

สมบัติเชิงฟิสิกส์ความร้อนและผลของศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อ กระบวนการอบแห้งของข้าวเปลือก

สุภวรรณ ฐิระวณิชยกุล¹ จุฑารัตน์ ทะสระระ² และ ยุทธนา ฐิระวณิชยกุล³

Abstract

Tirawanichakul, S.¹, Tasara, J.¹, and Tirawanichakul, Y.²

Thermo-physical properties and effect of electrical field on
drying process of paddy

Songklanakar J. Sci. Technol., May 2007, Suppl 2 : 325-333

Thermo-physical properties and high voltage electrical field (HVEF) effecting to drying rate of paddy was presented in this research. Thermo-physical properties in terms of apparent-density, specific heat capacity, void fraction and equilibrium moisture content were studied. The results show that apparent density and void fraction are linearly related to initial moisture contents of paddy, whilst the specific heat capacity is a polynomial function of initial moisture content. Determining the equilibrium moisture content using static method showed that the calculated value by Henderson's model was the best fitting with the experimental results.

For studying effect of high voltage electric field on drying rate of paddy, paddy with initial moisture contents of 25-35% dry-basis was placed between electrode gaps of 2 and 3 cm and treated by electrostatic discharge time of 20, 30, 40 min. Drying conditions was set at 50°C and air speed of 1.9 m/s. The desired final moisture content was about 14-16% dry-basis. The results concluded that drying rate of the treated paddy

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, ²Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand.

¹ปร.ด. (เทคโนโลยีพลังงาน) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ²นักศึกษาระดับปริญญาโทหลักสูตร วศ.ม. สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ³ปร.ด. (เทคโนโลยีพลังงาน) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail : supawan.t@psu.ac.th

รับต้นฉบับ 21 เมษายน 2549 รับลงพิมพ์ 3 ตุลาคม 2549

by higher voltage electric field was faster than treating with a lower voltage electric field. In addition, drying rate of paddy was linearly dependent to high voltage electric field add discharge time and inversely related to electrode gap.

Key words : high electrostatic field, paddy, thermo-physical property

บทคัดย่อ

สุภวรรณ ภูริระวิชย์กุล จุฑารัตน์ ทะสระ และ ยุทธนา ภูริระวิชย์กุล
สมบัติเชิงฟิสิกส์ความร้อนและผลของศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อกระบวนการอบแห้งของข้าวเปลือก
ว. สงขลานครินทร์ วทท. พฤษภาคม 2550 ฉบับพิเศษ 2 : 325-333

สมบัติเชิงฟิสิกส์ความร้อน และศักย์ไฟฟ้าที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งของข้าวเปลือก ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ กรณีศึกษาสมบัติเชิงฟิสิกส์ความร้อน ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความร้อนจำเพาะ สัดส่วนช่องว่างของอากาศ และค่าความชื้นสมดุล จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความหนาแน่นปรากฏ และสัดส่วนช่องว่างของอากาศมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการเชิงเส้นกับความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก ขณะที่ความร้อนจำเพาะมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกับค่าความชื้นเริ่มต้น ผลการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลด้วยวิธีทางสถิติ พบว่า สมการแบบจำลองของ Henderson สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุด

สำหรับผลของศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อกระบวนการอบแห้งของข้าวเปลือก ศึกษาที่ค่าความชื้นเริ่มต้น 25-35% มาตรฐานแห้ง นำไปผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าสถิตแรงสูงที่ 6, 8 และ 10 kVac โดยใช้ระยะเวลาในการดิสชาร์จ 20, 30 และ 40 นาที ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 และ 3 ซม. ทำการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C ความเร็วลมประมาณ 1.9 เมตร/วินาที และได้ค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 14-16% มาตรฐานแห้ง จากผลการทดลอง พบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการกระตุ้นไฟฟ้าสถิตแรงสูง จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าข้าวเปลือก เมื่อเทียบกับข้าวเปลือกที่มีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิเดียวกัน

ข้าวเป็นอาหารหลักที่สำคัญของประชากรในประเทศไทยและประเทศอื่นๆ ทั่วโลก นอกจากนั้นยังเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ โดยผลผลิตเฉลี่ยของข้าวเปลือกของโลกในปี 2546-2548 ประมาณ 617.4 ล้านตัน ประเทศไทยมีผลผลิตข้าวอยู่ในอันดับที่ 6 ของโลก ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยของข้าวเปลือกประมาณ 30.29 ล้านตัน/ปี (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2548) ปัญหาหลักที่สำคัญคือข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมาใหม่มักจะมีความชื้นสูง 20-33% มาตรฐานแห้ง ซึ่งจะทำให้ข้าวเปลือกเสื่อมสภาพได้ง่าย โดยเฉพาะในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวที่อยู่ในช่วงฤดูฝน เพื่อต้องการรักษาคุณภาพของข้าวเปลือก ให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น และยังคงมีร้อยละต้นข้าวที่สูงอยู่จึงต้องทำการอบแห้งและลดความชื้นให้อยู่ในช่วง 14-16% มาตรฐานแห้ง

