

การอบแห้งข้าวเปลือก พันธุ์ กข. 10 ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด *

มานิต สุจำนงค์¹⁾ วัชรินทร์ ดงบัง²⁾ และ กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย³⁾

¹⁾ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

²⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

³⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Email: mansuj@kku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ เป็นการเสนอการศึกษาการอบแห้งของเมล็ดข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้เมล็ดข้าวเปลือก พันธุ์ กข. 10 ความเร็วลมร้อนที่ใช้อย่าง 5.25 m/s และมีการเวียนลมร้อนหลังการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 80% อุณหภูมิลมร้อนที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 70 , 80 และ 90°C การอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกมีเงื่อนไขคือ ความหนาของเบดประมาณ 8.5 cm ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้น 24.6% wet basis (wb) ความชื้นสุดท้าย 19% wet basis ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้ง มีอิทธิพลต่อระยะเวลาการอบแห้ง อัตราการระเหยน้ำ และ ค่าใช้จ่ายในการระเหยน้ำ กล่าวคือ ที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 70 - 90°C ใช้ระยะเวลาอบแห้งลดลงจาก 3.7 ถึง 1.9 min อัตราการระเหยน้ำ 3.667 - 6.947 kg water evap/h และค่าใช้จ่ายในการระเหยน้ำลดลงจาก 1.51 เป็น 0.84 baht/kg water evap และข้อมูลของการทดลองถูกนำมาพิจารณาหาสหสัมพันธ์ เพื่อใช้ในการทำนายการอบแห้งของข้าวเปลือก พันธุ์ กข.10 โดยใช้แบบจำลองของ Page

คำสำคัญ : การอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือก, ฟลูอิดไดซ์เบด

Drying Paddy Using Fluidized Bed Technique *

Manit Sujumnong ¹⁾ Watcharin Dongbang ²⁾ and Kittichai Trirattanasirichai ³⁾

¹⁾ Lecturer, Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

²⁾ Graduated Student, Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

³⁾ Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

Email: mansuj@kku.ac.th

Abstract

This research revealed the study of a fluidized bed paddy drying system. A hot-air-recycled dryer of 80 % was employed. Experimental results illustrated that the air-input velocity of 5.25m/s induced the fluidize bed. The drying system applied 3 levels of air-input temperature, namely 70 , 80 and 90°C. For paddy, the bed hight of 8.5 cm , with initial moisture content 24.6%, wet basis, the final grain moisture content dropped to 19%, wet basis. The experimental results also yielded that the air-input temperature of drying affected drying time, water evaporation rate and operational cost. When the temperature of drying air increased from 70 to 90°C at final 19% wet basis moisture content, drying time reduced from 3.7 to 1.9 minutes , water evaporation rate increased from 3.667 to 6.947 kg water evap./h and operational cost reduced from 1.51 to 0.84 baht/kg water evap. From experimental data, the relation between moisture ratio ($\overline{MR}$) versus drying time (t) and air-input temperature (T) were correlated using Page's model.

Keywords : Fluidization. Paddy Drying

*

Original manuscript submitted: October 25, 2004 and Final manuscript received: November 30, 2004

บทนำ

การรักษาคุณภาพเมล็ดข้าวเปลือกให้ได้มาตรฐาน หลังจากนวดและทำความสะอาดเมล็ดแล้ว จึงจำเป็นต้องนำข้าวเปลือกไปตากอีกครั้งหนึ่งใช้เวลาประมาณ 3 ถึง 4 แดดก่อนที่จะเอาไปเก็บไว้ในยุ้งฉาง ทั้งนี้เพื่อให้ได้เมล็ดข้าวเปลือกที่แห้ง และมีความชื้นของเมล็ดประมาณ 15% wet basis ซึ่งวิธีการดังกล่าวจึงเป็นข้อจำกัดในช่วงฤดูฝน จึงได้มีการศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งเมล็ดพืช ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดโดย เฉพาะเมล็ดพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ ข้าวเปลือก Soponronnarit (1994) ซึ่งศึกษาแนวทางการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด และ Poomsa-ad (1999) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ร่วมกับการเก็บเมล็ดข้าวเปลือกในที่อับอากาศ และการระบายความร้อนจากเมล็ดข้าวเปลือก นอกจากนี้ข้าวเปลือกแล้วยังมีการประยุกต์ ใช้กับการอบแห้งเมล็ดพืชชนิดอื่นๆ กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย และ กิตติสิทธิประภาพร (2545) ได้ศึกษาการจำลองและการทดลองการอบแห้งพริกแบบชั้นบางด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด และ วรเมธ ทัดทอง (2546) ได้ศึกษาการอบแห้งเมล็ดกาแฟสดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด วัชรินทร์ ดงบัง และ คณะ (2547.ก) ได้ศึกษาการอบแห้งฝักถั่วลิสงด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด และ วัชรินทร์ ดงบัง และ คณะ (2547.ข) ได้ศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เป็นต้น

