

ประสิทธิผลของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอ

Effectiveness of The Elbowed Spouted Bed Paddy Dryer

ณัฏพงษ์ 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**

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอที่ทำการคิดค้นขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นแนวใหม่ที่มีความรวดเร็วในการทำงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดนี้ ด้วยการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80, 100 และ 120 °C ความเร็วลมในการอบแห้ง 14, 15 และ 16 m/s อบแห้งในหอบแห้งที่เป็นช่องอแบบ 8 ขยัก และช่องอแบบ 16 ขยัก ที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยและพลังงานในการอบแห้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยการนำข้าวเปลือกมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่มีหอบแห้งเป็นช่องอสลัฟ้นปลาไปมา เพื่อหน่วงเวลาการเป่าพ่นให้ยาวนานขึ้นกว่าปกติ และยังทำให้มีการคลุกเคล้าระหว่างเมล็ดพืชกับอากาศร้อนที่มากขึ้นอีก ซึ่งน่าจะทำให้เกิดการอบแห้งที่รวดเร็วและใช้พลังงานความร้อนที่มีประสิทธิผลสูงกว่าเดิม จากการทดลองพบว่า การอบแห้งในหอบแห้งที่เป็นช่องอแบบ 16 ขยัก นั้นให้อัตราการอบแห้งเฉลี่ยมากกว่าการอบแห้งในหอบแห้งที่เป็นช่องอแบบ 8 ขยัก และการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงก็ให้อัตราการอบแห้งเฉลี่ยมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ อีกทั้งการอบแห้งในหอบแห้งที่เป็นช่องอแบบ 16 ขยัก ยังใช้พลังงานในการอบแห้งต่ำกว่าการอบแห้งในหอบแห้งที่เป็นช่องอแบบ 8 ขยัก ซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฏุมภูมิจำเพาะในการลดความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 3.87-8.42 MJ/kg น้ำที่ระเหย

คำหลัก: อบแห้งข้าวเปลือก, เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอ, อัตราการอบแห้งเฉลี่ย, ประสิทธิภาพของการอบแห้ง

Abstract

The Elbowed Spouted Bed Paddy Dryer developed in this research is believed to be fast and energy efficient. This research aimed to study the effectiveness of and efficiency of this dryer. In the experiments air temperatures were varied from 80, 100 and 120 °C, air velocity from 14, 15 and 16 m/s. Elbows in the drying column were 8 elbows and 16 elbows. This research was conducted experiments by drying in a drying column elbow. These elbows were device to delay the grain flow in the hot air. The experimental results showed that, drying column with 16 elbows had the average drying rate higher than the 8 elbow one as well as lower energy consumption. Also, when drying at higher temperatures the drying rates were higher. Energy consumptions were in the range of 3.87-8.42 MJ/kg water evap.

Keywords: Paddy drying, Elbowed Spouted Bed Paddy Dryer, Drying rate, Effectiveness of drying.

TSF-06

1. บทนำ

ผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะข้าวเปลือกมักจะมีความชื้นสูงประมาณ 20-23% (w.b.) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ข้าวเปลือกเกิดเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษาอันเป็นผลมาจากความชื้นที่สูงเกินไป ฉะนั้นการอบแห้งข้าวเปลือกจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อการถนอมรักษาคุณภาพและการเก็บรักษาให้ยาวนาน ความชื้นข้าวเปลือกที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาควรมีค่าอยู่ที่ประมาณ 13-15% (w.b.) [1] และในการลดความชื้นข้าวเปลือกสามารถทำได้โดยใช้เครื่องอบแห้งหลากหลายชนิด เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด เครื่องอบแห้งแบบข้าวหล่นอิสระอย่างต่อเนื่อง เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม เครื่องอบแห้งแบบกระแสน เป็นต้น ซึ่งเครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ ย่อมมีจุดเด่นและจุดด้อยที่ต่างกัน แต่ในกระบวนการอบแห้งลดความชื้นส่วนใหญ่จะใช้การถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนซึ่งเป็นตัวกลางในการอบแห้งไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออก โดยการระเหยของปริมาณน้ำในวัสดุที่ชื้น

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการคิดค้นการอบแห้งข้าวเปลือกรูปแบบใหม่ โดยการเป่าพ่นลมร้อนและหอบเอาเมล็ดข้าวเปลือกไปพร้อมๆ กัน เทคนิคการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูงมาก อีกทั้งในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการออกแบบหอบแห้งที่มีลักษณะเป็นช่องสลับฟันปลาเรียงตัวยาวขึ้นไปในแนวตั้ง เพื่อให้เมล็ดพืชเกิดการหมุนวนติด อันเนื่องมาจากความยาวของหอบแห้งและความปั่นป่วนของลมร้อนที่เกิดขึ้นในหอบแห้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่อง โดยเน้นที่ผลกระทบของอุณหภูมิ ความเร็วของอากาศอบแห้ง และชนิดของหอบแห้งที่ใช้สำหรับการอบแห้งในงานวิจัยนี้

