Agricultural Sci. J. 42 : 3 (Suppl.) : 427-429 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 3 (พิเศษ) : 427-429 (2554)

การจำลองการให้ความร้อนต่อเมล็ดถั่วเหลืองโดยเทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหล : การพาความร้อนและการใช้รังสีอินฟราเรด

Simulation of infrared radiation and convection heating of soybean by CFD technique

คธา วาทกิจ[1] และ วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน[1]

Khata Vatakit[1] and Weerasak Lertsiriyothin[1]

Abstract

The objective of this study was to simulate an Infrared Radiation (IR) heating compared to conventional heating for surface decontamination of soybean using the Computer Fluid Dynamic (CFD) technique. The Monte Carlo IR heating simulations combined with convection-diffusion air flow were applied. The model was considered by conduction heat transfer, convection heat transfer and surface radiation. The model was solved in 3D incorporating the real soybean shape and returned the transient surface temperature profile of the soybean. The results showed that IR heating achieved more uniform surface heating than air convection heating, with a maximum temperature close to the critical limit of 55°C at the same average temperature.

Keywords: Computer fluid dynamic technique, infrared radiation, convection heating, soybean

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหลเพื่อจำลองการให้ความร้อนต่อเมล็ดถั่วเหลืองในการล้างการปนเปื้อนที่ผิวของเมล็ดเปรียบเทียบระหว่างวิธีการใช้รังสีอินฟราเรดกับวิธีการพาความร้อนโดยทั่วไป การจำลองการแผ่รังสีอินฟราเรดประยุกต์ใช้วิธีมอนติ คาร์โลร่วมกับการพาและการแพร่ความร้อนในการไหลผ่านของอากาศ แบบจำลองถูกสร้างขึ้นจากรูปทรงจริงของเมล็ดถั่วเหลืองในลักษณะสามมิติโดยพิจารณาผลของการนำความร้อน การพาและการแผ่รังสีความร้อนเพื่อแสดงการกระจายของอุณหภูมิบนผิวถั่วเหลืองในแต่ละช่วงเวลา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดทำให้พื้นผิวของเมล็ดถั่วเหลืองมีการกระจายของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอกว่าการให้ความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อนโดยอากาศ โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ผิวใกล้เคียงกับอุณหภูมิวิกฤติของผิวเมล็ดถั่วเหลืองที่ 55 องศาเซลเซียส ที่ทุกๆ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ

คำสำคัญ : เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหล การแผ่รังสีอินฟราเรด การพาความร้อน ถั่วเหลือง

คำนำ

ถั่วเหลือง (Soybean, *Glycine max* (L.) Merrill) นับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจหลักอย่างหนึ่งของประเทศไทย โดยทั่วไปเรานิยมนำถั่วเหลืองไปบริโภคสดในรูปของถั่วงอก นำไปแปรรูปหรือใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์ เป็นต้น ถั่วเหลืองที่ปลูกในประเทศไทยปัจจุบันมีอยู่หลากหลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์ สจ.4 สจ.5 สุโขทัย 1 สุโขทัย 2 สุโขทัย 3 นครสวรรค์ 1 เชียงใหม่ 60 เชียงใหม่ 2 เชียงใหม่ 3 เชียงใหม่ 4 ศรีสำโรง 1ฯลฯ อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาปลูกถั่วเหลืองกันมากขึ้นในปัจจุบัน แต่ปริมาณผลผลิตถั่วเหลืองในประเทศไทยก็ยังคงไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดจึงส่งผลให้ต้องมีการนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศอยู่เสมอ จากเหตุผลดังกล่าวจึงจำเป็นต้องหาวิธีการเก็บรักษาถั่วเหลืองให้มีอายุยาวนานขึ้นเพื่อทดแทนความต้องการของตลาดในช่วงที่ขาดแคลน ซึ่งจะทำให้ปริมาณถั่วเหลืองในท้องตลาดอยู่ในระดับใกล้เคียงกันตลอดปีและสามารถรักษาระดับราคาของถั่วเหลืองให้คงที่ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสินค้าชนิดอื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบในการผลิต

การอบให้ความร้อนเป็นกระบวนการหนึ่งในขั้นตอนการเก็บรักษาสภาพและล้างการปนเปื้อนที่ผิวของเมล็ดถั่วเหลือง โดยทั่วไปภายหลังการเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองจะมีความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 25-33% (ความชื้นแห้ง) ในการเก็บรักษาสภาพที่ดีเมล็ดถั่วเหลืองควรจะมีความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 12-13% (ความชื้นแห้ง) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อราหรือสูญเสียคุณค่าทางอาหารมากเกินไปเมื่อต้องเก็บรักษาถั่วเหลืองไว้เป็นระยะเวลานานๆ (นิวัตน์, 2545) วิธีการอบให้ความร้อนแก่เมล็ดถั่วเหลืองมี

