ผลกระทบของลมหมุนวนต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ

Effect of Air Swirl on Energy Efficiency of the Free-Fall Paddy Dryer

ทวิช จิตรสมบูรณ์* , โศรฎา แข็งการ และ เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000, โทร 0-4422-4410 โทรสาร 0-4422-4413, E-Mail: tabon@ccs.sut.ac.th
* ผู้แต่งหลัก

Tawit Chiitsomboon * , Sorada khaengkarn and Krienggrai Pechnumkheaw
School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
Muang District, Nakorn Ratchasima 30000 Thailand Tel: 0-4422-4410 Fax: 0-4422-4413, E-mail: tabon@ccs.sut.ac.th
* corresponding author

บทคัดย่อ

การอบแห้งข้าวเปลือกเป็นกระบวนการสำคัญในอุตสาหกรรมข้าว ซึ่งใช้พลังงานและเวลามาก จึงได้คิดค้นวิธีการอบแห้งแบบใหม่ ที่รวดเร็วและประหยัดพลังงานกว่าเดิม ทั้งนี้โดยไม่เกิดผลเสียต่อคุณภาพเมล็ดข้าวสารที่ได้จากการขัดสี วิธีการนี้มีหลักการคือ เป่าอากาศร้อนเข้าทางด้านล่างของท่ออบแห้งที่ตั้งอยู่ในแนวดิ่งและออกทางด้านบน ซึ่งสวนทางกับข้าวเปลือกชื้นที่ตกลงมาโดยอิสระจากถังพักด้านบนด้วยแรงโน้มถ่วง ซึ่งสามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว และประหยัดพลังงานมากเมื่อเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบที่นิยมในปัจจุบัน และเมื่อใส่ปีกหมุนวนลมที่ทางเข้าอากาศอบแห้ง ทำให้ลมร้อนหมุนแบบควงสว่านเข้าไปในท่ออบแห้งซึ่งเป็นการเพิ่มระยะทางสัมผัสระหว่างอากาศอบแห้งและเมล็ดข้าวเปลือก จากการทดลองอบแห้งพบว่าการหมุนวนลมร้อนก่อนเข้าท่ออบแห้งมีผลให้เวลาในการอบแห้งน้อยลงและประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบไม่หมุนวนลมโดยไม่มีผลเสียต่อคุณภาพข้าวที่อบ

Abstract

Drying of paddy is an important process in rice industry which consumes a lot of time and energy. A new drying method is thus invented that is fast and energy efficient without adversely affecting the quality of milled rice. The working principle of this method is by blowing hot air underneath a vertical drying column within which the moist paddy is free falling from its top under gravity. It was found to be very fast and energy efficient. To increase energy efficiency further, air swirler is installed at inlet. This technique amounts to increase the contact distant between drying air and paddy kernel. The results shown faster drying time and lower specific primary energy consumption when compared to the dryer without air swirler.

