

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นแห้งวงติดตะแกรง SUSTAIN SPOUTED BED PADDY DRYER WITH INTERNAL GRATES

ณัฐพงษ์ วงศ์บับพา¹ และ ทวีช จิตรสมบุญ^{2*}

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: E-mail: tawit.boon@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 0-4422-4410, เบอร์โทรสาร: 0-4422-4413

บทคัดย่อ

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นแห้ง (sustain spouted paddy dryer) กำลังเป็นที่สนใจของวิทยาการอบแห้ง เนื่องจากมีความรวดเร็วในการทำงานแต่ยังมีปัญหาเรื่องการสิ้นเปลืองพลังงานและการแตกหักของข้าว งานวิจัยนี้จึงได้ทำการสร้างและทดลองเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นแห้งแบบใหม่ที่ทำให้มีการใส่ตะแกรงภายในท่ออบแห้ง เพื่อให้ตะแกรงทำหน้าที่ขวางและหน่วงการไหลของเมล็ดข้าวและลมร้อนในท่ออบแห้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มเวลาสัมผัสระหว่างข้าวและลมร้อน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปรียบเทียบการปฏิบัติงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกสำหรับการทดลองด้วยท่อเป่าพ่นที่มีและไม่มีตะแกรงขวาง ที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งที่เปลี่ยนไปตามปัจจัยต่างๆ คือ อากาศอบแห้งที่อุณหภูมิ 110, 130 และ 150 °C ความเร็วลมในการอบแห้ง ที่มีผลต่อความชื้นสุดท้ายและความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง จากผลการทดลองพบว่าความร้อนและความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทำให้การอบแห้งรวดเร็วขึ้น อีกทั้งตะแกรงหน่วงที่ใส่เพิ่มขึ้นก็ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นด้วย รวมทั้งการประหยัดพลังงานที่เพิ่มขึ้น

คำหลัก: อบแห้งข้าวเปลือก, เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นแห้ง, ความรวดเร็วในการอบแห้ง, ประสิทธิภาพในการอบแห้ง

Abstract

Sustain spouted paddy dryer is in the interest of science drying. Due to the speed of work, but there is also the problem of power consumption and fracture of rice. This research constructed and tested Sustain spouted paddy dryer that have been invented. Research has invented a new way, by there is a mesh tube inside. For to delay the flow of the grain and hot air in the pipes. Which increases the contact time between the rice and the hot air. The main objective of this research is to compare operations of drying paddy for experimenting with and without internal grates. Affect to the drying rate, changes according to various factors is air drying at 110, 130 and 150 °C, air speed of drying that affect the final moisture and extravagance of energy used in drying. The results showed that, hot air, air speed increases and grates makes drying faster. Including increased energy savings.

Keywords: Paddy drying, Sustain spouted paddy, Fast drying, Efficiency in drying.

TSF-272

1. บทนำ

ผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะข้าวเปลือกมักจะมีค่าความชื้นสูงประมาณ 20-23% (w.b.) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ข้าวเปลือกเกิดเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษาอันเป็นผลมาจากความชื้นที่สูงเกินไป ฉะนั้นการอบแห้งข้าวเปลือกจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อการถนอมรักษาคุณภาพและการเก็บรักษาให้ยาวนาน ความชื้นข้าวเปลือกที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาควรมีค่าอยู่ที่ประมาณ 13-15% (w.b.) [1] และในการลดความชื้นข้าวเปลือกสามารถทำได้โดยใช้เครื่องอบแห้งหลากหลายชนิด เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด เครื่องอบแห้งแบบข้าวหล่นอิสระอย่างต่อเนื่อง เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม เครื่องอบแห้งแบบกระแสนเป็นต้น ซึ่งเครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ ย่อมมีจุดเด่นและจุดด้อยที่ต่างกัน แต่ในกระบวนการอบแห้งลดความชื้นส่วนใหญ่จะใช้การถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนซึ่งเป็นตัวกลางในการอบแห้งไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออก โดยการระเหยของปริมาณน้ำในวัสดุที่ชื้น

