SWU Engineering Journal (2014) 9(1), 28-35
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน พ.ศ.2557

ผลกระทบของกระแสความเร็วของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

Influences of Flow Velocity of Hot Air to Moisture Content Reduction of Paddy in Must Flow Paddy Dryer

พิรสิทธิ์ ทวยนาค มณฑล ชูโชนาค มุสตาฟา ยะภา ประชา บุณยวานิชกุล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
63 หมู่ที่ 7 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
E-mail: pirasit_me07@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งหมายศึกษาผลกระทบของกระแสความเร็วของอากาศร้อนที่มีต่อผลต่อการลดความชื้นของข้าวเปลือกสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล (Must Flow Dryer) โดยทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกซึ่งมีระดับความชื้นเริ่มต้นที่ 22 %wb โดยใช้กระแสความเร็วของอากาศร้อนตั้งแต่ 1.5, 1.8, 2.0 และ 2.3 m/s และอุณหภูมิของอากาศร้อน 100 ºC จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 ºC นั้นค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยระดับกระแสความเร็วของอากาศร้อนทั้งสี่ระดับมีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณ 18 %wb ใช้พลังงานเฉลี่ย 22.25 MJ/hr สามารถระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้ 8 kg-water/hr และยังพบว่าในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลนั้นการกระจายของความชื้นหลังจากการอบแห้งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและน่าพอใจ

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งมัสท์โฟล, การอบแห้งข้าวเปลือก, กระแสความเร็วอากาศร้อน

ABSTRACT

This research aims to study influences of flow speed of the hot air to moisture content reduction inside paddy grain for Must Flow paddy dryer. Drying tests was conducted using paddy grain with initial moisture content of 21-23 %wb using different level of the flow velocity of the hot air from 1.5, 1.8, 2.0 and 2.3 m/s and the temperature of the hot air 100 ºC. Experimental results show that at 100 ºC of hot air temperature, the final moisture content of paddy dried at various level of air flow rate are nearly the same at about 18 %wb and average power 22.25 MJ/hr. with evaporated rate of water from the paddy 8 kg-water/hr. Also found in paddy drying process by Must Flow paddy dryer the distribution of moisture after drying was consistent and satisfied.

Keyword: Must Flow Dryer, Paddy Dried, Air Flow Speed

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยมาตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน โดยประเทศไทยสามารถปลูกข้าวได้ตลอดทั้งปีถ้าพื้นที่นั้นมีระบบชลประทานที่เพียงพอ ข้าวนอกจากจะเป็นอาหารหลักของคนไทยแล้ว ข้าวยังเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของ

ประเทศไทยด้วย การจัดเก็บข้าวเปลือกจำเป็นต้องมีการควบคุมความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เนื่องจากข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่นั้นโดยส่วนใหญ่ยังมีความชื้นสูง จึงต้องมีการค้นคว้าหาวิธีการลดความชื้นข้าวและจัดเก็บให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของข้าว หากความชื้นของข้าวเปลือกมีสูงเกินไป จะทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเน่าเสียได้ แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปอาจทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์และทำให้เมล็ดของข้าวเปลือกเกิดการแตกหักและเสื่อมคุณค่าทางอาหารได้

โดยปกติความชื้นของข้าวเปลือกขณะเก็บเกี่ยวจะอยู่ในช่วง 22-30 %wb ซึ่งความชื้นของข้าวเปลือกในช่วงนี้ทำให้คุณภาพของข้าวเปลือกอยู่ในเกณฑ์ดี ในอดีตเกษตรกรต้องนำข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้จากท้องนามาตากแดดเพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเก็บรักษา ซึ่งมักจะประสบกับปัญหาต่างๆ เช่น สภาพดิน ฟ้าอากาศ มีสัตว์มารบกวนและพื้นที่ตากแห้งไม่เพียงพอ ทำให้ข้าวเปลือกเกิดความสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ เนื่องจากการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยการตากแห้งข้าวเปลือกในลานตากแห้งนั้นใช้เวลานาน

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาคุณภาพของข้าวเปลือก ทำให้ได้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกรูปแบบต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำมาใช้ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกตามความต้องการโดยโดยใช้พื้นที่ในการอบแห้งที่น้อยกว่าและอัตราการลดความชื้นดีกว่าการใช้ลานตากแบบเดิม

