ผลของความเร็วอากาศต่ออัตราอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีข้าวหล่นอิสระอย่างต่อเนื่อง

Effect of Air Velocity on Drying Rate of Paddy Using Continuous Free-Fall Technique

เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว, สุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ และ ทวิช จิตรสมบูรณ์*
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทร 0-4422-4410 โทรสาร 0-4422-4411 *อีเมล์ tabon@sut.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องอบแบบข้าวหล่นอิสระในแนวดิ่ง (หรือแบบลมไหลสวนทาง) เป็นแนวคิดใหม่ในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ด้วยการให้ข้าวเปลือกหล่นลงจากท่อสูงในแนวดิ่งโดยอิสระ สวนทางกับอากาศร้อนที่พุ่งขึ้น พบว่าให้ผลการอบแห้งที่ดีมาก เนื่องจากสามารถสร้างความเร็วสัมพัทธ์ได้สูง ส่งผลให้สัมประสิทธิ์ การถ่ายเทพลังงานและมวลความชื้นมีค่ามากขึ้นด้วย ในอดีตได้ทดลองเฉพาะการอบแห้งที่เป็นขยัก (ไม่ต่อเนื่อง) งานวิจัยนี้นำเสนอผลการทดลองที่ข้าวเปลือกไหลในเครื่องอบแบบต่อเนื่อง คือผลของความเร็วอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งและอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ ในการศึกษาใช้เมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นประมาณ 26% w.b. อัตราการป้อนข้าวเปลือก 15.37 kg/min อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 และ 120 $^{\circ}$ C ค่าความเร็วอากาศอบแห้ง 1, 2, 3 และ 4 m/s ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าอัตราการอบแห้งแปรผันโดยตรงกับความเร็วอากาศอบแห้งของอุณหภูมิอากาศอบแห้งทั้งสองค่า โดยมีระยะเวลาการอบแห้งลดลงจาก 150 นาทีเหลือประมาณ 82 นาที และ130 นาทีเหลือประมาณ 60 นาที เมื่อเปลี่ยนความเร็วอบแห้งจาก 1 m/s ถึง 4 m/s ในกรณีอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 และ 120 $^{\circ}$ C ตามลำดับ สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะที่คำนวณได้จากข้อมูลการทดลอง พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วอากาศอบแห้งที่ใช้ คือ 2.92-6.32 MJ/kg water evap และ 3.52 – 6.00 MJ/kg water evap ของอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 และ 120 $^{\circ}$ C ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งนี้มีศักยภาพการอบที่ดีพอควร

Abstract

Free-fall paddy rice dryer is a new idea that uses a counter flow principle so that it has a high relative velocity, hence high heat and mass transfer coefficients. This research showed the effects of drying air velocity to drying rates and specific energy consumptions. The conditions used were: initial moisture content 26% w.b., feed rate 15.37 kg/min, drying temperature 90 and 120 $^{\circ}$ C and drying air velocity 1, 2, 3 and 4 m/s. The experimental results indicated that the drying time reduced from 150 to 82 minutes and 130 to 60 minutes for drying air velocity 1 to 4 m/s and drying temperature 90 and 120 $^{\circ}$ C, respectively. Specific energy consumptions increased from 2.92 to 6.32 MJ/kg water evap. and 3.52 to 6.00 MJ/kg water evap. of drying temperature 90 and 120 $^{\circ}$ C, respectively. The overall results indicate that the methodology is a viable drying technique.