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการคิดค้นการอบแห้งข้าวเปลือกรูปแบบใหม่ โดยการเป่าพ่นลมร้อนและหอบเอาเมล็ดข้าวเปลือกไปพร้อมๆ กัน เทคนิคการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูงมาก อีกทั้งในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการติดตั้งตะแกรงเข้าไปในท่อที่เรียกว่าหอบแห้ง เพื่อจะทำให้เกิดการหมุนเมล็ดข้าวเปลือกให้อยู่ในระบบนานขึ้น และจะทำให้สามารถไล่ลมร้อนในการลดความชื้นในวัสดุได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นพ่นหวงดัดตะแกรง โดยเน้นที่ผลกระทบของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศอบแห้ง

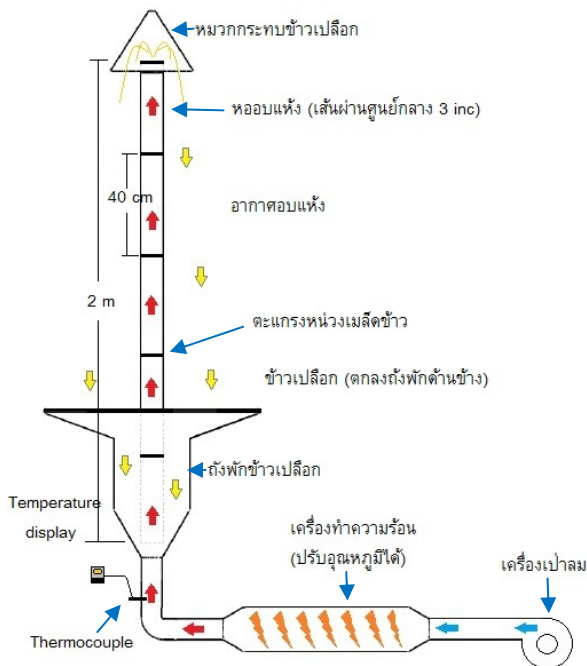
2. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นพ่นหวงดัดตะแกรง

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นพ่นหวงดัดตะแกรง หลักการทำงานจะเริ่มจากเครื่องเป่าลมจะเป่าลมผ่านขดลวดทำความร้อนที่ติดตั้งอยู่ทางด้านล่างของเครื่องเข้าสู่หอบแห้งที่ตั้งตัวในแนวตั้ง แล้วไปออกทางด้านบนที่ช่องทางออก ในขณะเดียวกันข้าวเปลือกชื้นที่อยู่ในบริเวณถังพักจะไหลลงมาตามกรวยและถูกเป่าพ่นเข้าไปในบริเวณหอบแห้งพร้อมๆ กัน ข้าวเปลือกที่ถูกเป่าพ่นเข้าไปในหอบแห้งนั้นจะถูกพ่นด้วยตะแกรงที่ถูกติดตั้งภายในหอบแห้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นกับข้าวเปลือกอย่างรวดเร็ว เมล็ดข้าวเปลือกจะถูกหอบขึ้นด้วยลมร้อนผ่านตะแกรงที่ติดตั้งภายในหอบแห้งเป็นชั้นๆ จนกระทั่งถึงที่ปลายด้านบนสุดของหอบแห้งแล้วตกลงมาที่ถังพักด้านล่างอีกครั้งเพื่อรอการอบแห้งในรอบต่อไป เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นพ่นหวงดัดตะแกรงแสดงดังรูปที่ 1

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องขนาดเล็กโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณหอบแห้งขนาด 3 in ความยาวหอบแห้ง 2 m ความห่างของช่องตะแกรงที่ติดตั้งในหอบแห้งขนาด 1x1 cm ติดตะแกรงทั้งหมด 5 ชั้น ห่างกันชั้นละ 40 cm ขดลวดทำความร้อนขนาด 8 kW มอเตอร์พัดลมขนาด 1.2 kW ซึ่งสามารถปรับความร้อนและความเร็วลมได้

ลักษณะของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดนี้จะเป็นการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในหอบแห้งระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกและอากาศแห้งโดยลมร้อนจะหอบเอาเมล็ดข้าวเปลือกเป่าพ่นเข้าไปยังหอบแห้ง ซึ่งในหอบแห้งจะถูกคั่นด้วยตะแกรงพ่นเป็นชั้นๆ เมล็ดข้าวจะพ่นเข้าไปกระทบกับตะแกรงที่ติดไว้เหล่านั่น ทำให้เกิดความปั่นป่วนของลมที่อยู่ในหอบแห้งสูงมาก จึงทำให้พื้นที่สัมผัสในถ่ายเทความร้อนและความชื้นมีมากเช่นเดียวกัน