แม้ว่าจะมีการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกมากพอสมควร แต่ข้อมูลใหม่และการพัฒนาสหสัมพันธ์ยังเป็นสิ่งจำเป็นในการพัฒนาโดยรวมของการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบชั้นบาง โดยเฉพาะสมการอบแห้งแบบชั้นบางของข้าวเปลือกในช่วงอุณหภูมิ 70 – 90°C ซึ่งเป็นการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิต่ำ เพื่อลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารและเพิ่มราคาขายของข้าวเปลือก ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งข้าวเปลือก โดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบเป็นวงวน และหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น เพื่อการทำนายความชื้นของการอบแห้ง

ทฤษฎี

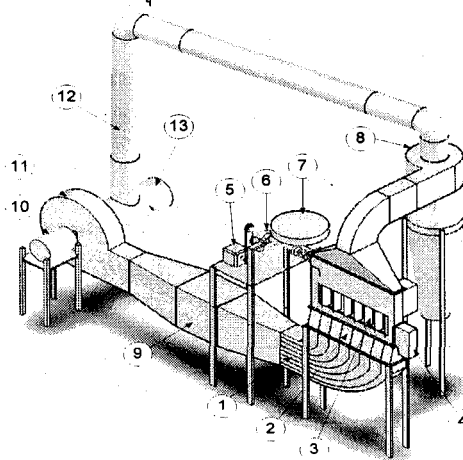
การอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เป็นการเป่าลมร้อนผ่านเมล็ดข้าวเปลือกที่ต้องการลดความชื้น ซึ่งจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวล (ในรูปของความชื้น) ระหว่างลมร้อนและเมล็ดข้าวเปลือก เมื่อลมร้อนไหลผ่านเมล็ดข้าวเปลือกไปแล้วจะมีอุณหภูมิลดลง แต่อัตราส่วนความชื้นจะเพิ่มขึ้น (สมชาติ โสภณ-รณฤทธิ์ , 2540) เมื่อพิจารณาแผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric Chart) กระบวนการดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีของอากาศชื้นน้อยมาก จนมักจะสมมุติกันว่าการอบแห้งเกิดขึ้นภายใต้กระบวนการเอนทัลปีคงที่ ในการอบแห้งเมล็ดพืชโดย เฉพาะการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด มักจะพบวาลมร้อนที่ใช้แล้วยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ และความชื้นสัมพัทธ์ยังไม่สูงนัก ดังนั้นจึงมีการนำเอาลมร้อนบางส่วนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาผสมกับอากาศจาก

ภายนอกแล้วจึงทำให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการทำการอบแห้ง
พลังงานได้

ซึ่งจะช่วยให้เกิดการประหยัด

เครื่องมือและวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบเครื่องอบแห้ง โดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดในระดับห้องปฏิบัติการ ขดลวดไฟฟ้าขนาด 5 kW เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับลมขาเข้าชุดทดลอง ใช้พัดลมแบบแรงเหวี่ยง หนีศูนย์กลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 cm ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า ความเร็วรอบ 2,000 rpm เป็นชุดส่งลมร้อนเพื่อใช้ในห้องอบแห้ง มีการเวียนลมร้อนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 80% รูปที่ 1 แสดงให้ทราบถึงองค์ประกอบโดยรวมของชุดทดลองการอบแห้ง



รูปที่ 1 ชุดทดลองการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งมีดังนี้