1. บทนำ

การอบแห้งข้าวเปลือกเป็นกระบวนการสำคัญในการผลิตข้าวสาร ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่จะได้ และคุณภาพข้าวสารขึ้นอยู่กับกระบวนการอบแห้งค่อนข้างมาก โดยทั่วไปหากอบแห้งอย่างรวดเร็วด้วยอุณหภูมิอากาศที่สูง จะทำให้เกิดการแตกหักมากและได้สีของข้าวที่หมองคล้ำลงไป [1, 2] และโดยทั่วไปแล้วหากอบแห้งอย่างรวดเร็วก็มักจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้นเป็นเงาตามตัว วิธีการอบแห้งอันหลากหลายในปัจจุบันนี้จะมีการใช้พลังงานจำเพาะในการอบแห้ง (specific energy consumption) อยู่ในช่วง 4 – 15 MJ/kgน้ำระเหย [3] ในปัจจุบันเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด [4] กำลังเป็นที่นิยม และแบบสเปาเท็ดเบด [5] ก็แสดงศักยภาพที่ดี เนื่องจากสามารถอบแห้งข้าวเปลือกได้รวดเร็วและคุณภาพของข้าวที่อบแห้งก็เป็นที่ยอมรับได้ แต่ยังจำกัดอยู่เฉพาะในการอบแห้งของช่วงที่มีความชื้นสูง โดยจะต้องนำไปเข้าเครื่องอบแห้งแบบความชื้นต่ำที่มีอัตราการอบแห้งช้าต่อไป ที่นิยมมากอีกประเภทคือเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชมีการไหล (moving-bed) เช่น เครื่องแบบข้าวไหลในแนวดิ่งผ่านอากาศที่ไหลในแนวขวาง [6] และเครื่องแบบที่ข้าวและอากาศไหลสวนทางกันในแนวดิ่งโดยเมล็ดพืชไหลคลุกเคล้ากับอากาศผ่านแผ่นกั้นการไหล (เครื่องแบบ LSU) [6] เครื่องอบแห้งเหล่านี้มักจะใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งเพื่อให้อบแห้งได้เร็วขึ้น แต่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานก็สูงเช่นกัน สมชาติและคณะ (2545) [4] ได้ทดลองทำการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่เพิ่มเทคนิคการทำฐานสั่น เพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ พบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ 5.36 MJ/kg น้ำที่ระเหย และความชื้นสุดท้าย 26% d.b. ซึ่งประหยัดพลังงานกว่าแบบไม่มีการสั่นประมาณ 7% ฐานิตและสมชาติ (2546) [5] พบว่า การใช้พลังงานในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบสเปาเท็ดเบดที่สามารถปรับอัตราการไหลอากาศเข้าดาวน์คัมเมอร์ มีค่าประมาณ 5.5 MJ/kg น้ำที่ระเหย ผลการวิจัยใน [8] พบว่าวิธีการอบแห้งแบบข้าวหล่น

อิสระแม้ยังไม่มีการหมุนวนลมสามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็วและประหยัดพลังงานมาก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระที่ได้คิดค้นโดยเพิ่มเทคนิคการหมุนวนลมร้อน เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพของเครื่องเมื่อเทียบกับแบบไม่หมุนวนลม และเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน

2. เครื่องอบแห้งแบบข้าวหล่นอิสระ

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระนี้ ได้ถูกคิดค้นขึ้นโดยคาดหวังว่าจะสามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็วตลอดช่วงความชื้นจากความชื้นสูงสู่ความชื้นกักเก็บโดยไม่ต้องทำเป็นสองขยัก มีความประหยัดพลังงาน และ ไม่เกิดผลเสียหายต่อเมล็ดข้าว ซึ่งจะทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ด (ข้าวต้น) เป็นปริมาณที่มาก อีกทั้งต้องได้คุณภาพที่ดีทั้งในด้านของกลิ่นและสีของข้าวสารด้วย