TSF-272



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นหมุนวนติดตะแกรง

3. วิธีการทดลอง

ในขั้นแรกเครื่องเป่าลมแรงดันสูงและชุดทำความร้อนจะทำงานก่อน เมื่ออุณหภูมิของอากาศที่ทางออกของชุดทำความร้อนเพิ่มสูงจนถึงค่าที่กำหนด ข้าวเปลือกจะถูกปล่อยโดยการยกหอบแห้งขึ้นด้วยระยะที่กำหนด ซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างบริเวณถึงด้านล่างที่เป็นกรวยกับปลายด้านล่างของหอบแห้ง จึงทำให้ข้าวเปลือกไหลตามกรวยและถูกหอบด้วยลมเข้าหอบแห้ง ข้าวเปลือกจะไหลเวียนช้าๆ เป็นชั้นๆ ไปเรื่อยๆ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่ตกลงยังถึงพักด้านล่างตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ (เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก) จนกระทั่งได้ค่าความชื้นข้าวเปลือกที่ต้องการ (ประมาณ 14% w.b.) ค่าความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือกในช่วงเวลาต่างๆ ที่ทำการเก็บไว้สามารถหาได้โดยการนำข้าวเปลือกดังกล่าวมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 h หลังจากนั้นจึงคำนวณค่า

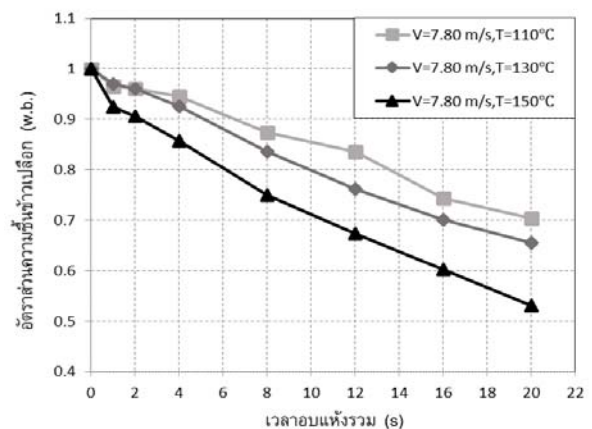
ความชื้นของข้าวเปลือกจากมวลของข้าวเปลือกทั้งก่อนนำเข้าตู้อบและหลังนำออกจากตู้อบ

การทดลองจะกระทำโดยใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 3 ค่า คือ 110°C , 130°C และ 150°C ความเร็วอากาศอบแห้งเฉลี่ย 3 ค่า คือ 7.80, 8.40 และ 9.08 m/s อัตราการป้อนข้าวเปลือกเข้าระบบ (W_p) คือ 3.62 kg/min ทำการทดลองโดยใช้ข้าวเปลือก 4 kg ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 21.3% (w.b.) โดยการทดลองในเงื่อนไขข้างต้นจะกระทำทั้งกรณีหอบแห้งที่ติดและไม่ติดตะแกรง

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์วิจารณ์

4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราความชื้น

ผลการทดลองการอบแห้งแสดงในรูปที่ 2 เป็นผลของการใช้ความเร็วอากาศอบแห้ง 7.80 m/s โดยเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 3 ค่า คือ 110°C , 130°C และ 150°C



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบแห้งรวมกับอัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือก ที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 7.80 m/s ทดลองอบแห้งแบบติดตะแกรง