เดิมกระบวนการอบแห้งจะใช้การตากแดดตามธรรมชาติ ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีใหม่เข้าใช้ในการอบ

แห้งมากขึ้น เช่น การอบแห้งแบบฟลูอิดไดส์เบด การอบแห้งแบบสเปล์เบด เป็นต้น เทคโนโลยีใหม่ๆ เหล่านี้สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ดี และยังคงรักษาคุณภาพของข้าวทั้งกายภาพและทางเคมี (Tirawanichakul et al., 2004) ปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น ได้มีการเลือกใช้วิทยุและการและเทคโนโลยีใหม่รวมทั้งแหล่งพลังงานใหม่เข้ามาใช้ในกระบวนการอบแห้ง เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการในการเลือกใช้สำหรับกระบวนการผลิตและเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต โดยที่ยังคงคุณภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ (สมชาติ, 2540; Tirawanichakul et al., 2004)

ดิสชาร์จไฟฟ้าแบบโคโรนา (Electrical corona discharges) สามารถเกิดขึ้นได้ในสภาวะความดันบรรยากาศปกติหรือสูงกว่าเล็กน้อย โดยเกิดจากการดิสชาร์จไฟฟ้าแบบพาร์เชียล (partial discharges) ของก๊าซที่อยู่ระหว่างขั้ว

อิเล็กโตรดที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงมากและไม่เป็นเอกพันธ์ (Inhomogeneous electric field) ได้มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบโคโรนาที่มีการจดศาสตร์ของการอบแห้งดินและอาหารบางชนิด ซึ่งให้ข้อสรุปที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันว่า กระบวนการอบแห้งโดยอาศัยสนามไฟฟ้าแรงสูงสามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งได้หลายเท่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน (Cao *et al.*, 2004)

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงฟิสิกส์ความร้อน และผลของศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อกระบวนการอบแห้งของข้าวเปลือกโดยเลือกตัวอย่างข้าวเปลือกเป็นข้าวพันธุ์เล็บนกปัตตานี ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ของประเทศไทย

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. วัสดุ

ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์เล็บนกปัตตานีที่เก็บเกี่ยวใหม่ ได้จากศูนย์วิจัยข้าว จังหวัดพัทลุง ทำความสะอาดและนำมาหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) และเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือกให้มีความชื้นอยู่ในช่วง 25-33% มาตรฐานแห้ง

1.1 การลดความชื้นของตัวอย่าง

การลดความชื้นทำได้โดยการนำข้าวเปลือกเกลี่ยบนพื้นผ้าใบ ตั้งตากลมไว้ ตรวจสอบความชื้นอย่างหยาบโดยใช้ Kett moisture meter ได้ความชื้นตามต้องการ จากนั้นนำไปใส่ไว้ในภาชนะปิดและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4-5°C เป็น

ระยะเวลา 7-10 วัน ช่วงระยะเวลา 3 วันแรก นำข้าวเปลือกออกมาแล้วทำการคลุกเคล้าให้ผสมกันดี ทำทุกวันจนครบระยะเวลาที่กำหนดก่อนนำไปใช้ในการทดลอง เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา การเน่าเสีย และเพื่อให้ความชื้นภายในข้าวเปลือกสม่ำเสมอทั่วทั้งเมล็ด

1.2 การเพิ่มความชื้นของตัวอย่าง

การเพิ่มความชื้นทำได้โดยการพรมน้ำกลั่นลงในข้าวเปลือกที่ใส่ไว้ในกะบะหรือภาชนะที่ปิดได้ ปรับเพิ่มความชื้นให้ได้ตามต้องการ คลุกเคล้าให้ทั่วและสม่ำเสมอทั้งกะบะ จากนั้นทำเช่นเดียวกับการลดความชื้น

ก่อนนำข้าวเปลือกมาใช้งาน นำข้าวเปลือกที่บรรจุอยู่ในกะบะหรือภาชนะมาวางไว้ในที่สภาวะแวดล้อมจนกว่าข้าวเปลือกจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม จึงนำมาใช้ในการทดลอง

2. อุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์อบแห้งเมล็ดพืชชั้นบาง (สุภวรรณ และ ยุทธนา, 2537) มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ ถังอบแห้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม. สูง 40 ซม. หน่วยทำความร้อนทำจากขดลวดทำความร้อนไฟฟ้าขนาด 500 วัตต์ จำนวน 4 ชุด และพัดลมแบบใบพัดโค้งหน้า ขนาด 1 แรงม้า แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ ดัง Figure 1

2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ A & D รุ่น 3000 ค่าความละเอียด ± 0.01 กรัม

