ผลการทดลองถูกนำมาคำนวณ $\overline{MR}$ ด้วยสมการ (9)

$$\overline{MR} = \frac{M - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (9)$$

$\overline{MR}$	คือ อัตราส่วนการลดความชื้น (เศษส่วน)
M_{in}	คือ ความชื้นเริ่มต้นของผักถั่วลิสง (%wb)
M	คือ ความชื้นของผักถั่วลิสง (%wb)
M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุลผักถั่วลิสง (%wb)
t	คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (%wb)
k	คือ ค่าคงที่ของแบบจำลอง

รูปแบบสมการ (8) มีการพัฒนาโดยการเพิ่มค่าคงที่ A มีรูปแบบดังสมการ (10) [11]

$$\overline{MR} = A \exp(-kt) \quad (10)$$

การนำผลการทดลองมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้น $\overline{MR}$ กับเวลาที่ถั่วลิสงอยู่ในเครื่องอบแห้ง (t) แล้วทำการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าความถดถอยในรูปสมการ (10) ก็จะได้ค่าคงที่ของแบบจำลอง A และ k วิธีการหาค่าของแบบจำลอง โดยเริ่มจัดสมการ (10) ให้อยู่ในรูปแบบลอการิทึม และใช้วิธีผลรวมของค่ายกกำลังสองต่ำสุด (Minimum Lest Square) [12] ซึ่งมีขั้นตอนดังสมการ (11)

$$\ln \overline{MR} = \ln A - \ln \exp(kt) \quad (11.1)$$

$$\ln \overline{MR} = \ln A - kt \quad (11.2)$$

$$\ln \overline{MR} - \ln A + kt = 0 \quad (11.3)$$

จัดรูปสมการ (11.1) ให้เข้ารูปแบบของวิธีกำลังสองต่ำสุด จะได้รูปแบบดังสมการ (12)

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^m [\ln A - kt_i - \ln \overline{MR}_i]^2}{\partial A} \rightarrow \min \quad (12)$$

ค่าคงที่ A และ k สามารถหาโดยการหาอนุพันธ์ย่อยเทียบกับ A และ k เทียบให้เท่ากับศูนย์ เมื่อจัดรูปจะได้สมการ (13)

$$\ln A \sum_{i=1}^m t_i - k \sum_{i=1}^m t_i^2 = \sum_{i=1}^m \ln \overline{MR}_i \quad (13)$$

สมการที่ (13) สามารถแก้โดยการแทนค่าผลการทดลองก็จะได้อัตราคงที่ A และ k ของสมการ (10) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบผลการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ด้วย

2.5 การถ่ายเทความร้อนร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกล

กระบวนการถ่ายเทความร้อนในเมล็ดผักถั่วลิสงจะเกิดขึ้นในขณะที่ผักถั่วลิสงได้รับความร้อนจากลมร้อน ทำให้เกิดการพาความร้อนจากลมร้อนไปสู่เปลือกของถั่ว และเกิดการนำความร้อนจากเปลือกถั่วไปยังเมล็ดถั่วที่อยู่ภายใน ความร้อนจะทำให้เกิดจากการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในผักถั่วลิสง [6] การสั่นสะเทือนของพันธะภายในโมเลกุลของน้ำมี 3 ลักษณะ คือ 1)การสั่นสะเทือนที่ยืด-หดแบบสมมาตร 2)การสั่นสะเทือนที่ยืด-หดแบบไม่สมมาตร และ 3)การสั่นสะเทือนที่เปลี่ยนมุมแบบสมมาตร เป็นต้น ถ้าการสั่นสะเทือนพันธะภายในโมเลกุลของน้ำในอาหารที่มีความถี่ที่ตรงกับความถี่ที่ได้รับการกระตุ้น จะช่วยส่งเสริมให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของการสั่นสะเทือนของโมเลกุลเป็นพลังงานความร้อน [6] การอบแห้งที่มีการกระตุ้นการสั่นสะเทือนของโมเลกุลอาจจะทำให้หลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด [6] การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ [4] และการอบแห้งลักษณะอื่นๆ การพัฒนาการกลไกเพื่อช่วยให้เกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุล ก็เพื่อช่วยเพิ่มเปลี่ยนแปลงสภาพของการสั่นสะเทือนของโมเลกุลเป็นพลังงานความร้อนให้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้การการถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างรวดเร็วและลดระยะเวลาการอบแห้ง