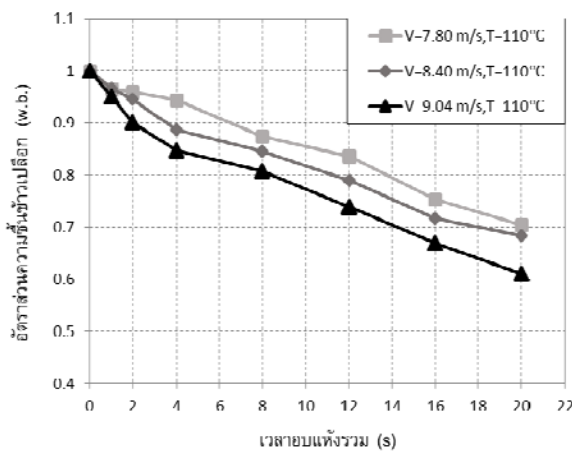
จากผลของการอบแห้ง พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าลดลง และอัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือกของการอบแห้งก็มีแนวโน้มที่ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่สูงขึ้น ซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้งนั้น จะทำให้

TSF-272

เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศอบแห้งและเมล็ดข้าวเปลือก ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังเมล็ดข้าวเปลือกได้สูงและทำให้เมล็ดข้าวเปลือกคายความชื้นเพิ่มขึ้นด้วย

4.2 อิทธิพลของความเร็วที่มีผลต่ออัตราความชื้น

ผลการทดลองการอบแห้งแสดงในรูปที่ 3 เป็นผลของการใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 110 °C โดยเปลี่ยนความเร็วอากาศอบแห้ง 3 ค่า คือ 7.80, 8.40 และ 9.08 m/s

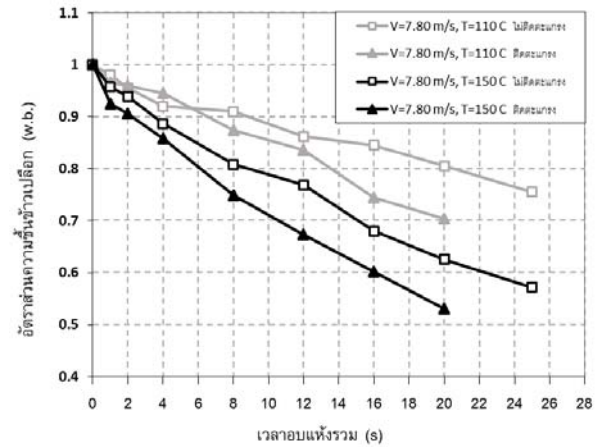


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบแห้งรวมกับอัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือก ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 110 °C ทดลองอบแห้งแบบติดตะแกรง

เมื่อพิจารณาความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าความเร็วของอากาศอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาและอัตราส่วนความชื้นมีแนวโน้มที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากความเร็วของอากาศที่เพิ่มขึ้นถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้อากาศเกิดความปั่นป่วนและอากาศที่ปั่นป่วนไหลไปชนกับเมล็ดข้าวเปลือกจะทำให้เกิดโมเมนตัมที่สูงมาก จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นกับเมล็ดข้าวเปลือกได้ดีเช่นกัน

4.3 อิทธิพลของการติดตะแกรงที่มีผลต่ออัตราความชื้น

ผลการทดลองการอบแห้งแสดงในรูปที่ 4 เป็นผลของการทดลองอบแห้งแบบติดและไม่ติดตะแกรง



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบแห้งรวมกับอัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือก กรณีเปรียบเทียบการทดลองอบแห้งแบบติดและไม่ติดตะแกรง

จากผลของการอบแห้ง พบว่าการติดตะแกรงที่บริเวณหอบแห้งเพื่อช่วยในการอบแห้งนั้น จะทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง และในระยะเวลาเดียวกันก็ทำให้อัตราส่วนความชื้นของข้าวเปลือกน้อยกว่าในกรณีการอบแห้งแบบไม่ติดตะแกรงอีกด้วย

นอกจากความเร็วอากาศอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจะสร้างความปั่นป่วนให้กับอากาศซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการอบแห้งแล้ว ในกรณีของการติดตะแกรงที่บริเวณหอบแห้งเพื่อช่วยในการอบแห้งนั้นยังเป็นการติดตะแกรงเพื่อกักเมล็ดข้าวเปลือกให้อากาศเกิดการปั่นป่วนได้เพิ่มขึ้นได้อีก กล่าวคือ เนื่องจากเมล็ดข้าวเปลือกที่ถูกเป่าพ่นเข้าไปในหอบแห้งจะไปชนกับตะแกรงที่ถูกติดไว้ในหอบแห้งเป็นช่วงชั้น และหมุนวนอยู่ในแต่ละช่วงชั้น ทำให้อากาศเกิดความปั่นป่วนเพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงชั้น อีกทั้งการติดตะแกรงในหอบแห้งยังช่วยช่วยให้เมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในระบบได้นานยิ่งขึ้นอีก เมล็ดข้าวเปลือกที่มีเวลาดำรงอยู่ในระบบนาน ส่งผลให้เมล็ดข้าวเปลือกมีเวลาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศได้นานมากขึ้น ความชื้นจึงสามารถระเหยออกจากผิวข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นเช่นกัน