1. บทนำ

กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกเป็นกระบวนการลดความชื้นของข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวให้อยู่ในระดับความชื้นที่สามารถจัดเก็บข้าวเปลือกไว้ได้เป็นระยะเวลานานโดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหาย (13-15% w.b.) [1] การทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยส่วนใหญ่มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการพาความชื้นออกจากข้าวเปลือก ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศอบแห้งและบังคับให้อากาศร้อนนี้ไหลผ่านชั้นของข้าวเปลือก ปัจจุบันได้มีการคิดค้นและพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกหลายรูปแบบ วัตถุประสงค์หลักคือเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งให้ใช้พลังงานและเวลาในการอบแห้งน้อย โดยที่คุณภาพข้าวเปลือกหลังการอบแห้งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง เป็นต้น [1] ปัจจัยเหล่านี้จะมีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งมากหรือน้อยย่อมขึ้นกับลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิดด้วย โดยทั่วไปอัตราการอบแห้งจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง เช่นงานวิจัยของ Hajidavalloo and Hamdullahpur (2000) [2] พบว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งมีผลกระทบสำคัญต่ออัตราการอบแห้งข้าวสาลีของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ขณะที่การเพิ่มความเร็วอากาศไม่ได้เพิ่มอัตราการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยของมานิตและคณะ [3] แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการอบแห้งและการลดลงของความชื้นแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง เช่นเดียวกันเครื่องอบแห้งแบบสเปาเท็ดเบดจะมีอัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้ง [4] สำหรับเครื่องอบแห้งแบบกระบะหากใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงจะทำให้การอบแห้งรวดเร็วยิ่งขึ้นแต่จะทำให้ชั้น

ข้าวเปลือกด้านล่างแห้งมากเกินไป แต่อัตราการไหลของอากาศมีผลอย่างมากต่อเวลาที่ใช้อบแห้งโดยเฉพาะในช่วงอัตราการไหลอากาศต่ำ การเพิ่มอัตราการไหลอากาศเพียงเล็กน้อยสามารถลดเวลาที่ใช้อบแห้งได้เป็นอย่างมาก [5] ทวิชและคณะ (2549) [6] ศึกษาอัตราการอบแห้งและการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระ พบว่าเครื่องอบแห้งชนิดนี้สามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็วและใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะน้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งชนิดอื่น ผลการศึกษาอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80, 100 และ120 $^{\circ}$C พบว่าเวลาที่ใช้อบแห้งจะน้อยที่สุด เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120 $^{\circ}$C โดยใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะเพียง 3.03 MJ/kg water evap ซึ่งต่ำกว่าเครื่องอบแห้งชนิดอื่น ๆ ที่ใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะอยู่ในช่วง 4–15 MJ/kg water evap [7] แต่เนื่องจากข้อจำกัดของงานวิจัยทำให้ต้องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป็นขยัก (ซึ่งไม่สมจริง) อีกทั้งยังใช้ความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นที่ต่ำกว่าความชื้นขณะที่เก็บเกี่ยวจริง ซึ่งมีผลให้การใช้พลังงานตลอดกระบวนการอบแห้งสูงกว่าความจริง ดังนั้นหากปรับกระบวนการอบแห้งให้เป็นแบบต่อเนื่องและใช้ค่าความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นเท่ากับความชื้นขณะเก็บเกี่ยว พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งก็น่าจะต่ำกว่างานวิจัยที่ผ่านมา

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการอบแห้งและอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นที่ผลกระทบของความเร็วอากาศอบแห้ง