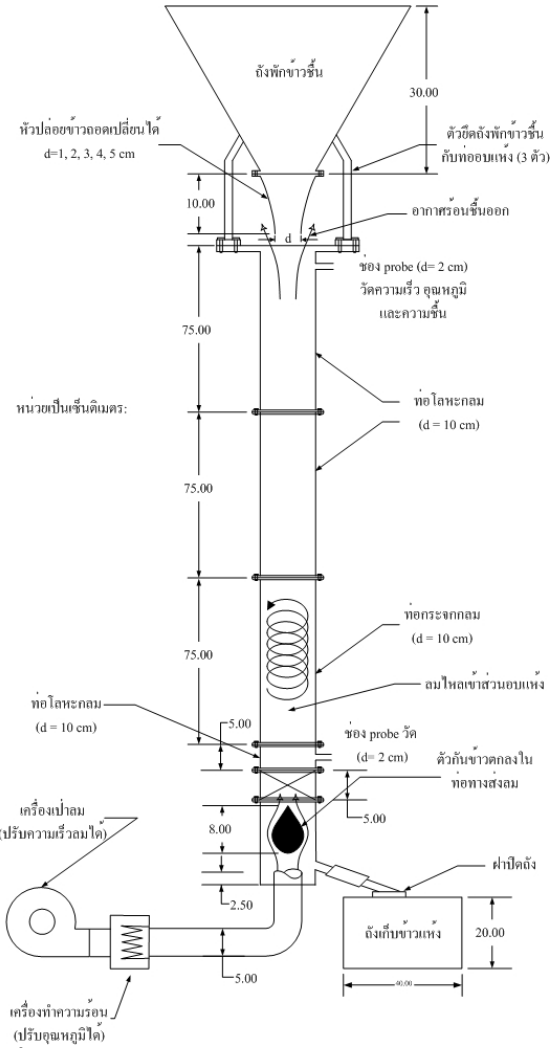
รูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบใหม่นี้ คือพัดลมจะเป่าอากาศผ่านขดลวดความร้อนเพื่อสร้างลมร้อนเข้าสู่ด้านล่างของท่ออบแห้งที่ตั้งอยู่ในแนวดิ่ง แล้วออกทางด้านบนที่ช่องทางออก ส่วนข้าวเปลือกจะหล่นจากถังพักด้านบนด้วยแรงโน้มถ่วงเข้าสู่ท่ออบแห้ง ในขณะที่ข้าวเปลือกชื้นอยู่ในท่ออบแห้งนั้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นกับข้าวเปลือกอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ที่สูงมาก ทำให้ข้าวเปลือกแห้งลงอย่างรวดเร็ว แต่ข้าวเปลือกจะอยู่ในท่ออบแห้งเป็นระยะเวลาสั้นๆ เพียงประมาณ 1 วินาทีในแต่ละรอบ จากนั้นข้าวเปลือกจะออกจากท่ออบแห้งเข้าสู่ถังพักทางด้านล่าง

แม้วิธีการอบแห้งนี้จะแสดงศักยภาพในการอบแห้งได้ดีทั้งในด้านเวลาและอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน [8] แต่ก็น่าจะปรับปรุงให้ดีขึ้นได้อีก จึงได้เกิดแนวคิดว่าหากมีการหมุนวนอากาศร้อน ก็น่าจะยิ่งอบแห้งได้เร็วขึ้น เพราะการหมุนวนแบบควงสว่างเข้าไปในท่ออบแห้งเป็นการเพิ่มระยะทางสัมผัสระหว่างลมร้อนและข้าวเปลือก (แต่เวลาสัมผัสตลอดแนวท่อยังคงเดิม) ทำให้สามารถนำความชื้นออกจากข้าวเปลือกในแต่ละรอบได้มากขึ้น หรือในทางกลับกันก็อาจทำให้ใช้ท่ออบแห้งที่สั้นลงได้ ซึ่งเป็นการประหยัดงบประมาณในการลงทุน ปีกหมุนวนลมจะอยู่ที่ด้านล่างตรงทางเข้าของอากาศสู่ท่ออบแห้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองนี้ถือเป็นเครื่องขนาดเล็กโดยมีท่ออบแห้งขนาด 10 cm. ความยาวท่อ 225 cm ขดลวดความร้อนขนาด 48 kW มอเตอร์พัดลมขนาด 0.86 kW ซึ่งสามารถปรับแต่งความร้อนและความเร็วลมได้อย่างต่อเนื่อง และติดตั้งปีกหมุนวนลมที่ทางเข้าด้านล่างของอากาศอบแห้ง