TSF-272

4.3 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้น

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐุม
ภูมิจำเพาะ หาได้จากพลังงานความร้อนที่ใช้ในการ
เพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ผ่านเครื่องทำความร้อน

$$Q = m_a [(1-W_a)c_a + c_v W_a](T_{out} - T_{in})\Delta t \quad (1)$$

อัตราการไหลเชิงมวลคำนวณจากสูตร $m_a = \rho A \bar{V}$
โดย $\bar{V}$ เป็นความเร็วเฉลี่ยตลอดหน้าตัดเครื่องอบแห้ง

มวลข้าวเปลือกเริ่มต้นเฉลี่ยจะต้องถูกนำใช้ใน
การคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากการ
อบแห้ง

มวลข้าวเปลือกเริ่มต้นเฉลี่ย

$$\bar{w}_1 = [w_1 + (w_1 - 0.015N)] / 2 \quad (2)$$

เมื่อ N คือจำนวนตัวอย่างที่เก็บ

0.015 คือตัวอย่างข้าวที่นำออกไปวัดความชื้น (15 g)

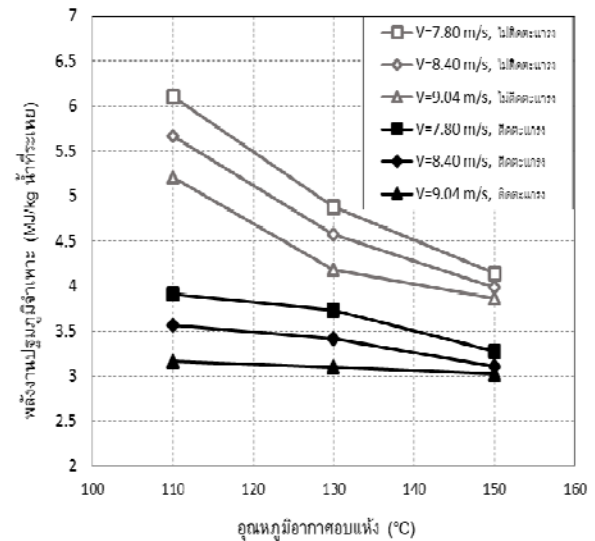
ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากการอบแห้งหาได้จาก

$$w_1 - w_2 = \bar{w}_1 (M_1 - M_2) / (1 - M_2) \quad (3)$$

ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกหรือ
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐุมภูมิจำเพาะของเครื่อง
อบแห้งที่ใช้ในการทดลองคือ

$$E = Q / (w_1 - w_2) \quad (4)$$

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐุมภูมิจำเพาะ
ของเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศอบแห้ง
กับพลังงานปฐุมภูมิจำเพาะ ในกรณีต่างๆ ที่การ
ทดลองอบแห้งแบบติดและไม่ติดตะแกรง

ค่าพลังงานปฐุมภูมิจำเพาะที่คำนวณได้มีค่า
อยู่ในช่วง 3-6.2 MJ/kg water evap. กรณีการอบแห้ง
ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 110 °C ความเร็วอากาศ
อบแห้ง 7.80 m/s และทดลองอบแห้งแบบไม่ติด
ตะแกรง พบว่ามีการใช้พลังงานปฐุมภูมิจำเพาะมาก
ที่สุด ส่วนการใช้พลังงานปฐุมภูมิจำเพาะที่น้อยที่สุด
พบในกรณีของการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง
150 °C ความเร็วอากาศอบแห้ง 9.04 m/s และ
ทดลองอบแห้งแบบติดตะแกรง ซึ่งมีค่าประมาณ 3
MJ/kg water evap.