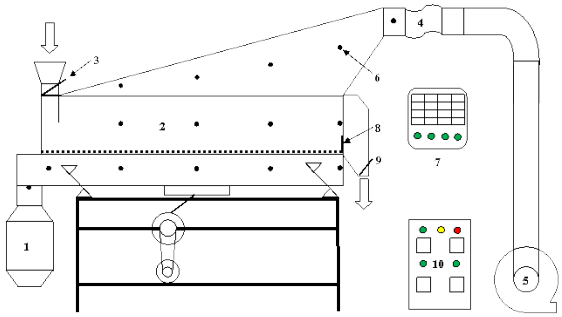
การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลดปริมาณลดความชื้นของข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง ที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาและออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเคลื่อนที่ในแนวราบโดยใช้ลมร้อนในการอบแห้ง โดยได้ศึกษาทั้งเชิงทฤษฎีและทดลองเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการลดปริมาณความชื้นแบบข้าวเปลือกเคลื่อนที่ในแนวราบที่เรียกว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานจริงในเชิงอุตสาหกรรม พร้อมทั้งมีการเปรียบกับวิธีการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบอื่นๆ เพื่อหาความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งผลการวิจัยต่างๆ มีดังต่อไปนี้ ในปี พ.ศ. 2536 อรอนงค์ ศรีพวาทกุล[1] ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชั่นที่ทำงานแบบต่อเนื่อง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ควบคู่ไปกับผลการทดลองที่อัตราการผลิตสูงโดยมีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ และข้าวที่ได้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 115 °C ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 30 %db เครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกจนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 24 %db โดยมีอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม 30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม 70% ความสูงของเบด 10 cm อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ 0.043 kg/s-kg dry matter อัตราการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ 80% มีอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ระเหยต่ำต่ออัตราการผลิตต่ำสุดโดยจะสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 7.9 MJ/kg dry matter มีค่าไว้จ่ายในการอบแห้ง 2.05 Baht/kg – water ในปี พ.ศ. 2537 มุสตาฟา ยะภา[2] ได้ทำการออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด อย่างต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวาง โดยออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่มีกำลังผลิต 1 ton/hr เพื่อให้เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรมในการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด อย่างต่อเนื่องชนิดอากาศไหลขวาง จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนี้พบว่าสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มต้นจาก 45 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 24 %db โดยกำหนดให้ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนาน 3 min อุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 100-120 °C ความสูงของข้าวเปลือก 11 cm อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.86 m^3/s ความเร็วของอากาศร้อนในห้องอบแห้งข้าวเปลือก 1.9 m/s อัตราการเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 66.7% ใช้กำลังไฟฟ้า 6.5 kW ใช้เชื้อเพลิงดีเซลเฉลี่ย 5.73 L/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 270 MJ/kg dry matter ที่ความสามารถในการระเหยน้ำได้ 140 kg-water/hr มี

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1.9 MJ/kg-water ในปี พ.ศ. 2555 มุสตาฟา ยะภา และณัฐวุฒิ ดุษฎี[3] ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่ในแนวราบโดยอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงให้เคลื่อนที่ในแนวราบและมีลมร้อนไหลตัดขวาง โดยมีกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่องขนาด 1 ton/hr ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น 23.75 %wb โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 80, 90, 100 °C ความเร็วของอากาศร้อนเฉลี่ย 5 m/s จะทำให้ข้าวเปลือกความชื้นสุดท้ายประมาณ 15.5 %wb ซึ่งสามารถจัดการสภาพของการเคลื่อนที่ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงในห้องอบแห้งให้มีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ ในปี พ.ศ. 2556 ณัฐพล มณีโชติและคณะ[5] ได้ศึกษาอิทธิพลของความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อความดันและความเร็วของกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลโดยใช้แผ่นกระจายอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิด 2 mm ใช้พัดลมดูดอากาศที่มีกำลังขับ 2 hp เพื่อดูดอากาศผ่านชั้นข้าวเปลือกที่มีความหนาตั้งแต่ 1-10 cm จากการทดสอบพบว่าเมื่อความหนาของชั้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นทำให้ผลต่างของความดันระหว่างภายในห้องอบแห้งและห้องผสมอากาศจะมีค่าสูงขึ้น โดยที่ความดันภายในห้องอบแห้งจะมีค่าลดต่ำลงเมื่อเพิ่มความหนาของชั้นข้าวเปลือก แต่ความดันภายในห้องผสมอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และความเร็วภายในห้องอบแห้งจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาของชั้นข้าวเปลือก แต่ความเร็วภายในห้องผสมอากาศจะมีค่าลดต่ำลง และในปีเดียวกันพิรสิทธิ์ ทวยนาคและคณะ[6] ได้ศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก(กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล) โดยทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกซึ่งมีระดับความชื้นเริ่มต้นที่ 21-23 %wb. โดยใช้อัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 0.04, 0.05, 0.06 และ 0.07 m^3/s และระดับอุณหภูมิของอากาศตั้งแต่ 80, 90 และ 100 ºC จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ระดับอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.05 m^3/s สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งได้สูงกว่าที่ระดับอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.04, 0.06 และ 0.07 m^3/s และที่ระดับอุณหภูมิการอบแห้ง 100 ºC สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งได้สูงกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 90 และ 80 ºC