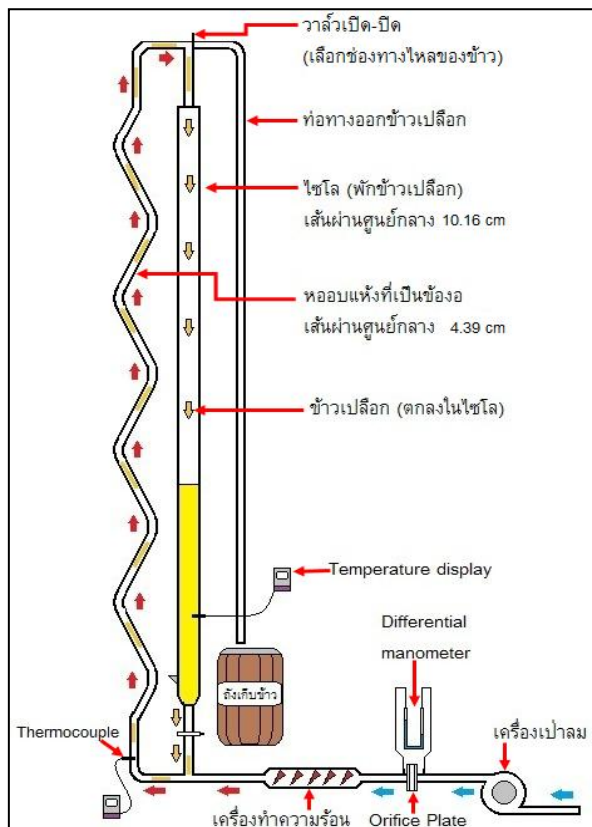
2. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่อง

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องหลักการทำงานจะเริ่มจาก เครื่องเป่าลมที่ควบคุมความเร็วด้วยการปรับแรงดันไฟฟ้าของ variac ดูดอากาศจากสิ่งแวดล้อมผ่านชุด orifice plate แล้วผ่านเข้าสู่เครื่องทำความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิด้วยการกำหนดค่าอุณหภูมิไปยังชุดควบคุม (Temp. Control) จากนั้นอากาศอบแห้งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ห้องซึ่งเป็นห้องอบแห้งที่วางตัวในแนวตั้ง ข้าวเปลือกซึ่งจะถูกปล่อยจากไซโล (ถังพักข้าวเปลือก) จะถูกลำเลียงไปพร้อม ๆ กับอากาศอบแห้งให้เข้าสู่ส่วนล่างของห้องอบแห้งไปออกที่ทางด้านบน และตกลงที่ถังพักอีกครั้งหนึ่งเพื่อรอการอบแห้งในรอบต่อไป ข้าวเปลือกจะมีเวลาในการอยู่ในห้องอบแห้งนานยิ่งขึ้น ข้าวเปลือกขึ้นและอากาศอบแห้งจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันเป็นลักษณะของการหอบเอาเมล็ดข้าวให้ไหลไปตามกระแสอากาศ ซึ่งจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นเป็นอย่างดี อากาศอบแห้งที่ไหลเข้าสู่ห้องอบแห้งที่เป็นช่องจะมีความเร็วสูง และเกิดความปั่นป่วนเป็นอย่างมาก ส่งผลให้เพิ่มระยะเวลาที่ข้าวเปลือกสัมผัสกับอากาศอบแห้งมากขึ้น จึงคาดว่า จะช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งหรือทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องแสดงดังรูปที่ 1

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องขนาดเล็กโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณหอบแห้งขนาด 4.39 cm ความยาวหอบแห้งที่เป็นช่องความยาวโดยรวมประมาณ 5.26 m ความยาวไซโล (ถังพักข้าวเปลือก) สูง 3 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 cm ขดลวดความร้อนขนาด 4 kW มอเตอร์พัดลมขนาด 1.2 kW ซึ่งสามารถปรับความร้อนและความเร็วลมได้

TSF-06

ลักษณะของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดนี้จะเป็นการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในหอบแห้งระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกและอากาศแห้งโดยลมร้อนจะหอบเอาเมล็ดข้าวเปลือกเป่าฟุ้งเข้าไปยังหอบแห้งไปกระทบกับช่วงหักงอของหอบแห้งก่อให้เกิดความปั่นป่วนของลมที่อยู่ในหอบแห้งสูงมาก จึงทำให้พื้นที่สัมผัสในถ่ายเทความร้อนและความชื้นมีมากเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าฟุ้งที่เป็นช่องอ

3. วิธีการทดลอง

ในขั้นแรกเครื่องเป่าลมแรงดันสูงและชุดทำความร้อนจะทำงานก่อน เมื่ออุณหภูมิของอากาศที่ทางออกของชุดทำความร้อนเพิ่มสูงจนถึงค่าที่กำหนด ข้าวเปลือกจะถูกปล่อยโดยการเปิดแผ่นสไลด์ (ซึ่งทำหน้าที่เปิด-ปิด ช่องทางการไหลลงของเมล็ดข้าว) ด้วยระยะที่กำหนด จึงทำให้ข้าวเปลือกไหลลงตามท่อผ่านช่องของแผ่นสไลด์ และถูกหอบด้วยลมเข้า