เมื่อพิจารณาการแนวโน้มการใช้พลังงานปฐุม
ภูมิจำเพาะของเครื่องอบแห้ง ดังที่แสดงในรูปที่ 5
พบว่าการใช้พลังงานปฐุมภูมิจำเพาะของเครื่อง
อบแห้งจะมีค่าลดลงตามการเลือกใช้อุณหภูมิและ
ความเร็วสำหรับการอบแห้งที่มากขึ้น เนื่องจาก
อุณหภูมิและความเร็วที่มากขึ้นนั้นทำให้ใช้เวลาในการ
อบแห้งที่ลดลง ซึ่งมีผลต่อการคำนวณค่าพลังงาน และ
มีแนวโน้มที่เหมือนกันทั้งกรณีการอบแห้งแบบติดและ
ไม่ติดตะแกรง และพิจารณาการใช้พลังงานปฐุมภูมิ
ของเครื่องอบแห้งที่ติดและไม่ติดตะแกรง พบว่าการ
ติดตะแกรงที่บริเวณหอบแห้งนั้นจะช่วยทำให้ใช้เวลา

TSF-272

ในการอบแห้งที่น้อยลง และพบการใช้พลังงานที่น้อย
กว่าการอบแห้งแบบไม่ติดตะแกรงทุกกรณี

5. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ
เปรียบเทียบการปฏิบัติงานของเครื่องอบแห้ง
ข้าวเปลือกสำหรับการทดลองด้วยท่อเป่าพ่นที่มีและ
ไม่มีตะแกรงขวาง ที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งที่
เปลี่ยนไปตามปัจจัยต่างๆ คือ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง
ความเร็วลมในการอบแห้ง ที่มีผลต่อความชื้นสุดท้าย
และความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง จาก
ผลการทดลองพบว่าความร้อนและความเร็วลมที่
เพิ่มขึ้นทำให้การอบแห้งรวดเร็วขึ้น อีกทั้งตะแกรง
ขวางที่ใส่เพิ่มขึ้นก็ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นด้วย
รวมทั้งการประหยัดพลังงานที่เพิ่มขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2450). การอบแห้งเมล็ด
พืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ:
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [2] จัตรชัย นิยมผล (2555). ประสิทธิภาพการใช้
พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วย
เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้ท่ออบแห้งชนิดท่อ
เกลียว, วารสาร มช. ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 (97-109).
- [3] เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว, สุพิชฌาย์ มีสุขเจ้า
สำราญ และ ทวีข จิตรสมบุญ (2551). ผลของ
ความเร็วอากาศต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธี
ข้าวหล่นอิสระอย่างต่อเนื่อง, การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22.
15-17 ตุลาคม 2551, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์
รังสิต
- [4] ทวีข จิตรสมบุญ, ไชยวาทย์ และ เกรียงไกร
เพ็ชรน้ำเขียว (2549). เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ
ข้าวหล่นอิสระ: รวดเร็วและประหยัดพลังงาน, การ
ประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่
2. 27-29 กรกฎาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
สุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

- [5] ชนรัตน์ วิจิณธนสาร, วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง และ กิตติ
สถาพรประสาทร (2554). การลดความชื้น
ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำทำงาน
ร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม, การประชุม
วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 25. 19-21 ตุลาคม 2554, จังหวัดกระบี่
- [6] สุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ และ ทวีข จิตรสมบุญ
(2552). เครื่องอบแห้งแบบหล่นอิสระ: เงื่อนไขการ
อบแห้งที่ให้คุณภาพข้าวสารที่ดี, การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23.
4-7 ตุลาคม 2552, จังหวัดเชียงใหม่

7. สัญลักษณ์

- Q = พลังงานความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิให้อากาศ,
MJ
 E = อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานป้อนภูมิจำเพาะ,
MJ/kg water evap
 w = มวลข้าวเปลือก, kg
 M = อัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือก มาตรฐานเปียก,
kg/kg
 m_a = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง, kg/s
 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 = ความชื้นสัมบูรณ์อากาศที่ทางเข้าเครื่องทำ-
ความร้อน, kg/kg dry air
 t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, second
 T_{out} = อุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องทำความร้อน, $^{\circ}C$
 T_{in} = อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทำความร้อน, $^{\circ}C$