วิธีการอบแห้งนี้เป็นการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในท่ออบแห้งระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกและอากาศแห้งโดยวิธีการพาแบบบังคับ (forced convection) โดยที่เมล็ดข้าวเปลือกมีความเร็วสูงเนื่องจากหล่นแบบอิสระด้วยแรงโน้มถ่วง (gravitational free fall) ซึ่งแตกต่างจากเครื่องอบแห้งอื่นๆ ที่ถึงแม้จะมีการไหลของเมล็ดพืชในแนวดิ่งสวนทางกับอากาศแต่มักจะมีตัวควบคุมการไหลให้เมล็ดพืชไหลอย่างช้าๆ เสมอ โดยเมล็ดพืชจะอยู่อย่างหนาแน่นภายในท่ออบแห้ง แล้วอากาศจะค่อยๆ ซึมผ่านขึ้นไป แต่เครื่องอบแห้งแบบใหม่นี้เมล็ดพืชจะไหลลงมาอย่างหลวมๆ ด้วยความเร็วสูง มีความพรุนสูง ทำให้พื้นที่สัมผัสในการถ่ายเทความร้อนและความชื้นเกิดมากขึ้น ที่สำคัญคือความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอากาศกับเมล็ดพืชในเครื่องอบแห้งนี้จะมีค่ามาก ซึ่งทำให้มีอัตราการถ่ายเทมวลความชื้นที่สูงเป็นสัดส่วนกัน

ในการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ถือได้โดยประมาณว่าลมร้อนวิ่งผ่านเมล็ดข้าวที่ลอยนิ่งอยู่ ก่อให้เกิดความเร็วสัมพัทธ์เท่ากับความเร็วลม (ประมาณ 2-4 m/s) ส่วนในการอบแบบสเปาเท็ดเบดนั้นเมล็ดข้าววิ่งไปตามกระแสลมซึ่งน่าจะก่อให้เกิดความเร็วสัมพัทธ์ประมาณเท่ากับแบบฟลูอิดไดซ์เบด สำหรับวิธีการอบแบบใหม่นี้จะได้ความเร็วสัมพัทธ์สูงมากเนื่องจากเป็นการไหลสวนทางกันในท่อที่มีความยาวพอสมควร พบว่าความเร็วลมที่ได้จะสูงกว่าความเร็วลมพยุงเริ่มต้นที่สร้างการลอยตัวของเมล็ดข้าวมาก (incipient fluidization velocity) ทั้งนี้เป็นเพราะชั้นข้าวด้านบนหล่นลงมายังชั้นด้านล่างซึ่งเกิดแรงกระแทกลงสู่ด้านล่างสวนทางกับแรงฉุดของลม (drag) พบว่าสามารถสร้างความเร็วสัมพัทธ์ได้ถึงประมาณ 13 m/s



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบข้าวหล่นอิสระที่ใช้ในการทดลอง [7]

ความเร็วสัมพัทธ์ที่สูงและเวลาในการสัมผัสอากาศร้อนของเมล็ดพืชมีน้อย ย่อมทำให้อุณหภูมิที่ผิวเมล็ดข้าวมีค่าต่ำ และมีการทะลวง

ของความร้อนต่ำอีกด้วย ส่งผลให้มีการแตกร้าวน้อยและมีการหมองคล้ำเนื่องจากความร้อนน้อย ในขณะที่อัตราการอบแห้งสูงมาก