วิธีการลดความชื้นข้าวเปลือกที่นิยมใช้กันและมีประสิทธิภาพในการอบแห้งสูงนั้นโดยส่วนใหญ่จะเป็นการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนไหลผ่านวัสดุแบบบังคับซึ่งรูปแบบมีทั้งแบบเมล็ดพืชกับลมร้อนไหลตามกัน ไหลสวนทางกัน และแบบไหลตัดขวางกัน โดยที่การไหลแบบตัดขวางนั้นได้รับการพัฒนาเป็นเครื่องอบแห้งทำงานอย่างต่อเนื่องหลายรูปแบบ อาทิ เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิไดซ์เบด สเปาเต็ดเบด และแบบ LSU ซึ่งกำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากสามารถอบแห้งข้าวเปลือกได้รวดเร็ว และคุณภาพของข้าวสารที่ได้หลังจากการอบแห้งเป็นที่ยอมรับได้ในระดับอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกในเครื่องอบดังกล่าวจะใช้ลมร้อนเป่าผ่านข้าวเปลือกอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความชื้นซึ่งทำให้ระยะเวลาที่ลมร้อนสัมผัสกับข้าวเปลือกสั้น จึงเกิดการสิ้นเปลืองพลังงานมาก และหากใช้ความเร็วลมสูงเกินไปจะทำให้เกิดการไหลของข้าวเปลือกในลักษณะเป็นก้อนและเกิดการหลุดออกนอกห้องอบแห้งได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจในการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกอย่างต่อเนื่องในแนวราบโดยมีลมร้อนไหลตัดขวางในแนวดิ่งด้วยการดูดจากทางออกโดยพัดลมดูดอากาศ และตัวห้องอบแห้งจะมีการขยับขึ้นลงเป็นจังหวะทำให้ข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่และเกิดช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าว ซึ่งทำให้อากาศร้อนไหลผ่านและคลุกเคล้ากับเมล็ดข้าวเปลือกได้ดียิ่งขึ้น โดยมีการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งน้อยลงและข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการมีคุณภาพมากขึ้น ซึ่งคณะผู้วิจัยเล็งเห็นว่าเครื่องอบแห้งในลักษณะดังกล่าวมีศักยภาพเหมาะสมสำหรับการใช้งานและสามารถพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเครื่องอบที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาผลของกระแสความเร็วของอากาศร้อนที่มีผลต่ออัตราการลดความชื้นของ

ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลในระดับห้องปฏิบัติการ

2. ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องอบข้าวแบบมัสท์โฟล (Must Flow Dryer)

1. Heat Source(แหล่งกำเนิดความร้อน)
2. Drying Chamber(ห้องอบแห้ง)
3. Paddy Feed Port(วาล์วคุมการป้อนข้าวเปลือก)
4. Flexible Tube(ข้อต่ออ่อน)
5. Suction Blower(พัดลมดูดอากาศ)
6. Thermocouple(ตัววัดอุณหภูมิ)
7. Data Logger(เครื่องบันทึกอุณหภูมิ)
8. Weir(ตัวควบคุมความหนาของชั้นข้าวเปลือก)
9. Paddy Discharge Port (วาล์วควบคุมทางออกข้าวเปลือก)
10. Electrical Control Switch(ตู้ควบคุมไฟฟ้า)