[1] ศูนย์วิจัยนวัตกรรมบรรจุภัณฑ์และอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

[1] Packaging and Food Innovation Research Center, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, 30000

อยู่หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ได้แก่ การอบโดยใช้ลมร้อนโดยตรง เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดหรือสเปาท์เตดเบด รวมไปถึงการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟร่วมกับวิธีการอบแบบต่างๆ เพื่อดึงเอาความชื้นจากเมล็ดถั่วเหลืองออกให้มากที่สุดและสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด (Pan and Atungulu, 2010) อย่างไรก็ตามปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการอบคืออุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดถั่วเหลือง โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดถั่วเหลืองในขณะอบควรอยู่ที่ประมาณ 55-60 องศาเซลเซียส และไม่ควรสูงเกิน 76 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเกิดการแตกร้าวของเมล็ดถั่วเหลือง (Cracking) การเกิด Oil discoloration หรือ Protein denaturation (Johnson, 2008) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาผลของอุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดถั่วเหลืองที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบระหว่างวิธีการอบให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดกับวิธีการพาความร้อนโดยอากาศ วิธีการศึกษาได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหลในการจำลองการให้ความร้อนต่อเมล็ดถั่วเหลือง เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและปรับปรุงกระบวนการอบลดความชื้นสำหรับเก็บรักษาเมล็ดถั่วเหลืองให้เกิดประสิทธิภาพต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีศึกษาการจำลองการอบให้ความร้อนได้ประยุกต์ใช้เทคนิควิธีไฟไนต์วอลุ่มในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน โดยใช้โปรแกรม ANSYS CFX 12.1 แบบจำลองถูกสร้างขึ้นจากรูปทรงจริงของเมล็ดถั่วเหลืองในลักษณะสามมิติ ดังแสดงใน Figure 1 ในการวิเคราะห์กำหนดให้ค่าความความหนาแน่นของเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 1,350 kg/m^3 ค่าความจุความร้อน ค่าการนำความร้อนและค่าการแผ่รังสีของเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 2,092 J/kg.K 0.17 W/m.K และ 0.97 ตามลำดับ (Hougen, 1957) (Molenda และคณะ, 2002) Table 1 แสดงตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการจำลองสภาวะการถ่ายเทความร้อนของทั้ง 2 ลักษณะ การจำลองการอบให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดได้ประยุกต์ใช้วิธีมอนติ คาร์โล เพื่อวิเคราะห์ค่าผลสุ่มของการแผ่และสะท้อนรังสีความร้อนของผิวเมล็ดถั่วเหลืองจากรังสีอินฟราเรด (Reh *et al.*, 2006) ค่าที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการจำลองผลของการถ่ายเทความร้อนร่วมกับการพาความร้อนในอากาศเพื่อแสดงการกระจายของอุณหภูมิบนผิวถั่วเหลืองในแต่ละช่วงเวลาเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนโดยอาศัยการพาความร้อนของอากาศตามปกติ ปัญหาการวิเคราะห์ประกอบด้วยวอลุ่มเอลิเมนต์แบบ tetrahedral จำนวน 10,000 เอลิเมนต์ โดยที่ตำแหน่งผิวของเมล็ดถั่วเหลืองได้ถูกปรับแต่งให้มีลักษณะเอลิเมนต์ที่มีความละเอียดเพื่อให้สามารถแสดงผลการกระจายของอุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดถั่วเหลืองได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในการคำนวณใช้ช่วงเวลาการวิเคราะห์แต่ละครั้ง 150 วินาที ในแต่ละช่วงเวลาของการวิเคราะห์ 5 วินาที แบบจำลองจะถูกคำนวณวนซ้ำ 5 ครั้งจากทั้งหมด 30 ครั้ง โดยกำหนดค่า normalised residuals ของมวล โมเมนตัมและพลังงานอยู่ในช่วง 10^{-8} - 10^{-5} ตามลำดับ การประมวลผลใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ core i5 2.53GHz RAM 8GB