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. ชุดจ่ายลมร้อนทั้งหมด 8 ช่องทาง | 2. หัวฉีดลมร้อนมี 8 ช่องทาง |
| 3. ใบควบคุมทิศทางลม (Draft Plate) 8 แผ่น | 4. จุดปล่อยเมล็ดพืชออก |
| 5. เกียร์ทดรอบเครื่องป้อนเมล็ดพืช | 6. มอเตอร์เครื่องป้อนเมล็ดพืช |
| 7. กระพ้อป้อนเมล็ดพืชเข้าเครื่องป้อน | 8. เครื่องแยกฝุ่น (Cyclone) |
| 9. ขดลวดไฟฟ้าขนาด 5,000 W | 10. มอเตอร์สำหรับพัดลม |
| 11. พัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง | 12. ท่ออากาศเวียนกลับ |
| 13. ท่ออากาศภายนอก | |

อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิของลมร้อนชนิด Hot-Wire Anemometer ค่าความถูกต้อง $\pm 1^{\circ}\text{C}$
2. เครื่องมือวัดความเร็วของลมร้อนชนิด Hot-Wire Anemometer ค่าความถูกต้อง $\pm 2\%$
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก ค่าความถูกต้อง $\pm 0.02\text{g}$
4. เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน ค่าความถูกต้อง $\pm 2\%$
5. นาฬิกาจับเวลาที่มีความละเอียด 0.01 วินาที

การตรวจวัดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก

ตรวจวัดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกด้วยวิธีการตามมาตรฐาน ASAE (1989.A) โดยการสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกในห้องอบแห้งทุก ๆ 30 วินาที ด้วยปริมาณ 25 g สำหรับการคำนวณค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก มีสมการในการคำนวณหาค่าความชื้นดังนี้

$$M = \frac{(m_{in} - m_f)}{m_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ	M	คือ ความชื้นในเมล็ดพืช (% wet basis)
	m_{in}	คือ มวลเริ่มต้นของเมล็ดพืช (g)
	m_f	คือ มวลสุดท้ายของเมล็ดพืช (g)

สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ความชื้นในหน่วย ความชื้นตามมาตรฐานเปียก (wet basis) เนื่องจากเป็นหน่วยที่นิยมใช้กันในเชิงพาณิชย์ สำหรับการเปลี่ยนหน่วยจากความชื้นตามมาตรฐานเปียก เป็นความชื้นตามมาตรฐานแห้ง (dry basis) สามารถคำนวณได้ด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

$$M_d = \frac{M}{(1 - M)} \quad (2)$$

เมื่อ	M_d	คือ ความชื้นตามมาตรฐานแห้ง (% dry basis)
	M	คือ ความชื้นตามมาตรฐานเปียก (% wet basis)

สมการอบแห้งแบบชั้นบาง

สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2540) ได้เสนอรูปแบบการวิเคราะห์และกำหนดความสัมพันธ์พื้นฐานของการอบแห้งเมล็ดพืช โดยประยุกต์จากหลักการเป็นตัวของ Newton ไว้ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_{eq}) \quad (3)$$

เมื่อกำหนดเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ ที่สภาวะเริ่มต้น $M(0) = M_{in}$ และ ที่เวลาใดๆ $M(t) = M$ โดยกำหนดให้

$$\overline{MR} = \frac{M - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (4)$$

จัดรูปสมการที่ (1) ใหม่ได้

$$\overline{MR} = \exp(-kt) \quad (5)$$

เมื่อ	$\overline{MR}$	คือ อัตราส่วนการลดความชื้น
	M_{in}	คือ ความชื้นเริ่มต้นเมล็ดพืช (% wet basis)
	M	คือ ความชื้นของเมล็ดพืช ณ เวลาใดๆ (% wet basis)
	M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุลเมล็ดพืช (% wet basis)
	t	คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (min)
	k	คือ ค่าคงที่ของแบบจำลอง

นอกจากนี้แล้วยัง พบว่า Page (1949) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยพัฒนาจากสมการ (3) ซึ่งมีรูปแบบดังสมการที่ (4) โดยที่ x และ y คือ ค่าคงที่ของสมการ และ t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

$$\overline{MR} = \exp(-xt^y) \quad (6)$$

สำหรับค่าความชื้นสมดุล M_{eq} ของเมล็ดข้าวเปลือกนั้น คำนวณได้จากสมการตามมาตรฐาน ASAE(1989.B) ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$M_{eq} = \frac{1}{100} \left\{ \frac{\ln(1 - RH)}{-K(T + C)} \right\}^{1/N} \quad (7)$$