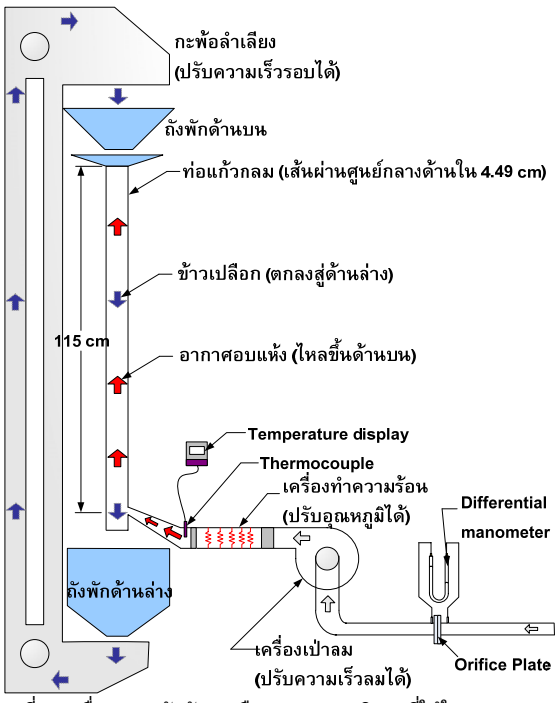
2. เครื่องอบแห้งแบบข้าวหล่นอิสระ

เครื่องอบแห้งแบบข้าวหล่นอิสระที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่องมีหลักการคือ เครื่องเป่าลมจะเป่าลมเข้าทางด้านล่างผ่านขดลวดความร้อนเพื่อสร้างลมร้อนเข้าสู่ท่อออบแห้งที่ตั้งในแนวดิ่งแล้วออกทางด้านบนที่ช่องทางออก ข้าวเปลือกชื้นจากถังพักด้านบนจะตกลงมาโดยอิสระ (ไม่มีการกีดขวางใด ๆ) ด้วยแรงโน้มถ่วง เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นกับข้าวเปลือกอย่างรวดเร็ว ทำให้ข้าวเปลือกแห้งลงอย่างรวดเร็ว แต่ข้าวเปลือกจะอยู่ในท่ออบแห้งเป็นระยะเวลาสั้น ๆ เพียงประมาณ 1 วินาทีในแต่ละรอบ จากนั้นข้าวเปลือกจะออกจากท่ออบแห้งเข้าสู่ถังพักทางด้านล่างดังรูปที่ 1

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องขนาดเล็กโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในท่ออบแห้งขนาด 4.49 cm ความยาวท่ออบแห้ง 115 cm ขดลวดความร้อนขนาด 1.5 kW มอเตอร์พัดลมขนาด 0.66 kW ซึ่งสามารถปรับความร้อนและจำนวนรอบพัดลมได้อย่างต่อเนื่อง

กระบวนการอบแห้งนี้เป็นการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในท่ออบแห้งระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกและอากาศแห้งโดยวิธีการพาแบบบังคับ (forced convection) โดยที่เมล็ดข้าวเปลือกมีความเร็วสูงเนื่องจากหล่นแบบอิสระด้วยแรงโน้มถ่วง (gravitational free fall) ซึ่งแตกต่างจากเครื่องอบแห้งอื่นๆ ที่ถึงแม้จะมีการไหลของเมล็ดพืชในแนวดิ่งสวนทางกับอากาศแต่มักจะมีตัวควบคุมการไหลให้เมล็ดพืชไหลอย่างช้า ๆ สม่ำเสมอ โดยเมล็ดพืชจะอยู่อย่างหนาแน่นภายในท่ออบแห้งแล้วอากาศจะค่อย ๆ ซึมผ่านขึ้นไป แต่เครื่องอบแห้งแบบใหม่นี้เมล็ดพืชจะไหลลงมาอย่างหลวม ๆ ด้วยความเร็วสูง มีความพรุนสูง ทำให้พื้นที่สัมผัสในการถ่ายเทความร้อนและความชื้นเกิดมากขึ้น ส่งผลให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอากาศกับเมล็ดพืชในเครื่องอบแห้งนี้มีค่าสูง อัตราการถ่ายเทมวลความชื้นจึงมีค่าสูง ความเร็วสัมพัทธ์ที่สูงและระยะเวลาในการสัมผัสอากาศร้อนของเมล็ดพืชน้อย ย่อมทำให้อุณหภูมิที่ผิวเมล็ดข้าวมีค่าต่ำ และมีการทะลวงของความร้อนต่ำอีกด้วย ส่งผลให้มีการแตกร้าวน้อยและมีการหมองคล้ำเนื่องจากความร้อนน้อย

การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ประมาณได้ว่าลมร้อนวิ่งผ่านเมล็ดข้าวที่ลอยนิ่งอยู่ ทำให้เกิดความเร็วสัมพัทธ์เท่ากับความเร็วลม (ประมาณ 1.5-2.5 m/s) [8] ส่วนในการอบแบบสเปาเท็ดเบดนั้นเมล็ดข้าววิ่งไปตามกระแสอากาศซึ่งน่าจะทำให้เกิดความเร็วสัมพัทธ์ไม่มากนัก สำหรับวิธีการอบแบบใหม่นี้จะได้ความเร็วสัมพัทธ์สูงมากเนื่องจากเป็นการไหลสวนทางกันในท่อที่มีความยาวพอสมควรพบว่าความเร็วลมที่ได้จะสูงกว่าความเร็วลมสุดท้ายที่สร้างการลอยตัวของเมล็ดข้าวมาก (terminal velocity) ทั้งนี้เป็นเพราะชั้นข้าวด้านบนหล่นลงมายังชั้นด้านล่างซึ่งเกิดแรงกระแทกลงสู่ด้านล่างสวนทางกับแรงฉุดของลม (drag) จากการทดลองพบว่าสามารถสร้างความเร็วสัมพัทธ์ได้ถึงประมาณ 10 m/s