การวิจัยนี้จึงได้นำการสั่นสะเทือนทางกลมาช่วยในการสั่นสะเทือนกับผักถั่วลิสง เป็นการสั่นสะเทือนทางกลที่ยึด-หดแบบสมมาตรขึ้นลงในแนวดิ่ง โดยใช้มอเตอร์ที่ต่อเข้ากับเพลาลูกเบี้ยวที่สามารถถอดเปลี่ยนมวลของลูกเบี้ยวเพื่อปรับค่าแอมพลิจูดสามารถคำนวณค่าดังสมการ (14)

$$X = \frac{me\omega^2}{\sqrt{(k-M\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad (14)$$

- X คือ แอมพลิจูดการสั่นสะเทือนทางกล (mm)
m คือ มวลของลูกเบี้ยว (kg)
e คือ ระยะเยื้องศูนย์กลางของมวล (m)
 ω คือ ความเร็วรอบส่วนหมุน (rad/s)
k คือ ค่าคงที่ของสปริง (N/m)
M คือ มวลของระบบทั้งหมด (kg)
c คือ ตัวหน่วง (N/m.s)

2.6 แบบจำลองการอบแห้ง

งานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองการอบแห้งที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในการอบแห้งดังตารางที่ 1 พิจารณาเข้ากับการทดลองเพื่อหาค่าคงที่

ตารางที่ 1 แสดงแบบจำลองการอบแห้ง[13,14,15]

No	Model	Model equation
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$
2	Henderson & Pabis	$MR = A \exp(-kt)$
3	Logarithmic	$MR = A \exp(-kt) + b$
4	Two-term Henderson	$MR = A \exp(-kt) + b \exp(-gt)$

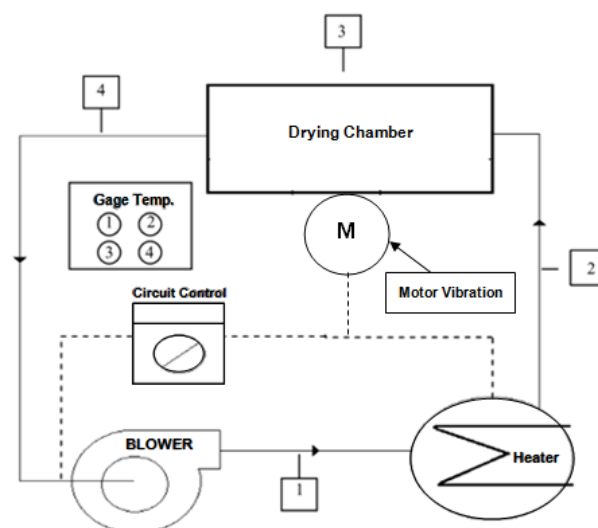
3. ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

การศึกษาการอบแห้งนี้ ได้ออกแบบชุดทดลองการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกล โดยการศึกษาจะแบ่งเป็น 2 กรณีกรณีแรก ศึกษาการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 70 - 90°C มี

การหมุนเวียนลมร้อนกลับมาใช้ซ้ำอีกประมาณ 80% กรณีสอง ศึกษาการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกลที่แอมพลิจูดระหว่าง 0.1 - 0.3 mm โดยที่อุณหภูมิลมร้อนยังคงเท่ากับกรณีแรก เป้าหมายการอบแห้งเพื่อลดความชื้นผักถั่วลิสงให้เหลือประมาณ 12%wb โดยมีอุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีการทดลองดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการศึกษาครั้งนี้ได้ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพเครื่องอบแห้ง

แผนภาพเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกลดังรูปที่ 2 ประกอบไปด้วย ห้องอบแห้งและด้านล่างของห้องอบแห้งมีมอเตอร์ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนทางกล ซึ่งสามารถปรับค่าแอมพลิจูดได้ระหว่าง 0.1 - 0.3 mm นอกจากนี้ได้ติดตั้งแผงควบคุมอุณหภูมิลมร้อน เครื่องเป่าลม รวมทั้งชุดควบคุมระบบไฟฟ้าให้มอเตอร์และพัดลม และเครื่องวัดอุณหภูมิแต่ละจุด ฮีตเตอร์ สามารถปรับอุณหภูมิได้ด้วย PID Control