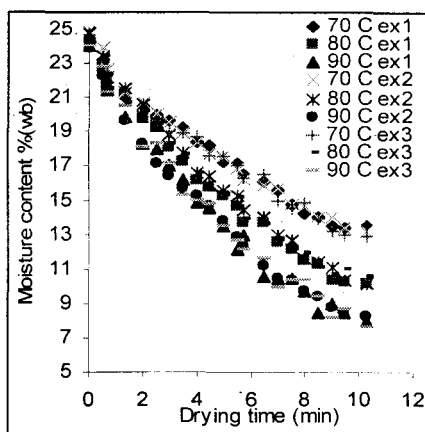
โดยค่าความชื้นสมมูลที่คำนวณได้มีหน่วยเป็นมาตรฐานแห้ง ก่อนนำไปแทนค่าในสมการ (4) ต้องเปลี่ยนหน่วยเป็นมาตรฐานเปียกก่อน สำหรับ RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน T คือ อุณหภูมิของลมร้อน ($^{\circ}\text{C}$) ส่วนค่าคงที่ของเมล็ดข้าวเปลือก K, C และ N มีค่าเท่ากับ 1.9187×10^{-5} , 2.4451 และ 51.161 ตามลำดับ

เงื่อนไขในการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือก

การอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือก พันธุ์ที่ศึกษาคือ กข. 10 (ข้าวเหนียว) ความเร็วลมร้อนที่ใช้อบแห้ง 5.25 m/s (เป็นค่าความเร็วลมร้อนเฉลี่ย ณ หัวฉีดลม ดังรูปที่ 1 อุปกรณ์หมายเลข 2 ซึ่งวัดด้วย Hot-Wire Anemometer ค่าความถูกต้อง $\pm 2\%$) มีการเวียนลมร้อนหลังการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ 80% อุณหภูมิลมร้อนที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 70°C , 80°C และ 90°C การอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกมีเงื่อนไข คือ ความหนาของเบดประมาณ 8.5 cm ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 25% wet basis การทดลองจะดำเนินการ 3 ชั่วโมง ระยะเวลาในการอบแห้ง 10 min การหาค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกจะใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASAE (1989)

ผลการทดลองและสรุป

ผลการทดลองได้แสดงแนวโน้มของการอบแห้งไว้ดังในรูปที่ 2 และข้อมูลผลการทดลองได้ถูกนำมาแสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการลดลงของความชื้นจะแปรผันตามอุณหภูมิของลมร้อน กล่าวคือ ที่อุณหภูมิลมร้อนสูงการลดลงของความชื้นก็จะมากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำ การทดลองได้ดำเนินการ 3 ชั่วโมง พบว่าแต่ละชั่วโมงมีพฤติกรรมการลดความชื้นไปในแนวทางเดียวกัน พิจารณาที่ระดับความชื้นสุดท้ายไม่ต่ำกว่า 19% wet basis เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ข้าวแตกหักมากและอาจสูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์ (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ , 2540) ข้อมูลจากการวิจัยครั้งนี้พบว่า ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงจาก 3.7 - 1.9 min อัตราการระเหยน้ำ $3.667 - 6.947 \text{ kg water evap / h}$ และค่าใช้จ่ายในการระเหยน้ำลดลงจาก 1.51 - 0.84 baht/kg water evap เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนเข้าจาก $70 - 90^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 2 ผลการอบแห้งข้าวเปลือก พันธุ์ กข. 10

ผลการทดลองได้ถูกนำมาหาความสัมพันธ์เบื้องต้น ระหว่างอัตราการลดความชื้น ($\overline{MR}$) กับ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (t) ซึ่งคือแกนตั้งและแกนนอนตามลำดับในรูปที่ 2 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าห้องอบแห้ง (T) โดยใช้รูปแบบสมการของ Page (1949) เมื่อค่า x และ y ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้า (T) โดยสหสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$\overline{MR} = \exp(-xt^y) \quad \text{เมื่อ } R^2 = 0.99 \quad (8)$$