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระที่ใช้ในการทดลอง

3. วิธีการทดลอง

ในการทดลอง ใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 และ 120 $^{\circ}$C ความเร็วอากาศอบแห้งเฉลี่ย 1, 2, 3 และ 4 m/s ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 26% w.b. ทำการเทข้าวเปลือกชื้น 2.5 kg ใส่ถังพักด้านล่าง จากนั้นปล่อยให้ข้าวไหลเข้ากระพ้อลำเลียง เพื่อลำเลียงข้าวขึ้นสู่ถังพักด้านบน ข้าวจะไหลผ่านท่ออบแห้งสู่ถังพักด้านล่างอย่างต่อเนื่อง จากนั้นไหลเข้าสู่กระพ้อลำเลียงอีกครั้ง ทำงานเป็นวงรอบเช่นนี้จนกระทั่งได้ค่าความชื้นข้าวเปลือกที่ต้องการ (ประมาณ 14% w.b.) การทดลองนี้ใช้อัตราการไหลข้าวเปลือก 15.37 kg/min ในขณะอบแห้งจะเก็บตัวอย่าง

ข้าวเปลือกประมาณ 10 g ใส่ในถุงพลาสติกปิดปากถุงให้สนิทเพื่อนำไปหาค่าความชื้น ในช่วง 20 นาทีแรกเก็บตัวอย่างทุก 2 นาที หลังจากนั้นเก็บ 5 นาที หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการอบแห้งทำการพักข้าวเปลือกตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิบรรยากาศประมาณ 6 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิข้าวเปลือกลดลง คลายความเครียดที่ผิวและเกิดการกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอตลอดเมล็ดข้าว [9] จากนั้นจึงนำไปหาค่าความชื้นโดยวิธีการอบด้วยตู้อบ (Oven method) นำข้าวเปลือกไปบดให้ละเอียดแล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 ° C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง [1]

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์วิจารณ์

ผลการทดลองการอบแห้งแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 เป็นผลของการใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 และ 120 ° C ตามลำดับ โดยเปลี่ยนความเร็วอากาศอบแห้ง 4 ระดับ 1, 2, 3 และ 4 m/s จากผลการอบแห้งพบว่าเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้น ระยะเวลาการอบแห้งมีค่าลดลง โดยสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งได้ประมาณครึ่งหนึ่ง เมื่อความเร็วอากาศอบแห้งเพิ่มจาก 1 m/s เป็น 4 m/s ของทั้งสองอุณหภูมิอากาศอบแห้ง แสดงให้เห็นว่านอกจากอุณหภูมิอากาศอบแห้งแล้ว [6] ความเร็วอากาศอบแห้งเป็นอีกปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระอย่างมาก

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะ หาได้จากพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ผ่านเครื่องทำความร้อน

$$Q = \dot{m}_a\left(\left(1-W_a\right)c_a + c_v W_a\right)\left(T_{out} - T_{in}\right)\Delta t \qquad (1)$$