หอบแห้ง ข้าวเปลือกจะไหลเวียนซ้ำ ๆ เป็นชั้น ๆ ไปเรื่อย ๆ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่ตกลงยังถังพักด้านล่างตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ (เพื่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก) จนกระทั่งได้ค่าความชื้นข้าวเปลือกที่ต้องการ (ประมาณ 14% w.b.) ค่าความชื้นของตัวอย่างข้าวเปลือกในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ทำการเก็บไว้สามารถหาได้โดยการนำข้าวเปลือกดังกล่าวมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 h หลังจากนั้นจึงคำนวณค่าความชื้นของข้าวเปลือกจากมวลของข้าวเปลือกทั้งก่อนนำเข้าตู้อบและหลังนำออกจากตู้อบ

การทดลองจะกระทำโดยใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 3 ค่า คือ 80, 100 และ 120°C ความเร็วอากาศอบแห้งเฉลี่ย 3 ค่า คือ 14, 15 และ 16 m/s ทำการทดลองโดยใช้ข้าวเปลือก 4 kg ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 20.7% (w.b.) โดยการทดลองในเงื่อนไขข้างต้นจะกระทำทั้งกรณีหอบแห้งแบบ 8 ขยัก และหอบแห้งแบบ 16 ขยัก

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์วิจารณ์

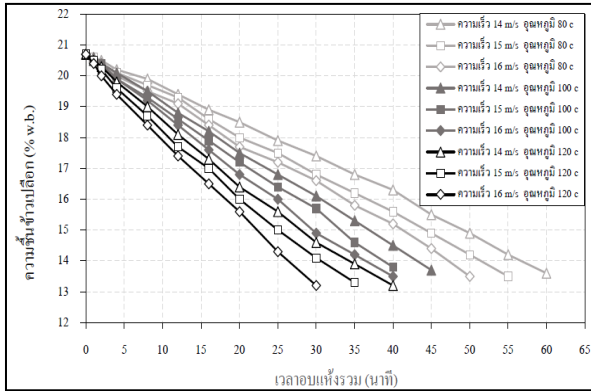
4.1 อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

ผลการทดลองการอบแห้งแสดงในรูปที่ 2 และ 3 เป็นผลของการใช้ความเร็วอากาศอบแห้ง 14, 15 และ 16 m/s อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 3 ค่า คือ 80, 100 และ 120°C ซึ่งทำการทดลองอบแห้งด้วยหอบแห้งที่เป็นห้องแบบ 8 ขยัก และหอบแห้งที่เป็นห้องแบบ 16 ขยัก ตามลำดับ

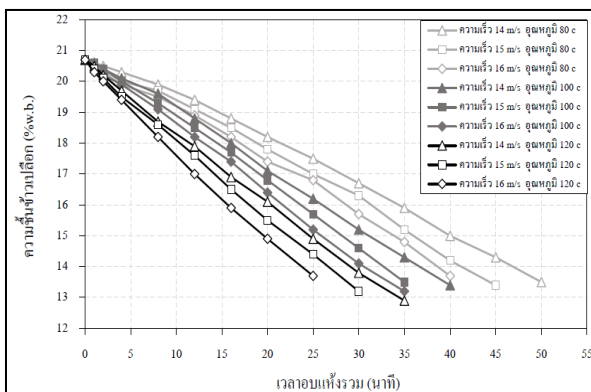
จากรูปที่ 2 และ 3 แสดงผลของการอบแห้งจากรูปจะเห็นว่าลักษณะการลดลงของความชื้นข้าวเปลือกค่อนข้างรวดเร็วและคงที่เป็นอย่างมากตลอดช่วงที่ทำการศึกษา (20.7-14% w.b.) โดยเฉพาะเมื่อทำการอบแห้งโดยใช้หอบแห้งที่เป็นห้อง 16 ขยัก จะเห็นได้ว่าความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและคงที่กว่าห้อง 8 ขยัก อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิและความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้นก็ยิ่งทำให้ความชื้นข้าวเปลือกและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าลดลงอีกด้วย เนื่องจากอุณหภูมิ

TSF-06

และความเร็วอากาศในการอบแห้งค่อนข้างอยู่ในเกณฑ์ที่สูง จึงทำให้เมล็ดข้าวสามารถคายความชื้นที่อยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกออกได้อย่างรวดเร็ว และส่งผลให้เวลารวมของการอบแห้งลดลงตามด้วย



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือกของหอบแห้งที่เป็นช่องแบบ 8 ขยัก



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือกของหอบแห้งที่เป็นช่องแบบ 16 ขยัก

ส่วนลักษณะของความชื้นที่ลดลงอย่างคงที่เป็นผลเนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดนี้ ข้าวเปลือกจะมีระยะพักตัวในถังพัก (ไซโล) พอประมาณ การที่ข้าวเปลือกมีเวลาพักตัวในถังพักก่อนที่จะถูกอบแห้งด้วยลมร้อนอีกครั้ง จะทำให้เมล็ดข้าวสามารถกระจายความชื้นจากแกนกลางของเมล็ดออกมาสู่ผิวของเมล็ดได้มากขึ้น หลังจากนั้นเมล็ด