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล ทำงานโดยการใช้พัดลมดูดอากาศร้อนจากห้องเผาไหม้ที่ได้จากหัวแก๊สทางด้านล่างของห้องอบแห้งแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีห้องผสมอากาศเพื่อผสมอากาศร้อนกับอากาศภายนอกเข้าด้วยกัน โดยมีการควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ทางออกของอากาศและมีการควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งที่ภายในห้องผสมอากาศ จากนั้นลมร้อนจะไหลผ่านชั้นของข้าวเปลือกที่ตกลงมาจาก Hopper ในแนวดิ่งที่อยู่บนตะแกรงแนวระนาบ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสาร พัดลมจะดูดอากาศร้อนและความชื้นออกไปจากห้องอบแห้ง ข้าวที่ตกลงมาจาก Hopper โดยอิสระด้วยแรงโน้มถ่วงโดยมีลมร้อนไหลผ่านข้าวเปลือกและข้าวเปลือกจะเคลื่อนที่ในแนวราบไปตามแผ่นตะแกรง เมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำก็จะกระโดดข้ามแผ่นกั้น Weir และตกลงไปที่ทางออกของห้องอบแห้ง สำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลนี้จะใช้วิธีการอบแห้งด้วยการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในห้องอบแห้งบนแผ่นตะแกรงแนวระนาบระหว่างลมร้อนและเมล็ดข้าวเปลือกโดยวิธีการพาแบบบังคับและการนำความร้อน โดยเมล็ดข้าวเปลือกจะอยู่อย่างหนาแน่นภายในห้องอบแห้งแล้วอากาศร้อนจะค่อยๆ ผ่านช่องว่างของเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นไปด้านบน ลักษณะการขยับตัวของเมล็ดข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งจะดีกว่าเครื่องอบแห้งที่มีอยู่ในท้องตลาดทั่วไป คือเมล็ดข้าวเปลือกจะเดินหน้าสม่ำเสมอมีช่องว่างเมล็ดข้าวสม่ำเสมอและความพรุนสูงทำให้พื้นที่สัมผัสในการถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดขึ้นรอบเมล็ดข้าวเปลือกเนื่องจากความเร็วผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับเมล็ดข้าวเปลือกในห้องอบแห้งที่มีค่าสูงจึงทำให้อัตราการลดความชื้นมีค่าสูงตามด้วย

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ความชื้น

ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชประกอบไปด้วยปริมาณความชื้นภายนอกเมล็ดและปริมาณความชื้นภายในเมล็ด การหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้นทำได้โดยการย่อยเมล็ดพืชให้มีขนาดเล็กลงและทำการลดปริมาณความชื้นเมล็ดด้วยความร้อนจนกระทั่งเมล็ดพืชแห้ง ปริมาณน้ำหนักที่หายไปก็คือค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชนั้น วิธีการลดปริมาณความชื้นด้วยความร้อนในเมล็ดพืชแต่ละชนิดจะมีวิธีการและมาตรฐานที่ต่างกัน เปอร์เซ็นต์ความชื้นมี 2 แบบคือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก(%wb) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง(%db)

$$M_w = \frac{w - d}{w}(100\%) = (\%wb) \quad (1)$$

$$M_d = \frac{w - d}{d}(100\%) = (\%db) \quad (2)$$

เมื่อ w = น้ำหนักเปียก, %wb
d = น้ำหนักแห้ง, %db
M = ปริมาณความชื้น, %

3.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและมวล (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2535)[4]

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิถ้าของไหลที่บริเวณขอบเขตนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวของเมล็ดของแข็ง ความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณขอบเขตสู่บริเวณผิวของเมล็ดของแข็ง การถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวของของแข็งเป็นแบบการนำความร้อน ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Fourier คือ

$$q = -kA\frac{dT}{dx} \quad (3)$$

เมื่อ q = อัตราการถ่ายเทความร้อน, watt/m^2
k = สภาพการนำความร้อนของของไหล, watt/m-^{o}C
T = อุณหภูมิของของไหล, ^{o}C

การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการถ่ายเทแบบบังคับระหว่างขอบเขตจำกัดกับกระแสของไหล มักเขียนเป็นสมการทั่วไปของระบบที่ความร้อนจากของแข็งถูกพาไปในกระแสของไหลได้ว่า

$$q = hA(T_\infty - T_s) \quad (4)$$

เมื่อ h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
T_s = อุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดของแข็ง, ^{o}C
T_∞ = อุณหภูมิกระแสของไหล, ^{o}C

ทฤษฎีการถ่ายเทมวล

ปริมาณการถ่ายเทมวลนั้นย่อมขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ของความเข้มข้นของสารที่ใดมีมวลมากกว่าก็จะกระจายไปหรือเดินทางไปยังที่ความเข้มข้นมากกว่า ซึ่งจากกฎของการอนุรักษ์มวลสามารถเขียนเป็นสมการได้(Broker et al. 1992)[5]

$$\dot{m}_p = \frac{dM}{dL} = \dot{m}_f \frac{d(RH)}{dL} \quad (5)$$

เมื่อ $\dot{m}_p$ = อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของข้าวเปลือก,
$\dot{m}_f$ = อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของอากาศชื้น,
M = ปริมาณความชื้น, %wb
RH = ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, %
L = ความยาวห้องอบแห้ง, m