ซึ่งการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลนั้นหาได้จาก $\dot{m}_a = \rho A\overline{V}$ โดย $\overline{V}$ เป็นความเร็วเฉลี่ยตลอดหน้าตัดเครื่องอบแห้ง อัตราส่วนความชื้นหาได้จากการพิจารณาให้อากาศที่เข้าเครื่องทำความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยคงที่ 30 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยคงที่ 60% ตลอดการทดลอง และระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งพิจารณาที่ข้าวเปลือกมีความชื้นเท่ากับ 14% w.b.(ตามรูปที่ 2 และรูปที่ 3) ค่าพลังงานความร้อนที่คำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ด้วยเหตุที่ว่าเริ่มต้นอบแห้งด้วยข้าวจำนวน 2.5 kg และได้นำตัวอย่างข้าวออกไปชั่งวัดความชื้นทุก 10 g ต่อครั้ง ดังนั้นเพื่อความถูกต้องในการคำนวณปริมาณน้ำที่ระเหย จึงใช้มวลข้าวเปลือกเริ่มต้นเฉลี่ย $\left(\overline{w}_1\right)$ แทนค่ามวลข้าวเปลือกเริ่มต้น $\left(w_1\right)$ ซึ่งมวลข้าวเปลือกเริ่มต้นเฉลี่ยหาได้จาก

$$\overline{w}_1 = \frac{\left(w_1 + \left(w_1 - 0.01N\right)\right)}{2} \qquad (2)$$

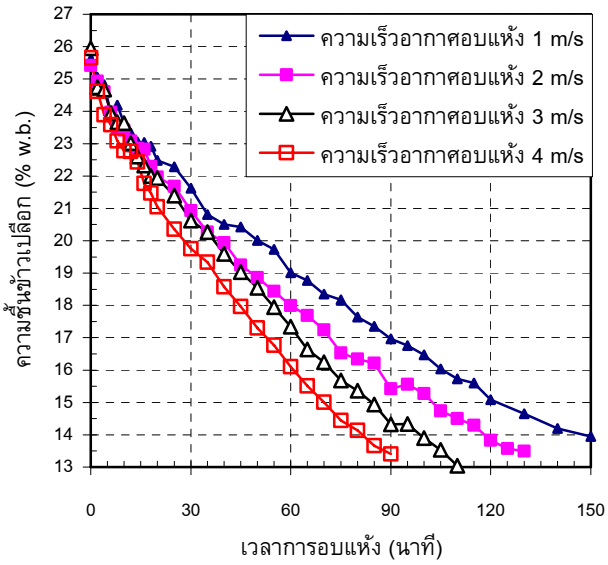
เมื่อ N คือจำนวนตัวอย่างที่เก็บ
ดังนั้น ปริมาณการระเหยน้ำออกในการอบแห้งหาได้จาก

$$w_1 - w_2 = \overline{w}_1 \frac{\left(M_1 - M_2\right)}{\left(1-M_2\right)} \qquad (3)$$

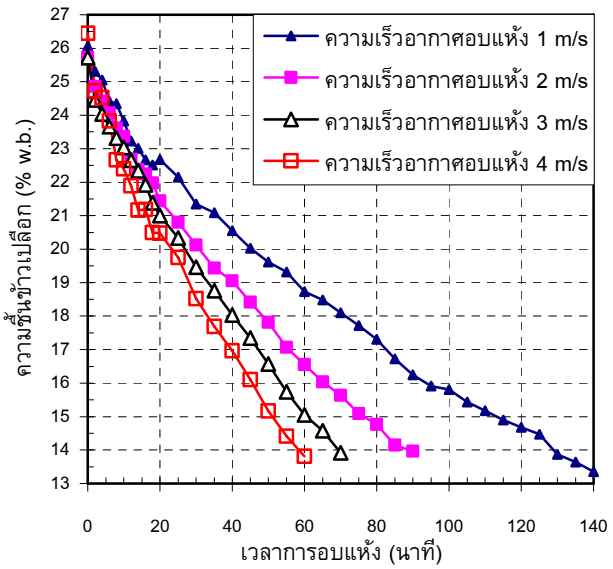
จากนั้นนำปริมาณน้ำที่ระเหยซึ่งหาได้จากสมการที่ 3 ไปหารกับค่าพลังงานความร้อนที่คำนวณได้ ดังสมการที่ 4

$$E = \frac{Q}{\left(w_1 - w_2\right)} \qquad (4)$$

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะของเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งกับค่าความชื้นข้าวเปลือก กรณีอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 ° C อัตราการป้อนข้าวเปลือก 15.37 kg/min



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการอบแห้งกับค่าความชื้นข้าวเปลือก กรณีอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120 ° C อัตราการป้อนข้าวเปลือก 15.37 kg/min