ข้าวจะเข้าสู่กระบวนการอบในท่ออบแห้งในรอบต่อไป และทำให้เมล็ดข้าวมีศักยภาพในการคายความชื้นออกจากตัวเองที่มากขึ้น เพราะความชื้นได้แพร่มาอยู่ที่ผิวของเมล็ดจำนวนหนึ่งแล้วหลังจากที่อยู่ในช่วงของการพักตัว (การแพร่ความชื้นของเมล็ดข้าวเมื่อสัมผัสกับอากาศอบแห้งจะเกิดขึ้นที่ผิวของเมล็ดก่อน) และเป็นเช่นนี้ไปจนตลอดกระบวนการอบแห้ง ลักษณะการลดลงของความชื้นข้าวเปลือกตลอดช่วงของการทดลองจึงค่อนข้างคงที่

ซึ่งระยะพักตัวของเมล็ดข้าวเปลือกสามารถคำนวณได้จากปริมาณข้าวเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง (4 kg) หรืออัตราการไหลข้าวเปลือก แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการไหลและระยะพักตัวข้าวเปลือก

ชนิดท่อ	ความเร็ว (m/s)	อัตราการไหลข้าว (kg/min)	ระยะพักตัวของเมล็ดข้าวในถังพัก (min)
ท่อ 8 ขยัก	14	1.19	3.36
	15	1.53	2.61
	16	1.80	2.22
ท่อ 16 ขยัก	14	1.14	3.51
	15	1.38	2.90
	16	1.44	2.78

4.2 อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ย

การแสดงผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อนี้ เพื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งได้นำ ข้อมูลการทดลองมาวิเคราะห์ในรูปแบบของอัตราการอบแห้งเฉลี่ย การคำนวณแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\bar{M} = [M_i - M_f] / t_{total} \quad (1)$$

ดังที่แสดงในรูปที่ 4 และ 5 จากรูปแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อ

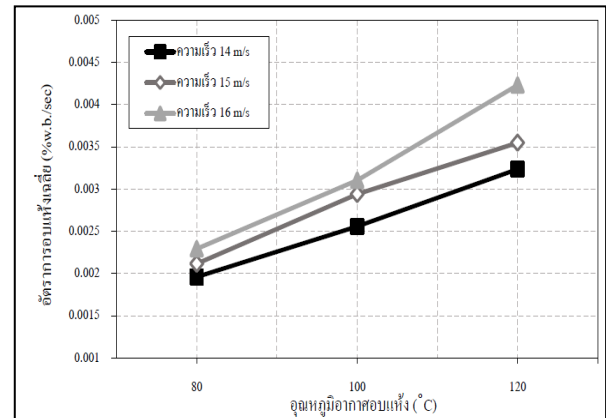
TSF-06

การเพิ่มอัตราการอบแห้งเฉลี่ยอย่างชัดเจน โดยเมื่อความเร็วและอุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นอัตราการอบแห้งเฉลี่ยก็จะเพิ่มขึ้นตาม เช่นกับกรณีอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80-120 °C ที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 16 m/s ช่วงอัตราการอบแห้งเฉลี่ยเพิ่มจาก 0.00229-0.00423 และ 0.00294-0.00465 (% w.b./sec) ที่การอบแห้งในหอบแห้งที่เป็นห้องอบแบบห้อง 8 ชัก และห้อง 16 ชัก ตามลำดับ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งเฉลี่ยได้มากถึง 1.85 และ 1.58 เท่า ตามลำดับ

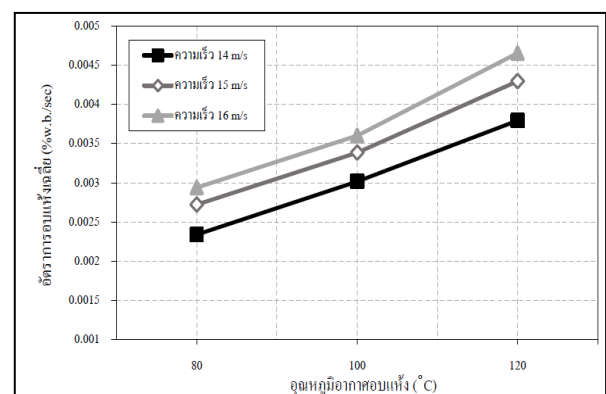
อัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอากาศอบแห้งนั้น สามารถอธิบายได้ตามสมการของ Fick's Law Diffusion ซึ่งปริมาณมวลสารที่ออกจากเมล็ดข้าวเปลือกจะขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ตามสมการดังกล่าว และสัมประสิทธิ์การแพร่ของสมการนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกด้วย ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวสูงขึ้นตาม เนื่องจากการเกิดการถ่ายเทความร้อนไปแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จึงมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิของเมล็ด และทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้มากขึ้น จึงทำให้อัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงมีค่ามาก ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดของกองข้าวเปลือกข้าวเปลือกขณะทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 6

และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วอากาศอบแห้งตามรูปที่ 4 และ 5 พบว่าเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้น อัตราการอบแห้งเฉลี่ยก็สูงขึ้นตาม เนื่องจากความเร็วอากาศอบแห้งที่มากขึ้นนั้นจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังเมล็ดข้าวเปลือกได้ดีกว่าความเร็วอากาศอบแห้งต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามสมการของ Fourier's Law of Heat Conduction อัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังเมล็ดข้าวเปลือกจะแปรผันตามค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะขึ้นตามความเร็วอากาศอบแห้ง เมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะสูงตาม และจะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังเมล็ด

ข้าวเปลือกสูงขึ้น เมื่อความร้อนที่ถูกถ่ายเทมายังเมล็ดข้าวเปลือกที่สูงขึ้นตามความเร็วของอากาศอบแห้งนั้นจะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเกิดการคายความชื้นหรือเกิดการถ่ายเทมวลสารออกจากเมล็ดตามกระบวนการดังที่ได้อธิบายไว้ตามอิทธิพลของอุณหภูมิ

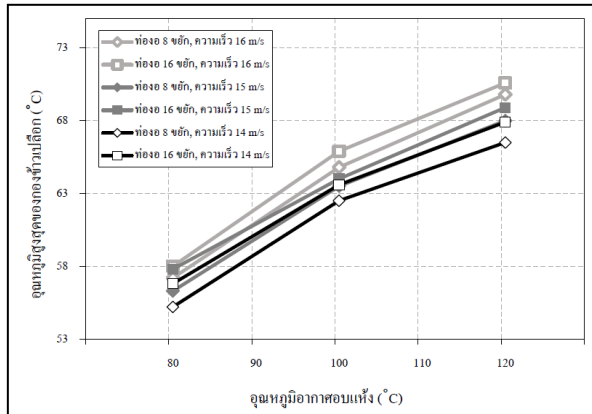


รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิ และความเร็วอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของหอบแห้งที่เป็นห้อง 8 ชัก



รูปที่ 5 ผลของอุณหภูมิ และความเร็วอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของหอบแห้งที่เป็นห้อง 16 ชัก

TSF-06



รูปที่ 6 อุณหภูมิสูงสุดของหัวปลือก

4.3 อิทธิพลของท่ออบแห้งอบแห้งที่มีผลต่อ อัตราการอบแห้งเฉลี่ย

การแสดงผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อนี้ เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งเฉลี่ยของข้าวเปลือกตามอิทธิพลของชนิดท่อที่ใช้ในการอบแห้งจากรูปที่ 4 และ 5 จะเห็นได้ว่าอัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในท่ออบ 16 ขยัก นั้นจะมีค่าสูงกว่าท่ออบ 8 ขยัก (พิจารณาที่อุณหภูมิและความเร็วคงที่) เนื่องจากการเพิ่มขยักให้กับท่ออบแห้งนั้นจะทำให้อากาศที่ไหลในท่ออบแห้งมีความปั่นป่วนสูง อีกทั้งยังทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเกิดการสะสมในท่ออบแห้งมากขึ้นด้วย เมื่อเมล็ดข้าวเปลือกมีการสะสมในท่ออบแห้งที่มากขึ้น ก็ย่อมทำให้เมล็ดข้าวใช้เวลาอยู่ในท่ออบแห้งนานยิ่งขึ้น และทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีเวลาสัมผัสกับอากาศร้อนได้นาน จึงส่งผลต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของข้าวเปลือก

แต่การเพิ่มขยักให้กับท่ออบแห้งมากขึ้นไปเรื่อย ๆ นั้นก็อาจจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นตามเสมอ เนื่องจากการเพิ่มขยักให้กับท่ออบแห้งมากขึ้น อาจทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเกิดการสะสมในท่ออบแห้งที่มากขึ้นจนทำให้ไม่มีช่องพรุนหรือที่ว่างที่จะทำให้อากาศร้อนไหลแทรกตัวผ่านเมล็ดข้าวได้เลย ซึ่งอาจจะทำให้อัตราการอบแห้งลดน้อยลง และจากการทดลองพบแล้วว่าอัตราการอบแห้งที่สูงสุดของงานวิจัย เกิดขึ้นที่การทดลองในท่ออบแห้งที่เป็นช่องอ 16 ขยัก

ซึ่งปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้งสามารถหาได้จากเดินเครื่องอบแห้งตามเงื่อนไขของการทดลองที่กำหนด และป้อนข้าวเปลือกให้ไหลเข้าระบบจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ จากนั้นหยุดการทำงานของเครื่องอย่างฉับพลัน หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกที่สะสมในท่ออบแห้งมาชั่งน้ำหนัก มวลของข้าวเปลือกที่ชั่งได้คือปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้งนั่นเอง แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณข้าวเปลือกที่สะสมในท่ออบแห้ง