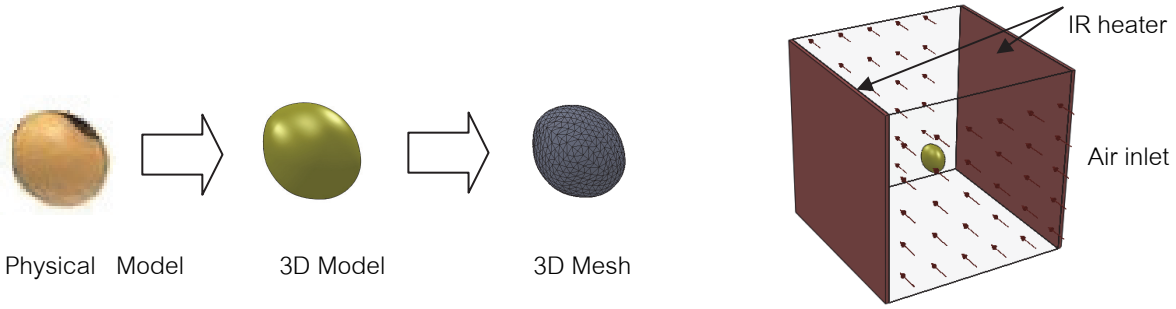

Figure 1 IR heater configuration with the air velocity field and soybean surface temperature.

Table 1 Initial and boundary conditions for the simulations

	Convection heating	IR heating
Air velocity	0.1 m/s	0.1 m/s
Air temperature	200°c	20°C
IR heater temperature	-	200°C
IR heater size	-	0.05 x 0.05 m
Distance between IR heater	-	0.03 m
Initial temperature	20°C	20°C

ผลและวิจารณ์

จากผลการศึกษาพบว่าภายหลังระยะเวลาการให้ความร้อนประมาณ 90 วินาที การจำลองการอบให้ความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อนโดยอากาศจะทำให้เมล็ดถั่วเหลืองมีอุณหภูมิที่ผิวสูงสุดประมาณ 69 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่ผิวดังกล่าวมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิปกติที่ผิวของเมล็ดถั่วเหลืองในขณะอบ Figure 2 แสดงผลของการอบให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีการกระจายอุณหภูมิบนผิวของเมล็ดถั่วเหลืองที่สม่ำเสมอกว่าวิธีการแรกโดยมีอุณหภูมิที่ผิวสูงสุดประมาณ 55 องศาเซลเซียสที่ทุกๆค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของผิวเมล็ดถั่วเหลืองที่ถูกให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่กำหนดของแผ่นให้ความร้อนอินฟราเรดด้วย เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบให้ความร้อนด้วยอากาศที่อุณหภูมิเท่าๆกัน อัตราการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดจะมีค่าต่ำกว่าประมาณ 6 เท่า ส่งผลให้การอบให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานานกว่าวิธีปกติ ดังนั้นวิธีการอบให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดเพื่อใช้เก็บรักษาสภาพของเมล็ดถั่วเหลืองแต่เพียงอย่างเดียวนั้นจึงอาจจะยังไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดดังกล่าวอาจแก้ไขได้โดยประยุกต์ใช้วิธีการอบให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดแบบเป็นช่วงๆร่วมกันกับวิธีการอบในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมต่อไป

Figure 2 Soybean surface temperature (top view) under convection (left) and IR (middle and right) heating, at the same average surface temperature scale.

สรุป

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดทำให้พื้นผิวของเมล็ดถั่วเหลืองมีการกระจายของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอกว่าการให้ความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อนแบบด้วยอากาศ โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ผิวใกล้เคียงกับอุณหภูมิวิกฤติของผิวเมล็ดถั่วเหลืองที่ 55 องศาเซลเซียส ที่ทุกๆ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ

เอกสารอ้างอิง

นิวัตน์ เตชะสาน. 2545. การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองไว้เป็นพันธุ์ปลูก. เอกสารแผ่นพับเผยแพร่ที่ 99. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 5 น.

Hougen J. O. 1957. Thermal properties of soybean oil meal. Ind. Eng. Chem. Chem. Eng. Data Series. 2(1):51-54.

Johnson, L.A., P.J. White and R. Galloway. 2008. Soybeans : chemistry, production, processing, and utilization. AOCS Press, Urbana, IL. 910 p.

Molenda M., M.D. Montross, J. Horabik and I.J. Ross. 2002. Mechanical properties of corn and soybean meal. Transactions of the ASAE 45:1929-1936.

Pan, Z. and G.G. Atungulu. 2010. Infrared heating for food and agricultural processing. CRC Press, FL. 302 p.

Reh, S., J.D. Beley, S. Mukherjee and E.H. Khor. 2006. Probabilistic finite element analysis using ANSYS. Structural Safety. 28:17-43.