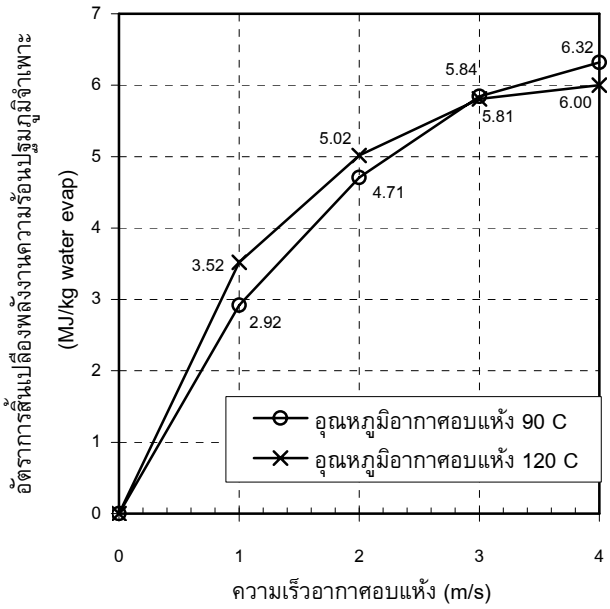
ตารางที่ 1 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระ โดยใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 และ 120 °C

อุณหภูมิอากาศอบแห้ง (°C)		90				120			
ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)		1	2	3	4	1	2	3	4
ความชื้นข้าวเปลือก (% w.b.)	เริ่มต้น	25.6	25.4	25.6	25.6	26.1	25.7	25.7	26.4
	สุดท้าย	14	14	14	14	14	14	14	14
มวลข้าวเปลือกเริ่มต้นเฉลี่ย (kg)		2.34	2.35	2.37	2.39	2.34	2.38	2.40	2.41
เวลาอบแห้ง (min)		148	118	100	82	128.5	90	70	58
พลังงานความร้อนที่ใช้ * (MJ)		0.92	1.47	1.87	2.04	1.16	1.63	1.89	2.09
พลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะ (MJ/kg water evap)		2.92	4.71	5.84	6.32	3.52	5.01	5.81	6.00

* คือพลังงานความร้อนที่ได้จากการคำนวณ

ค่าพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในช่วง 2.92-6.32 MJ/kg water evap. และ 3.52-6.00 MJ/kg water evap. กรณีอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 และ 120 °C ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากที่สุดเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งเท่ากับ 4 m/s แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วอากาศอบแห้งทำให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เวลาในการอบลดลง

เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะ ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าสัดส่วนการเพิ่มมีค่าลดลงเมื่อใช้ความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้น ทำให้สามารถคาดการได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศอบแห้งมากกว่า 4 m/s อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะที่ใช้จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีความเร็วอากาศอบแห้งเท่ากับ 4 m/s เพียงเล็กน้อยและมีแนวโน้มลู่เข้าสู่ค่าคงที่ ขณะที่สามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้อีก แสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระอย่างต่อเนื่องนี้มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะที่ต่ำ และไม่ขึ้นกับความเร็วอากาศอบแห้งเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งมีค่าสูง โดยสามารถนำไปศึกษาเพื่อหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดต่อไป



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศอบแห้งกับค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะ

ประเด็นที่น่าสังเกตประการหนึ่งคือ เมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้นอัตราการอบแห้งจะสูงตลอดแนวความชื้นจนแทบจะไม่เกิดอัตราถดถอย (falling rate) เหมือนดังที่มักพบในการอบแห้งด้วยวิธีทั่วไป

ในอีกประเด็นหนึ่งค่าพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งนี้ได้คิดตลอดช่วงจากช่วงชื้นมากถึงช่วงชื้นน้อย ซึ่งในช่วงชื้นมากนั้นเป็นที่ทราบกันดีว่าค่าพลังงานจะมีค่าต่ำกว่าช่วงชื้นน้อย ดังนั้นการจะเปรียบเทียบค่าพลังงานกับเครื่องอบแห้งต่างชนิดกันพึงต้องคำนึงถึงช่วงความชื้นที่ใช้ในการทดลองด้วย

5. สรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าความเร็วอากาศอบแห้งมีผลอย่างมากต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือกของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระ โดยการเพิ่มความเร็วอากาศอบแห้งทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง เมื่อพิจารณาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะที่ใช้พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้น แต่มีแนวโน้มที่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ ซึ่งหมายความว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะจะไม่ขึ้นกับความเร็วอากาศอบแห้งเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งมีค่าสูง

หมายเหตุ: ได้ตรวจพบข้อผิดพลาดในการทดลองในภายหลัง กล่าวคือ พบว่าลมร้อนที่เป่าขึ้นด้านบนนั้นส่วนหนึ่ง (ซึ่งมีปริมาณมากพอสมควร) ถูกเหนี่ยวนำโดยกระแสของข้าวเปลือกให้ไหลลงสู่ถังพักด้านล่าง ซึ่งหมายความว่าความเร็วจริงของอากาศในท่ออบแห้งจะมีค่าน้อยกว่าที่ได้นำเสนอไว้ และยังเป็นเหตุผลต่อไปว่าถ้าอากาศร้อนไม่รั่วออกด้านล่างอัตราการอบแห้งคงจะสูงกว่านี้และอัตราสิ้นเปลืองพลังงานคงจะน้อยกว่านี้อีก ซึ่งจะได้ปรับแก้การทดลองและรายงานผลในการวิจัยครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
2. Ebrahim Hajidavalloo and Feridun Hamdullahpur. (2000). Thermal analysis of a fluidized bed drying process for crops. Part II: Experimental results and model verification, International Journal of Energy Research, Vol. 24, pp. 809-820.
3. มานิต สุจำนง, วัชรินทร์ ดงบัง และกิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย. (2548). การอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ กข.10 ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด. วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 (207-216).
4. ฐานิตย์ เมธิยานนท์ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2547). การอบแห้งเมล็ดพืชที่อุณหภูมิสูงโดยเทคนิคสเปาเท็ดเบดที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศเข้าดาวน์คัมเมอร์ได้. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่17. ปราจีนบุรี
5. Mossman, A. P. (1986). A review of basic concepts in rice- drying research. Critical Rev. in Food Sci and Nutr. 25(1) :49-70.
6. ทวิช จิตรสมบูรณ์, โศรฎา แข็งการ และ เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว. (2549). เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ: รวดเร็วและประหยัดพลังงาน. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. 27-29 กรกฎาคม 2549. ENETT49-133-1 – 5. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
7. Marier, D. E. (2002). Grain Drying System. 2002 Facility Design Conference of the Grain Elevator & Processing Society, USA.
8. Soponronnarit, Somchart . (2000). Fluidised Bed Grain Drying. In Mujumdar, S. Arun and Suvachittanont, Sirikalaya (eds.). Developments in Drying, Volume II: Drying of Foods and Agro-Products (pp 135-147). Bangkok, Thailand: Kasetsart University Press.
9. จุฑาทิพย์ ทองเดชาสามารถ. (2545). การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันแบบใหม่. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สัญลักษณ์

Q = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้อากาศ, MJ

E = อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ, MJ/kg water evap

w = มวลข้าวเปลือก, kg

M = อัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือก มาตรฐานแห้ง, kg/kg

$\dot{m}_a$ = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง, kg/s

$\overline{V}$ = ความเร็วอากาศเฉลี่ยตลอดหน้าตัดเครื่องอบแห้ง, m/s

A = พื้นที่หน้าตัดของท่ออบแห้ง, m^2

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศอบแห้งเฉลี่ย, kg/m^3

c_a = ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้งเฉลี่ย, kJ/kg-K

c_v = ความร้อนจำเพาะของไอน้ำในอากาศเฉลี่ย, kJ/kg-K

W_a = ความชื้นสัมบูรณ์อากาศที่ทางเข้าเครื่องทำความร้อน, kg/kg dry air

t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, second

T_{out} = อุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องทำความร้อน, $^\circ$C

T_{in} = อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทำความร้อน, $^\circ$C