ชนิดท่ออบแห้ง	ความเร็ว (m/s)	น้ำหนัก (g)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ท่อนอ 8 ขยัก	14	346.07	362.94	356.44	350.69
	15	305.86	303.33	307.37	303.26
	16	262.27	271.21	264.19	265.63
ท่อนอ 16 ขยัก	14	695.92	711.64	705.21	697.40
	15	435.51	408.17	426.43	428.74
	16	339.91	295.98	312.97	318.87

4.4 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้น

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฏุมภูมิจำเพาะ หาได้จากพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ผ่านเครื่องทำความร้อน

$$Q = m_a [(1 - W_a) c_a + c_v W_a] (T_{out} - T_{in}) \Delta t \quad (2)$$

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

มวลข้าวเปลือกเริ่มต้นเฉลี่ยจะต้องถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากการอบแห้งให้ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\bar{w}_1 = [w_1 + (w_1 - 0.015N)] / 2 \quad (3)$$

เมื่อ N คือ จำนวนตัวอย่างที่เก็บ

0.015 คือ ปริมาณตัวอย่างข้าวที่นำออกไปวัดความชื้นครั้งละ 15 g

TSF-06

ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากการอบแห้งหาได้
ดังสมการต่อไปนี้

$$w_1 - w_2 = \bar{w}_1 (M_1 - M_2) / (1 - M_2) \quad (4)$$

ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกหรือ
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะของเครื่อง
อบแห้งที่ใช้ในการทดลองคือ

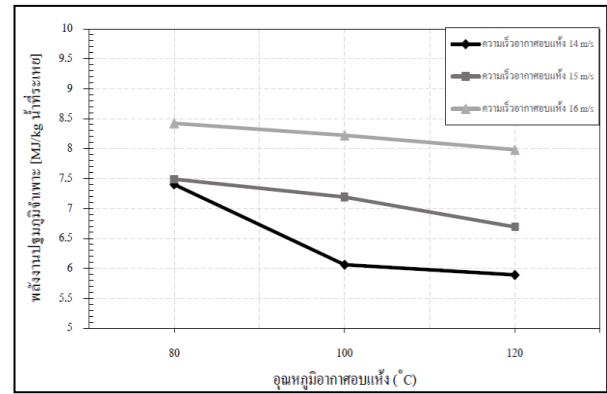
$$E = Q / (w_1 - w_2) \quad (5)$$

4.5 อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิอากาศอบแห้ง ที่มีผลต่อพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ

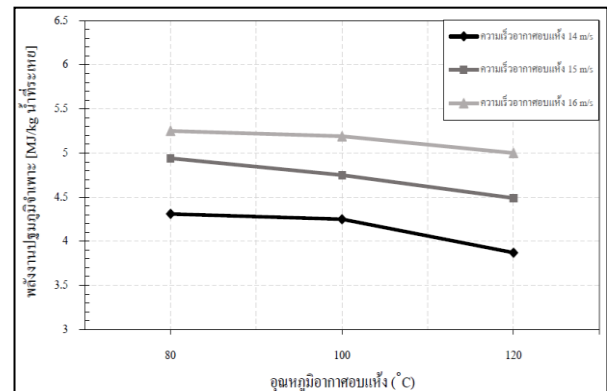
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ
ของเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง แสดงในรูปที่ 7
และ 8

ค่าพลังงานปฐมภูมิจำเพาะที่คำนวณได้มีค่า
อยู่ในช่วง 3.87-8.42 MJ/kg น้ำที่ระเหย กรณีการ
อบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120°C ความเร็ว
อากาศอบแห้ง 16 m/s และทดลองอบแห้งด้วย
หอบแห้งที่เป็นทองอ 8 ขยัก พบว่ามีการใช้พลังงาน
ปฐมภูมิจำเพาะมากที่สุด ส่วนการใช้พลังงานปฐมภูมิ
จำเพาะที่น้อยที่สุดพบในกรณีของการอบแห้งที่
อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120°C ความเร็วอากาศ
อบแห้ง 14 m/s และทดลองอบแห้งด้วยหอบแห้งที่
เป็นทองอ 16 ขยัก ซึ่งมีค่าประมาณ 3.87 MJ/kg น้ำที่ระเหย

ผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อนี้พิจารณา
จากรูปที่ 7 และ 8 พบว่าเมื่อความเร็วอากาศอบแห้ง
สูงขึ้นแนวโน้มการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะของ
เครื่องอบแห้งก็มีค่าสูงขึ้นตาม และเมื่อพิจารณา
อุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ความเร็วคงที่ พบว่าแนวโน้ม
การใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะของเครื่องอบแห้งมีค่า
ลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้น



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศอบแห้ง
กับพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ ในกรณีต่าง ๆ
เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นทองอ 8 ขยัก



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศอบแห้ง
กับพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ ในกรณีต่าง ๆ
เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นทองอ 16 ขยัก