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

กรณีอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว ได้ใช้ผักถั่วลิสงครั้งละ 1000g มีความชื้นเริ่มต้น

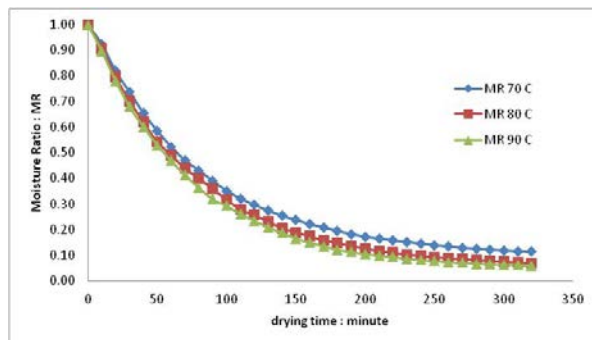
56 %wb อุณหภูมิทางเข้าเครื่องอบแห้งแต่ละระดับ โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 70°C ,80°C และ 90°C ทำการบันทึกผลการทดลองโดยทุกๆ 10 นาที ทุกๆ เงื่อนไขการทดลองได้ดำเนินการซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำมา คิดค่าเฉลี่ย

กรณีอบแห้งโดยใช้ลมร้อนร่วมกับการ สั่นสะเทือนทางกล ได้ใช้ผักถั่วลิสงครั้งละ 1000 g มีความชื้นเริ่มต้น 56 %wb ทำตามขั้นตอนกรณีแรกแต่ ทำการเปิดมอเตอร์สั่นสะเทือนโดยแบ่งการสั่นสะเทือน เป็น 3 ระดับที่แอมพลิจูด 0.1 , 0.2 และ 0.3 mm ตามลำดับโดยอุณหภูมิลมร้อนยังเท่ากับกรณีแรก

4.ผลการวิจัย

4.1 จลศาสตร์การอบแห้งด้วยลมร้อน

ลมร้อนอุณหภูมิ 3 ระดับคือ 70 , 80 , และ 90°C ตามลำดับ เข้าสู่ห้องอบแห้งด้วยความเร็ว ค่าคงที่ 1.5 m/s ผลการทดลองถูกนำไปคำนวณ อัตราส่วนความชื้น (MR) ด้วยสมการ (9) ซึ่งสามารถ สังเกตพฤติกรรมได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อัตราการอบแห้งผักถั่วลิสงด้วยลมร้อน

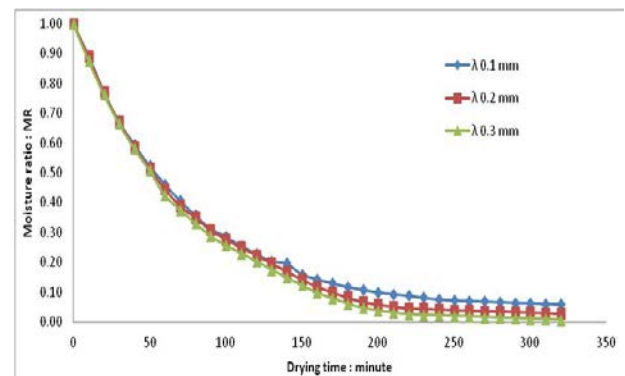
รูปที่ 3 พบว่า อุณหภูมิของลมร้อนที่เพิ่มขึ้นมี ผลทำให้ ระยะเวลาในการอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว ขึ้น ทั้งนี้อธิบายได้ว่าอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มความร้อนแฝงของการระเหยน้ำให้เพิ่มขึ้นด้วย กล่าวคือ ที่ความชื้นสุดท้ายของผักถั่วลิสง 12%wb หรือ MR = 0.218 อุณหภูมิลมร้อน 70 , 80 , และ 90°C ใช้เวลาในการอบแห้ง 170, 140 และ 130 นาที ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เวลาการอบแห้งถั่วลิสงทั้งผัก

อุณหภูมิ (°C)	เวลาอบแห้ง (นาที)
70	170
80	140
90	130

4.2 จลศาสตร์การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการ สั่นสะเทือนทางกล