ค่าคงที่ x และ y เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ (T) มีค่าดังนี้

$$x = 0.75274302 - 0.01786604T + 0.00012232T^2 \quad (9)$$

$$y = -3.46381096 + 0.10603056T - 0.00062765T^2 \quad (10)$$

Time (min)	ความชื้นข้าวเปลือก (%wb.) ซ้ำที่ 1			ความชื้นข้าวเปลือก (%wb.) ซ้ำที่ 2			ความชื้นข้าวเปลือก (%wb.) ซ้ำที่ 3		
	ที่ 70°C	ที่ 80°C	ที่ 90°C	ที่ 70°C	ที่ 80°C	ที่ 90°C	ที่ 70°C	ที่ 80°C	ที่ 90°C
0.0	24.6	24.3	24.1	24.9	24.8	24.0	24.7	24.3	24.1
0.5	23.2	22.8	23.1	23.9	23.4	22.3	23.2	23.5	22.8
1.0	22.3	21.8	21.5	22.7	22.2	21.6	22.5	21.6	21.3
1.5	21.0	21.2	19.8	21.4	21.6	19.6	21.5	20.7	20.3
2.0	20.5	19.8	18.3	20.7	20.6	18.3	20.2	20.2	18.7
2.5	20.0	19.2	18.0	20.1	19.5	17.2	19.6	19.5	17.8
3.0	19.7	18.1	17.1	19.5	18.69	16.5	19.2	18.3	17.2
3.5	19.3	17.2	16.2	18.9	17.8	15.7	18.9	17.6	15.3
4.0	18.4	16.9	14.8	18.4	16.6	15.3	18.7	16.6	14.9
4.5	18.2	15.8	14.6	17.7	16.4	14.6	17.6	15.5	14.8
5.0	17.3	15.3	13.5	17.6	15.6	13.8	16.9	15.4	13.5
5.5	17.2	14.6	12.1	16.8	15.3	12.8	17.0	15.2	12.7
6.0	16.6	14.4	12.0	16.3	14.4	12.4	16.3	13.9	12.1
6.5	16.1	13.7	10.8	15.9	14.0	11.2	16.5	13.6	11.6
7.0	15.5	13.0	10.4	15.7	13.0	10.5	15.0	12.8	10.0
7.5	14.7	12.2	10.5	14.8	12.6	10.4	14.5	12.2	9.8
8.0	14.2	11.4	9.7	14.7	11.6	9.7	14.8	11.9	9.8
8.5	14.0	11.3	8.5	14.0	11.4	9.5	13.9	11.1	9.4
9.0	13.5	10.4	8.9	14.0	11.0	8.8	13.2	10.7	8.1
9.5	13.4	10.3	8.4	13.4	10.3	8.4	13.0	11.0	8.0
10.0	12.7	10.1	7.9	13.2	10.1	8.3	12.8	10.5	7.7

ตารางที่ 1 ผลการทดลองอบแห้งข้าวเปลือก พันธุ์ กข.10

หมายเหตุ : ที่อุณหภูมิร้อนขาเข้า 70, 80 และ 90 °C มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 10, 6.5 และ 4.1 % ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย และ กิตติ สิทธิประภาพร .2545. การจำลองและการทดลองการอบแห้งพริกแบบชั้นบาง . เอกสารการประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16 . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- วัชรินทร์ ดงบัง , กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย และ มานิต สุจ้านงค์ . 2547. การศึกษาการอบแห้งผักถั่วลิสงด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด . เอกสารการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 4 . เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- วัชรินทร์ ดงบัง , กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย และ มานิต สุจ้านงค์ . 2547. การศึกษาการอบแห้งข้าวโพดด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18 . ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- วรเมธ หัตถทอง. 2546. การศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดกาแฟสด ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด. เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรม เครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืช และอาหารบางประเภท. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- Poomsa-ad, N., Soponronnarit, S., Wetchacama, S., and Swasdisevi, T. 1999 . Managing Moist Paddy by Drying , Tempering and Ambient Air Ventilation . **Drying Technology**. 17 (1&2) : 335-344.
- Page, G.E. 1949 . **Factors Influencing the Maximum Rate of Drying Shell Corn in Dryers** . Master Thesis in Science. Graduate School, Purdue University. West Lafayette. Indiana.
- Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S. 1994 . Optimum Strategy for Fluidized Bed Paddy Drying . **Drying Technology**. (12 ,7): 1667-1686.
- St. Joseph. 1989. **Current ASAE Standards Projects S358.1 : Moisture Measurement - Forages**. Michigan : ASAE. : 329-333.
- St. Joseph. 1989. **Current ASAE Standards Projects D245.4 : Equilibrium Moisture Content**. Michigan : ASAE. :367- 373.