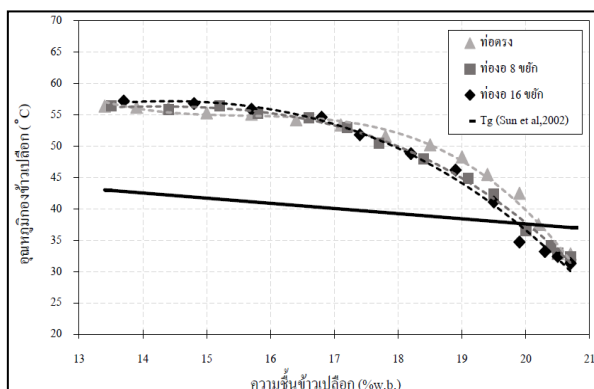
อุณหภูมิอากาศอบแห้งที่สูงขึ้นสามารถลด
การใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะลงได้ เนื่องจาก
อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกตลอดกระบวนการ
อบแห้งมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ Tg (37-43°C)
เกือบตลอดทั้งกระบวนการอบแห้ง ดังที่แสดงในรูปที่
9 ซึ่งอุณหภูมิเมล็ดที่อยู่ในช่วง 37-43°C อาจเรียกได้
ว่าเป็นช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนแก้ว (Glass Transition
Temperature, Tg) ของเมล็ดข้าว ซึ่งเมล็ดข้าวจะมี
การเปลี่ยนโครงสร้างในช่วงอุณหภูมินี้จากสภาพแก้ว
(Glassy State) ไปเป็นสภาพยาง (Rubbery State)
และการเปลี่ยนเป็นสภาพยางนี้จะทำให้เมล็ดข้าวมี

TSF-06

ความหนาแน่นน้อยลง ปริมาตรเพิ่มขึ้น จึงทำให้เมล็ดข้าวสามารถแพร่ความชื้นจากภายในเมล็ดสู่ที่ภายนอกได้ง่ายขึ้น ฉะนั้นอัตราการอบแห้งเมล็ดข้าวจึงสูงขึ้นตาม และทำให้สามารถลดพลังงานปฏุมภูมิจำเพาะสำหรับการอบแห้งได้อีก

การเพิ่มความเร็วอากาศในการอบแห้งทำให้พลังงานปฏุมภูมิจำเพาะสูงขึ้นได้ เนื่องจากความเร็วลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการเป่าพ่นเมล็ดให้เข้าสู่หอบแห้ง แต่ในขณะเดียวกันความเร็วลมก็มีส่วนในการเป่าพ่นอากาศร้อนทิ้งไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน จึงอาจทำให้ต้องสูญเสียพลังงานปฏุมภูมิจำเพาะส่วนหนึ่งกับการเป่าพ่นอากาศร้อนทิ้งไปด้วย

ผลของอุณหภูมิตลอดกระบวนการอบแห้งในกรณีการอบแห้งด้วยความเร็วอากาศอบแห้ง 16 m/s และอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80°C โดยแสดงผลของอุณหภูมิเทียบกับเส้นอุณหภูมิของ Glass Transition Temperature, T_g ของข้าวพันธุ์ Dew (Sun et al., 2002) [7] จากรูปพบว่าอุณหภูมิส่วนใหญ่ตลอดทั้งกระบวนการอบแห้งอยู่เหนือเส้นอุณหภูมิ T_g (37-43°C) เกือบทั้งหมดนั้นหมายถึงสภาพเมล็ดข้าวส่วนใหญ่มีสภาพคล้ายยางตลอดกระบวนการอบแห้ง ยกเว้นช่วงแรกเริ่มของการอบแห้งเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่มีสภาพคล้ายแก้ว และสภาพคล้ายยางที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นกับทุกเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง ดังที่ได้แสดงตัวอย่างในรูปที่ 9



รูปที่ 9 อุณหภูมิข้าวเปลือกขณะลดความชื้นเทียบกับอุณหภูมิ T_g เมื่อใช้ความเร็วอากาศอบแห้ง 16 m/s, อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80°C

4.6 อิทธิพลของท่ออบแห้งอบแห้งที่มีผลต่อ

พลังงานปฏุมภูมิจำเพาะ

การวิเคราะห์ผลการทดลองในหัวข้อนี้เมื่อพิจารณาตามรูปที่ 7 และ 8 ชนิดของท่ออบแห้งที่ใช้เป็นหอบแห้งข้าวเปลือกมีผลต่อพลังงานปฏุมภูมิจำเพาะดังนี้

เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นท่อ 16 ขยัก พบว่ามีการใช้พลังงานปฏุมภูมิจำเพาะต่ำ กว่าหอบแห้งที่เป็นท่อ 8 ขยัก เนื่องจากการเพิ่มขยักหรือเพิ่มช่องให้กับท่ออบแห้งนั้นเป็นการเพิ่มระยะทางของหอบแห้งให้ยาวขึ้น และถึงแม้ว่าระยะทางของหอบแห้งที่เป็นท่อ 16 ขยัก กับท่อ 8 ขยัก จะมีระยะทางรวมของหอบแห้งที่เท่ากัน แต่ลมร้อนที่เป็นอากาศอบแห้งที่ถูกเป่าเข้าไปยังหอบแห้งที่เป็นท่อ 16 ขยัก มีความปั่นป่วนมากกว่า หอบแห้งที่เป็นช่อง 8 ขยัก อันเนื่องมาจากลมร้อนที่ถูกเป่าเข้าไปในท่ออบแห้งจะกระทบกับช่องในท่ออบแห้ง ทำให้เกิดลมร้อนปั่นป่วนเป็นจำนวนมากในท่อ 16 ขยัก ดังนั้นประสิทธิภาพของการใช้อากาศอบแห้งที่ดีจึงเกิดขึ้นกับกับการอบแห้งที่หอบแห้งที่เป็นท่อ 16 ขยัก มากกว่าท่อ 8 ขยัก จึงส่งผลต่อการใช้พลังงานปฏุมภูมิจำเพาะในการอบแห้ง