3. วิธีการทดลอง

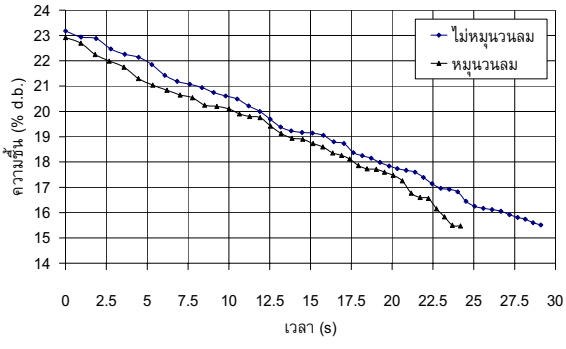
ในการทดลอง จะทำทั้งแบบไม่ใส่ปีกหมุนวนลม และใส่ปีกหมุนวนลมที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน คือ ใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 3 ระดับ คือ 80, 100 และ 120°C ความเร็วอากาศอบแห้งเฉลี่ย 6.642 m/s (เป็นการเฉลี่ยแบบ mass average) ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 23.75% d.b. ทำการทดลองโดยเทข้าวเปลือกชื้น 600 g ใส่ถังพักด้านบน จากนั้นปล่อยให้ข้าวไหลผ่านท่ออบแห้งสู่ถังพักด้านล่างอย่างต่อเนื่องจนหมดถังพัก พร้อมจับเวลาที่ใช้ในการปล่อยข้าว เวลาที่เริ่มปล่อยข้าวเปลือกจนข้าวเปลือกตกถึงด้านล่างเริ่มแรก และเวลาที่เริ่มปล่อยข้าวเปลือกจนข้าวเปลือกตกหมดถังพัก แล้วนำมาเฉลี่ยหาค่าเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในท่ออบแห้ง จากนั้นเก็บกลุ่มตัวอย่างในแต่ละรอบของการไหลผ่านท่ออบแห้งในปริมาณ 5 g ไปวัดความชื้นโดยนำข้าวเปลือกไปบดให้ละเอียดแล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้ข้าวมีระยะเวลาพักตัว 6 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปสีและตรวจสอบคุณภาพของข้าวต่อไป กล่าวคือ ปริมาณข้าวต้น และ ความขาวของข้าวสาร ส่วนข้าวเปลือกที่เหลือนำกลับไปเทลงถังพักด้านบนเพื่ออบแห้งซ้ำในรอบต่อไป

4. ผลลัพธ์และการวิจารณ์

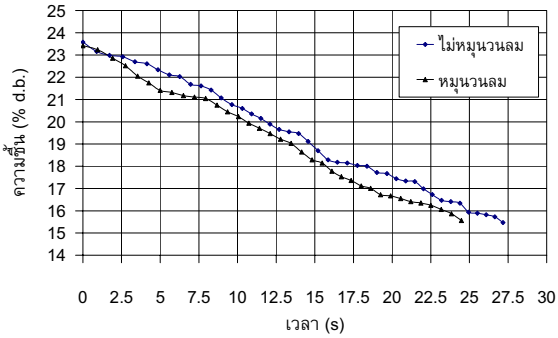
ผลทดลองการอบแห้งแสดงในรูปที่ 2 - 4 ซึ่งเป็นผลของการใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 3 ระดับคือ 80, 100 และ 120°C เห็นได้ว่าการหมุนวนอากาศทำให้ลดเวลาในการอบแห้ง (และพลังงานที่ใช้) สรุปข้อมูลดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: อัตราการประหยัดเวลาในการอบแห้งเมื่อมีการหมุนวนลม

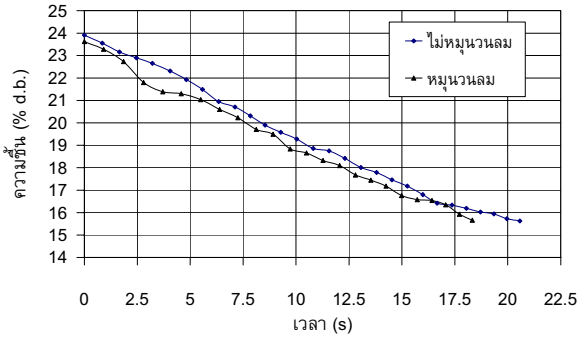
อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง		ประหยัด (%)
	ไม่หมุนวน	หมุนวน	
80	29.1	24.2	16.8
100	27.2	24.5	9.9
120	20.6	18.3	11.2