ทฤษฎีการวิเคราะห์การใช้พลังงาน

ในส่วนของการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการลดความชื้นของข้าวเปลือกต่ออัตราการระเหยน้ำออกจากข้าวเปลือกหนึ่งหน่วยของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล โดยกำหนดพารามิเตอร์เพื่อเป็นเกณฑ์ในการศึกษา คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$SEC = \frac{E_{electric} + E_{thermal}}{m_w} \quad (6)$$

เมื่อ $E_{electric}$ = ปริมาณพลังงานไฟฟ้า, MJ
$E_{thermal}$ = ปริมาณพลังงานความร้อน, MJ
m_w = ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg

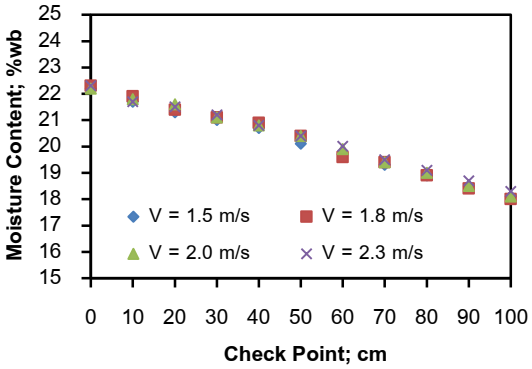
4. วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลจากการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลดังแสดงในรูปที่

2 จะเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการเก็บตัวอย่างการอบแห้งข้าวเปลือกจากห้องอบแห้งที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกอย่างต่อเนื่องภายในห้องอบแห้ง

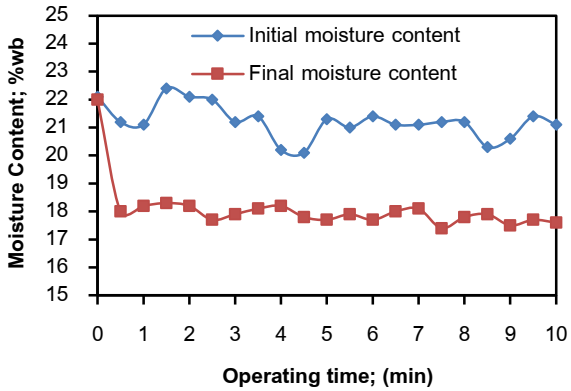
รูปที่ 2 แสดงการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้ง

จากการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบจะได้กราฟดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 อิทธิพลของกระแสความเร็วของอากาศร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องอบแห้งแบบมัสท์โฟลที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 °C

รูปที่ 3 เป็นกราฟแสดงอิทธิพลของกระแสความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวเปลือก ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องอบแห้ง โดยใช้กระแสความเร็วของอากาศร้อน 1.5, 1.8, 2.0 และ 2.3 m/s ในช่วงความยาวของห้องอบแห้ง 100 cm จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของข้าวเปลือกลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงระยะเริ่มต้นของการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้รับความร้อนและมีการเคลื่อนที่ในแนวราบบนแผ่นกระจายอากาศ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นตลอดการอบแห้ง โดยพบว่าที่ระดับกระแสความเร็วของอากาศร้อนต่างๆ นั้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 °C ความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 21-23 %wb ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 18 %wb



รูปที่ 4 แสดงความสม่ำเสมอของการลดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ได้หลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลโดยยกตัวอย่างมาเป็นเวลา 10 นาที จะทำการเก็บตัวอย่างของข้าวเปลือกในhopper(ทางเข้า) และ ทางออกของเครื่องอบแห้งทุกๆ 1 min โดยที่ค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกนั้นจะมีค่าที่ไม่เท่ากันก็ตามแต่จะให้ผลของข้าวเปลือกที่หลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลให้ออกมามีค่าความชื้นสุดท้ายที่สม่ำเสมอกัน

ตารางที่ 1 แสดงการใช้พลังงานสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล

Electrical Energy; (MJ/hr)	2.16
Heat Energy; (MJ/hr)	20.09
Energy Consumption; (MJ/hr)	22.25
Evaporated Water; (kg/hr)	8
SEC; (MJ/kg)	2.78