การอบแห้งด้วยลมร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งด้วยความเร็วค่าคงที่ 1.5 m/s อุณหภูมิ 90°C ร่วมกับการ สั่นสะเทือนทางกลที่แอมพลิจูด(λ) 3 ระดับ คือ 0.1, 0.2 และ 0.3 mm ผลการทดลองถูกนำไปคำนวณ อัตราส่วนความชื้น (MR) ด้วยสมการ (9) ซึ่งสามารถ สังเกตพฤติกรรมได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงอัตราการอบแห้งร่วมกับการสั่นสะเทือน

รูปที่ 4 พบว่า การนำเทคนิคการสั่นสะเทือน ทางกลเข้ามามีผลร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน ได้ช่วยให้การอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น อธิบายได้ว่า พลังงานจากการสั่นสะเทือนทางกลที่เพิ่มขึ้นได้ถูก เปลี่ยนเป็นพลังงานทางความร้อน ทำให้เกิดการ ถ่ายเทมวลของน้ำภายในผักถั่วลิสงเป็นไปได้อย่าง รวดเร็วขึ้น กล่าวคือ การเพิ่มแอมพลิจูด(λ) ในการ สั่นสะเทือนทางกลจาก 0.1, 0.2 และ 0.3 mm ที่ ความชื้นสุดท้ายของผักถั่วลิสง 12%wb หรือ MR =

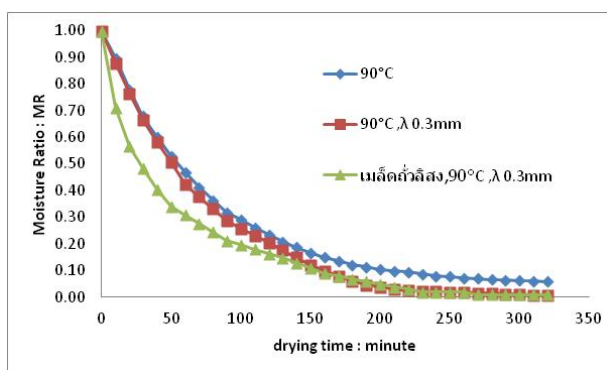
0.218 พบว่าระยะเวลาในการอบแห้งเป็น 125, 120 และ 110 นาที ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เวลาการอบแห้งถั่วลิสงทั้งฝักที่มีการแปรผันการสั่นสะเทือนทางกล

อุณหภูมิ (°C)	(λ) (mm)	เวลาอบแห้ง (นาที)
70	0.1	125
80	0.2	120
90	0.3	110

4.3 การอบแห้งถั่วลิสงแบบแยกเมล็ด

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษเปรียบเทียบการอบแห้งฝักถั่วลิสงทั้งฝักกับการอบแห้งถั่วลิสงแบบแยกเมล็ด การอบแห้งด้วยลมร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งด้วยความเร็วค่าคงที่ 1.5 m/s อุณหภูมิ 90°C ร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกลที่แอมพลิจูด(λ) 0.3 mm และนำไปเปรียบเทียบกับ การอบแห้งถั่วลิสงทั้งฝักซึ่งไม่ได้แยกเมล็ดออก ผลการทดลองถูกนำไปคำนวณอัตราส่วนความชื้น (MR) ด้วยสมการ (9) มีพฤติกรรมดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งในแต่ละกรณี

รูปที่ 5 พบว่า ฝักถั่วลิสงหลังจากแยกเมล็ดแล้วนำไปทำการอบแห้ง จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่า เมื่อเทียบกับการอบแห้งถั่วลิสงทั้งฝักที่อุณหภูมิเท่ากัน อธิบายได้ว่าเปลือกถั่วลิสงมีสภาพการต้านทานความร้อน ดังนั้นการแยกเมล็ดถั่วลิสงออกจากเปลือกจึงเป็นการลดความต้านทานความร้อน

ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยตรงระหว่างลมร้อนกับเมล็ดถั่วลิสง ที่ความชื้นสุดท้ายของเมล็ดถั่วลิสง 12%wb หรือ MR = 0.218 พบว่าระยะเวลาในการอบแห้งเพียง 90 นาที ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบเวลาการอบแห้งเมล็ดถั่วลิสง

สภาพถั่วลิสง	(λ) (mm)	เวลาอบแห้ง (นาที)
ถั่วลิสงทั้งฝัก	-	130
ถั่วลิสงทั้งฝัก	0.3	110
แยกเมล็ด	0.3	90