รูปที่ 2 อัตราอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 100°C



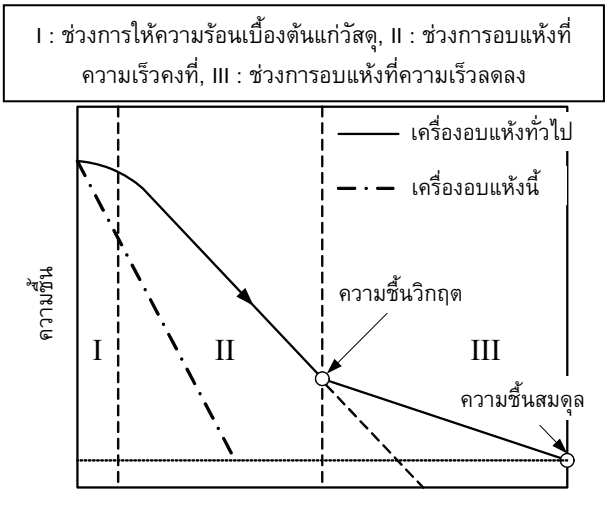
รูปที่ 3 อัตราอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 100°C



รูปที่ 4 อัตราอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 120°C

ปรากฏการณ์สำคัญที่สุดในรูป 2-4 คือเส้นกราฟการอบแห้งเกือบเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่าไม่เกิดช่วงอัตราอบแห้งถดถอยเหมือนดังเช่นกรณีการอบแห้งโดยวิธีอื่นๆ (รูปที่ 5)

เหตุผลที่วิธีอบแห้งนี้ไม่เกิดอัตราถดถอยในช่วงความชื้นต่ำนั้น สันนิษฐานว่าเกิดจากการที่ความเร็วสัมพัทธ์สูงมากนั่นเองซึ่งทำให้เกิดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความชื้นแบบการพาที่ผิวเมล็ดข้าวสูงตลอดเวลา ซึ่งสูงกว่าอัตราการแพร่ความชื้นภายในของเมล็ดข้าวที่แพร่ออกมายังผิวข้าว อีกทั้งอัตราการแพร่ความชื้นของเมล็ดข้าวก็สูงตลอดเวลาด้วย เนื่องจากเกิดความชันของความชื้นที่ผิวสูง (moisture gradient) อันเป็นผลมาจากอัตราการพาที่สูงนั่นเอง



รูปที่ 5 อัตราการอบแห้งวิธีใหม่เทียบกับวิธีทั่วไป

สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ หาได้จากพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก

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

ซึ่งการคำนวณหาอัตราไหลมวลนั้นหาจากสูตร $\dot{m}_a = \rho A \overline{V}$ โดย $\overline{V}$ เป็นความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการวัดและการเฉลี่ยแบบถ่วงด้วยปริมาณมวล (ซึ่งในที่นี้มีค่า 6.64 m/s) สำหรับกรณีอุณหภูมิอบแห้ง 120°C แบบไม่หมุนวนลมคำนวณได้ $Q = 115.16$ kJ เมื่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งคือ 20.57 s และแบบหมุนวนลม คำนวณได้ $Q = 102.59$ kJ เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 18.325 วินาที ส่วนอัตราการระเหยน้ำออกในการอบแห้งหาได้จาก

$$w_1 - w_2 = d(M_1 - M_2) \quad (2)$$

ด้วยเหตุที่ว่าเริ่มต้นอบแห้งด้วยข้าวจำนวน 600 g และได้นำตัวอย่างข้าวออกไปชั่งวัดความชื้นทุก 5 g ต่อครั้งดังนั้นจึงต้องใช้สูตรจากสมการ (2) นี้ในทุกรอบการอบเนื่องจากค่า d ลดลงทุกรอบ แล้วนำค่ามารวมกัน เป็นจำนวนน้ำที่ระเหยออกทั้งหมด ในกรณีนี้ได้ค่า 38g ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกหรืออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะของเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองคือ

กรณีไม่หมุนวนลม

$$E = \frac{115.16}{0.038} = 3.03 \quad \text{MJ/kg น้ำระเหย}$$

กรณีหมุนวนลม

$$E = \frac{102.59}{0.038} = 2.7 \quad \text{MJ/kg น้ำระเหย}$$

สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 และ 80 ° C จะได้การสิ้นเปลืองพลังงานกรณีไม่หมุนวนลมเป็น 3.14 และ 2.4 MJ/kg และกรณีหมุนวนลมเป็น 2.81 และ 1.98 MJ/kg ตามลำดับ การเปรียบเทียบเครื่องอบแห้งนี้กับเครื่องแบบฟลูอิดไดซ์เบด [4] และแบบสเปาเท็ดเบด [5] แสดงอยู่ในตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องแบบข้าวหล่นอิสระมีความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าทั้งสองแบบ ทั้งนี้พึงตระหนักในเงื่อนไขในการทดลองต่าง ๆดังนี้

1. การทดลองนี้กระทำในย่านความชื้นต่ำซึ่งโดยทั่วไปแล้วเป็นย่านที่สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าย่านความชื้นสูง
2. ด้วยข้อจำกัดของงบประมาณจึงยังไม่สามารถสร้างเครื่องทดลองอบแห้งแบบต่อเนื่องได้ จึงเป็นการอบแบบเป็นขยักโดยแต่ละรอบการเทข้าวห่างกันประมาณ 1 นาที
3. ปริมาณข้าว 600 g ที่ใช้นั้นถือว่าน้อยมาก ทำให้อากาศตรงทางออกยังไม่ชื้นมากนัก ซึ่งส่งผลให้ข้าวเปลือกตรงด้านท้ายลมแห้งเร็วกว่าปกติ(เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบต่อเนื่อง) และอากาศก็ยังมีศักยภาพในการอบแห้งเหลืออยู่มาก จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าถ้าเป็นการอบแห้งแบบต่อเนื่องจะใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่านี้ในขณะที่จะประหยัดพลังงานมากกว่านี้

ตารางที่ 2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ เทียบกับเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองแบบมีการหมุนวนลม

ชนิดของเครื่องอบ	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความชื้นเริ่มต้น (% db)	ความชื้นสุดท้าย (% db)	อัตราสิ้นเปลืองพลังงาน (MJ/kg)
หล่นอิสระ (การทดลองนี้)	80	23	15.5	1.98
	100			2.81
	120			2.7
ฟลูอิดไดซ์เบดฐานสั่น [4]	125	26.8	23.7	5.47
	133	24.1	20.7	4.69
	140	28	23	3.8
สเปาเท็ดเบด [5]	110	33.5	19	12.2
		33.5	20	11.7
		33.5	17.5	11
		33.5	17.5	10.3
	130	33.5	16.5	12.7
		33.5	15	12.0
		33.5	14.5	11.1
		33.5	12.5	10.7
	150	33.5	15	13.9
		33.5	13	13.3
		33.5	13	13.1
		33.5	12	12.2

ในการทดลองยังได้นำข้าวไปสีเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณข้าวต้นและสีของข้าว เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน ผลปรากฏว่าได้ปริมาณข้าวต้นและสีขาวเทียบเท่าตัวอย่างมาตรฐาน [7] จึงสรุปได้ว่าการอบแห้งนี้จะไม่ทำให้ข้าวแตกหักมากขึ้นหรือมีสีหมองคล้ำลงไปแต่ประการใด ซึ่งในการอบจริงระดับอุตสาหกรรมนั้นข้าวจะไหลผ่านท่ออบที่ร้อนเพียงประมาณ 2 วินาทีเป็นอย่างมาก จากนั้นก็จะรอพักในถังพักขนาดใหญ่เพื่อรอเข้าสู่การอบในรอบต่อไป ซึ่งการรอพักนี้ข้าวน่าจะเย็นตัวลงเท่าอุณหภูมิห้อง เพราะเป็นการพักนาน (อาจประมาณ 20 นาที ขึ้นอยู่กับปริมาณข้าว) ประกอบกับความร้อนที่เกิดขึ้นก็จะเกิดเฉพาะที่บริเวณผิวข้าวเป็นชั้นบาง ๆเท่านั้น เนื่องจากข้าวสัมผัสอากาศร้อนเพียง 2 วินาที และ ยังมีความเร็วสัมพัทธ์สูงอีกด้วย