จากตารางที่ 1 แสดงการใช้พลังงานสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลโดยทำการอบแห้งข้าวเปลือก 200 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 1 hr จากข้อมูลพบว่ามีการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 22.25 MJ/hr โดยแยกเป็นพลังงานไฟฟ้า 2.16 MJ/hr และพลังงานความร้อน 20.09 MJ/hr สามารถคิดเป็นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะรวม 2.78 MJ/kg

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษากระแสความเร็วของอากาศร้อนสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล (Must Flow) เพื่อศึกษาอิทธิพลกระแสความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งที่มีผลต่อความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งพบว่าที่ระยะต่างๆ บนแผ่นกระจายอากาศภายในห้องอบแห้งค่าความชื้นของข้าวเปลือกลดลงอย่างต่อเนื่องโดยในระยะเริ่มต้นข้าวเปลือกจะได้รับพลังงานความร้อนและมีการเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกในแนวราบบนแผ่นกระจายอากาศ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารขึ้นตลอดการอบแห้ง โดยที่การอบแห้งข้าวเปลือกระดับอุณหภูมิอบแห้ง 100 ºC ที่ทุกๆ ระดับกระแสความเร็วของอากาศร้อน จะให้ค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ใกล้เคียงกันที่ระดับความชื้น 18 %wb จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 22 %wb และข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลนี้จะทำให้การกระจายของความชื้นหลังการอบแห้งมีผลใกล้เคียง โดยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟลนี้จะใช้พลังงานเฉลี่ย 22.25 MJ/hr สามารถระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้ 8 kg-water/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะรวม 2.78 MJ/kg-water

6. กิตติกรรมประกาศ

วารสารฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประจำปี 2556 ผ่านสัญญารับทุนเลขที่ 447/2556 และทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ชื่อทุน “ทุนการศึกษาเพื่อทำปริญญานิพนธ์ (GRAD S-1-57)” และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพฯและบริษัท มัสตะเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ที่ได้สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

7. อักษรย่อและสัญลักษณ์

d น้ำหนักแห้ง, (kg)

$E_{electric}$ ปริมาณพลังงานไฟฟ้า, (MJ)

$E_{thermal}$ ปริมาณพลังงานความร้อน, (MJ)

h สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, (W/m^2-ºC)

k สภาพการนำความร้อนของของไหล, (W/m-ºC)

L ความยาวห้องอบแห้ง, (m)

M ปริมาณความชื้น, (%)

M_w ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก, (%wb)

M_d ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง, (%db)

m_w ปริมาณน้ำที่ระเหย, (kg)

$\dot{m}_p$ อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของข้าวเปลือก, (kg/s)

$\dot{m}_f$ อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของอากาศชื้น, (kg/s)

q อัตราการถ่ายเทความร้อน, (W)

RH ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (%)

T อุณหภูมิของของไหล, (ºC)

T_s อุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดของแข็ง, (ºC)

T_∞ อุณหภูมิกระแสของไหล, (ºC)

w น้ำหนักเปียก, (kg)

8. เอกสารอ้างอิง

[1] อรอนงค์ ศรีพวาทกุล. *การอบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิไดซ์เบดอย่างต่อเนื่อง*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. วิศวกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2536).

[2] มุสตาฟา ยะภา. *การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่องขนาดต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรม*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. เทคโนโลยีพลังงาน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2537).

[3] มุสตาฟา ยะภา และณัฐวุฒิ ดุษฎี. “ต้นแบบเครื่องอบแห้งลักษณะข้าวเปลือกเคลื่อนที่แนวราบ”. *ประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 11*. มีนาคม/2555. จันทบุรี : (2555).

[4] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2535).

[5] ณัฐพล มณีโชติและคณะ. “อิทธิพลของความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่อความดันและความเร็วของกระแสอากาศในเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟล”. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 27*. 16-18/ตุลาคม/2556. ชลบุรี : 251, (2556).

[6] พิรสิทธิ์ ทวยนาคและคณะ. “ผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก (กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล)”. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 27*. 16-18/ตุลาคม/2556. ชลบุรี : 243, (2556).

[7] Broker, D. B., Bakker-Arkema, F. W., and Hall, C. W., “Drying and Storage of Grains and Oilseeds,” *AVI Book Publishing*, New York, 1992.

[8] Bunyawanichakul P.; Walker G.H.; Sargison J.E.; Doe P.E. Modelling and Simulation of Paddy Grain(Rice) Drying in a Simple Pneumatic Dryer. PH-Postharvest Techonlogy, (2006).