4.4 สมการอบแห้งชั้นบาง

อัตราการอบแห้งได้ฟิตเข้ากับแบบจำลองการอบแห้งชั้นบาง ที่ปรากฏในตารางที่ 1 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแต่ละแบบจำลองและแสดงค่าพารามิเตอร์ไว้ในตารางที่ 6 ดังนี้

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์แบบจำลองของตารางที่ 1

Model	T (°C)	Parameter	R ²	RSS
(1)	70	k= 0.0106	0.989	0.0238
	80	k= 0.0118	0.992	0.0172
	90	k= 0.0139	0.998	0.0047
(2)	70	A= 0.9803, k= 0.009	0.990	0.0228
	80	A= 0.9821, k= 0.0115	0.993	0.0164
	90	A= 1.0126, k= 0.0141	0.998	0.0044
(3)	70	A= 0.9560, k= 0.0130 b= 0.0658	0.999	0.0017
	80	A= 0.9651, k= 0.0137 b= 0.0489	0.999	0.0024
	90	A= 1.0194, k= 0.0133 b= -0.0162	0.999	0.0025
(4)	70	A= 0.9954, k= 0.0121 b= 0.0209, g= -0.0037	0.999	0.0011
	80	A= 0.9865, k= 0.0132 b= 0.0246, g= -0.0022	0.999	0.0022
	90	A= 0.4573, k= 0.0141 b= 0.5552, g= 0.0141	0.998	0.0044

หมายเหตุ: Model คือ แบบจำลองของตารางที่ 1 T คือ อุณหภูมิ ลมร้อน และ RSS คือ Residuals Sum Square

จากตารางที่ 2 พบว่า แบบจำลองของ Two-term Henderson มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) มากที่สุด และ RSS ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองข้างต้นสามารถอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งในรูปสมการได้ดีที่สุด

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับการสั่นสะเทือนทางกล โดยการแปรผันอุณหภูมิลมร้อนระหว่าง 70 - 90°C แอมพลิจูดการสั่นสะเทือนทางกลระหว่าง 0.1 - 0.3 mm และมีการแยกเมล็ดถั่วลิสงออกจากเปลือกถั่ว ได้ข้อสรุปว่า อุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มความร้อนแฝงของการระเหยน้ำให้เพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง และพลังงานจากการสั่นสะเทือนทางกลที่เพิ่มขึ้นได้ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานทางความร้อน ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลของน้ำภายในฝักถั่วลิสงเป็นไปได้อย่างรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้แล้วพบว่าเปลือกถั่วลิสงมีสภาพการต้านทานทางความร้อน ดังนั้นการแยกเมล็ดถั่วลิสงออกจากเปลือกจึงเป็นการลดความต้านทานความร้อน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยตรงระหว่างลมร้อนกับเมล็ดถั่วลิสง การอบแห้งจึงใช้เวลาน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการอบแห้งทั้งฝัก

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ให้อื้อเพื่อสถานที่ในการทำการวิจัย รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษา

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กาญจนา บันสิทธิ์ และคณะ, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, พิมพ์ครั้งที่ 1 2541.
- [2] สุวัฒน์ ชีระพงษ์รักษา, เอกสารประกอบการสอน, ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

- [3] สำนักส่งเสริมและพัฒนากิจการเกษตรเขตที่ 6 , เชียงใหม่.
- [4] นันทวัน เทอดไทย และ สุพิชา กระจำนเมธิกุล , "ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง", ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] K. T. Watcharin D, & Manit S., "The study to peanuts drying using fluidized bed technique," in *The 4th national symposium on graduate research* Chiang Mai: Chiang Mai University, 2547.
- [6] Watcharin D., "Infrared Radiation and Applications in Food Industries", Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University.
- [7] 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.
- [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] สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. (2540) . การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7 . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [10] St. Joseph. (1989). ASAE Standard S358.1 :Moisture Measurement – Forages, Michigan : ASAE .
- [11] Wang ,C.Y., & Singh, R.P. (1978) . A single layer drying equation of rough rice . ASAE Paper , 21 , 78 – 3001.

- [12] Stocker, W.F. (1989) Design of thermal system . 3rd ed. New Jersey : McGraw-Hill.
- [13] W. K. Lewis, "The rate of drying of solid materials", *Industrial & Engineering Chemistry* ,vol. 13, pp 427-432, 1921.
- [14] 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.
- [15] S. M. Henderson, "Progress in developing the thin layer drying equation", *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, vol. 17 , pp. 1167-1168, 1974.