5. สรุป

ผลการทดลองพบว่า ความร้อนและความเร็วอากาศอบแห้งที่เพิ่มขึ้นทำให้การอบแห้งรวดเร็วขึ้น อีกทั้งการเพิ่มขยักท่ออบแห้งจาก 8 เป็น 16 ขยัก ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น รวมทั้งสามารถลดการใช้พลังงานลงได้อีกด้วย ซึ่งจากการทดลองการอบแห้งที่รวดเร็วที่สุดและให้อัตราการอบแห้งสูงสุดเกิดขึ้นที่ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120°C ความเร็วอากาศอบแห้ง 16 m/s และใช้หอบแห้งที่เป็นช่อง 16 ขยัก ส่วนพลังงานปฏุมภูมิจำเพาะที่ต่ำสุดของการทดลองมีค่าประมาณ 3.87 MJ/kg น้ำที่ระเหย เกิดขึ้นที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120°C ความเร็วอากาศอบแห้ง 14 m/s และใช้หอบแห้งที่เป็นช่อง 16 ขยัก

TSF-06

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2450). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [2] จัตรชัย นิยมมล (2555). ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้หอบแห้งชนิดท่อเกลียว, วารสาร มช. ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 (97-109).
- [3] เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว, สุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ และ ทวีช จิตรสมบุญ (2551). ผลของความเร็วดำอากาศต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีข้าวหล่นอิสระอย่างต่อเนื่อง, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22. 15-17 ตุลาคม 2551, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
- [4] ทวีช จิตรสมบุญ, ไตรภา แฉงการ และ เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว (2549). เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ : รวดเร็วและประหยัดพลังงาน, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. 27-29 กรกฎาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- [5] ธนรัตน์ วิจิตรนสาร, วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง และ กิตติสถาพร ประสาทน (2554). การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสนทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 25. 19-21 ตุลาคม 2554, จังหวัดกระบี่
- [6] สุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ และ ทวีช จิตรสมบุญ (2552). เครื่องอบแห้งแบบหล่นอิสระ : เงื่อนไขการอบแห้งที่ให้คุณภาพข้าวสารที่ดี, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23. 4-7 ตุลาคม 2552, จังหวัดเชียงใหม่
- [7] Sun, Z., W. Yang, A. M. Stelwagen, T.J. Siebenmorgen, and A.G. Cnossen. (2002). Thermomechanical transitions of rice kernels. Cereal Chemistry. 79(3) : 349-353.

- [8] A.G. Cnossen, T.J. Siebenmorgen and W. Yang. (2002). The glass transition temperature concept in drying and tempering : effect of drying rate. American Society of Agricultural Engineering (ASAE). 45(3) : 759-766.
- [9] Somkiat Prachayawarakom, Samart Ruengnarong and Somchart Soponronnarit (2006). Characteristic of heat transfer in two-dimensional spouted bed, International Journal of Food Engineering Research, Vol. 76, pp. 327-333.

7. สัญลักษณ์

- Q = พลังงานความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิให้อากาศ, MJ
- E = อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานปฏิกิริยาจำเพาะ, MJ/kg น้ำที่ระเหย
- w = มวลข้าวเปลือก, kg
- $M_{1,2}$ = อัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือกก่อนและหลัง, kg/kg
- $\bar{M}$ = อัตราการอบแห้งเฉลี่ย, % w.b./sec
- M_i = อัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น, kg/kg
- M_f = อัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือกสุดท้าย, kg/kg
- m_a = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง, kg/s
- $\bar{V}$ = ความเร็วดำอากาศเฉลี่ยตลอดหน้าตัดเครื่องอบแห้ง, m/s
- A = พื้นที่หน้าตัดของท่ออบแห้ง, m²
- ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศอบแห้งเฉลี่ย, kg/m³
- c_a = ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้งเฉลี่ย, kJ/kg-K
- c_v = ความร้อนจำเพาะของไอน้ำในอากาศเฉลี่ย, kJ/kg-K
- W_a = ความชื้นสัมบูรณ์อากาศที่ทางเข้าเครื่องทำความร้อน, kg/kg dry air
- t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, sec.
- t_{total} = เวลา รวมของกระบวนการอบแห้งตลอดช่วงที่พิจารณา, sec.
- T_{out} = อุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องทำความร้อน, °C
- T_{in} = อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทำความร้อน, °C