5. สรุป

ผลการทดลองบ่งให้เห็นถึงศักยภาพของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระว่ามีความรวดเร็วในการอบแห้งและประหยัดพลังงาน โดยสามารถอบแห้งได้ตั้งแต่ในช่วงปริมาณความชื้นที่สูงจนถึงย่านความชื้นกักเก็บ (15% db.) โดยไม่เกิดความช้าลงของการอบ (อัตราถดถอย) และเมื่อมีการหมุนวนลมร้อนก่อนเข้าท่ออบแห้ง ก็ยิ่งทำให้เวลาในการอบแห้งสั้นลง ทำให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่า 15% ในกรณี 80 $^{\circ}$ C โดยยังได้ข้าวที่มีคุณภาพดีดังเดิม

6. เอกสารอ้างอิง

1. นิรชรา ศรีสุบัติ, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และทิพาพร อยู่วิทยา, "ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่ออัตราการเหลืองของข้าวเปลือกชื้น," วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย.), ปีที่ 32, หน้า 309-318, 2541
2. ไมตรี แนวพนิช, (ม.ป.ป.), "คุณภาพของข้าวเปลือก," กลุ่มงานวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว กองการเกษตรวิศวกรรมกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
3. Marier, D. E., "Grain Drying System," 2002 Facility Design Conference of the Grain Elevator & Processing Society, USA, 2002
4. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, สมบูรณ์ เวชกามา, สุวัฒน์ ตรูทัศนวินท์ และวุฒิกรณ์ จริยตันติเวทย์, "การออบแบบ ทดสอบ และหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคการทำไหลบนฐานสั่น," วารสารราชบัณฑิตยสถาน ปีที่ 27 ฉบับที่ 1, ม.ค.-มี.ค. 2545
5. ฐานิตย์ เมธิยานนท์ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, "การอบแห้งเมล็ดพืชที่อุณหภูมิสูงโดยเทคนิคสเปาเท็ดเบดที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศเข้าดาวน์คัมเมอร์ได้," การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, ต.ค. 2547
6. D.B. Brooker, F.W. Bakker-Arkema, C.W. Hall, *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*, Van Nostrand Reinhold, Newyork, 1992
7. จุฑาทิพย์ ทองเดชาสามารถ, "การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันแบบใหม่" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2545
8. ทวิช จิตรสมบูรณ์, โศรฎา แข็งการ และ เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว, "เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ: รวดเร็วและประหยัดพลังงาน," หนังสือรวมเล่มบทความในการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2, 27-29 กรกฎาคม 2549, ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

นิยามสัญลักษณ์

Q = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้อากาศ kJ
E = อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ MJ/Kg
w = มวลข้าวเปียก kg
d = มวลข้าวแห้ง kg
M = อัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือก มาตรฐานแห้ง kg/kg
M_v = ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศ kg/kg
$\dot{m}_a$ = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง kg/s
V = ความเร็วกระแสอากาศ m/s
A = พื้นที่หน้าตัดของท่ออบ m^2
ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ kg/m^2
c_a = ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง kJ/kg-K
c_v = ความร้อนจำเพาะของไอน้ำในอากาศ kJ/kg-K
W_a = อัตราส่วนความชื้นของอากาศอบแห้ง kg/kg-dry air
t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง
T_{out} = อุณหภูมิออกจากขดลวดความร้อน $^{\circ}$C
T_{in} =อุณหภูมิก่อนเข้าขดลวดความร้อน $^{\circ}$C