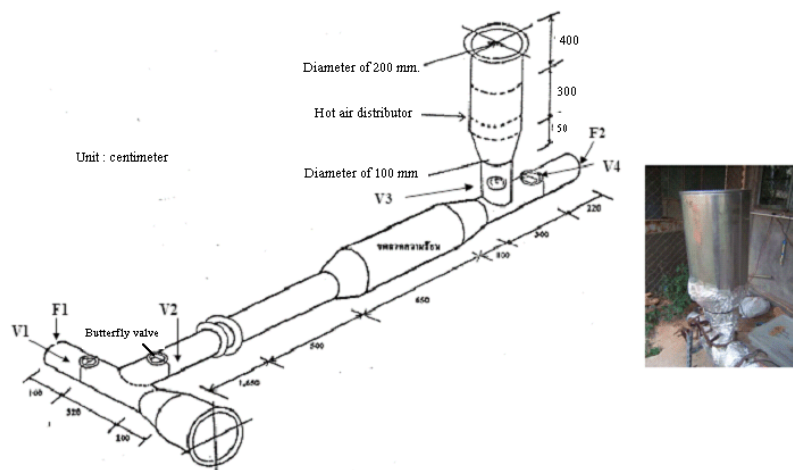


Figure 1. Schematic diagram of hot air dryer. (สุภวรรณ และ ยุทธนา, 2537)

2.3 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Wisco คู่กับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิ ค่าความละเอียด $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$

2.4 เครื่องวัดความเร็วลม Digital Anemometer (ยี่ห้อ OMEGA รุ่น HHF 300)

2.5 ชุดอุปกรณ์กระตุ้นไฟฟ้าสถิตแรงสูง แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ ดัง Figure 2

3. วิธีการทดลอง

3.1 การหาความชื้นสมดุลของข้าว (Equilibrium moisture content)

นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่เตรียมความชื้นไว้แล้วทำการทดลองหาความชื้นสมดุล โดยใช้สารละลายเกลืออิมตัว LiCl, NaCl, KNO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ เป็นตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ และควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ตู้อบในช่วงอุณหภูมิ $5-65^{\circ}\text{C}$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองหาค่าความชื้นสมดุล และเลือกใช้สมการความชื้นสมดุลของวัสดุทั้งสิ้น 3 สมการ (สมชาติ, 2540; สุภวรรณ และยุทธนา, 2537) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) สมการของ Chung และ Pfof (1967)

$$\ln RH = \frac{-A}{RT} \exp(-BM_{eq}) \quad (1)$$

(2) สมการของ Henderson (1952)

$$1 - RH = \exp(-ATM_{eq}^B) \quad (2)$$

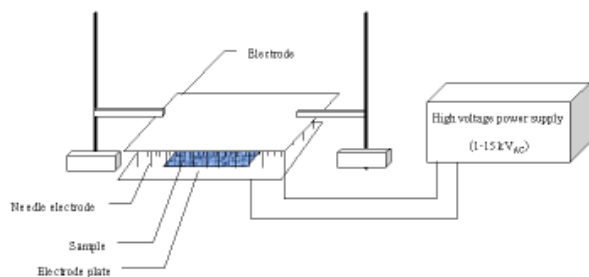


Figure 2. Schematic diagrams of electrical discharges.

(3) สมการของ Halsey (1948)

$$RH = \exp\left[\left(\frac{-A}{RT}\right)M_{eq}^B\right] \quad (3)$$

เมื่อ A, B คือ ค่าคงตัว
M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
R คือ ค่าคงตัวของก๊าซ เท่ากับ 8.314 kJ/kmol-K
RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, เศษส่วน
T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์, K

3.2 การหาความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density, ρ)

นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่เตรียมความชื้นไว้แล้วเทใส่ภาชนะที่ทราบปริมาตรจนเต็ม นำไปชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณค่าความหนาแน่นปรากฏตามสมการ (4)

$$\rho = \frac{m}{V_b} \quad (4)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นปรากฏของข้าวเปลือก, กก./ลบ.เมตร
m คือ มวลของข้าวเปลือก, กก.
V_b คือ ปริมาตรภาชนะ, ลบ.เมตร

3.3 การหาค่าสัดส่วนช่องว่างของอากาศ (Porosity, ε)

นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่เตรียมความชื้นไว้แล้วใส่ในภาชนะที่ทราบปริมาตร เทน้ำมันพืชลงไปจนจมนวัสดุพอดี วัดปริมาตรน้ำมันพืชที่ใช้ แล้วคำนวณค่าสัดส่วนช่องว่างของอากาศตามสมการ (5)

$$\varepsilon = \frac{V_{oil}}{V_b} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ ε คือ ค่าสัดส่วนช่องว่างของอากาศ, %
V_{oil} คือ ปริมาตรน้ำมัน, ลบ.เมตร
V_b คือ ปริมาตรภาชนะ, ลบ.เมตร

3.4 การหาค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat, c_p)

นำตัวอย่างวัสดุที่ความชื้นต่างๆ กัน มาทดสอบในแคลอรีมิเตอร์ แล้วคำนวณค่าความร้อนจำเพาะตามสมการ (6)

$$c_p = \frac{[m_c c_c (T_{eq} - T_{ci}) + m_w c_w (T_{eq} - T_{wi})]}{m_p (T_{eq} - T_{pi})} \quad (6)$$

- เมื่อ c_p คือ ความร้อนจำเพาะของข้าวเปลือก, $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$
- c_c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของแคลอรีมิเตอร์, $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$
- c_w คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$
- m_c คือ มวลของแคลอรีมิเตอร์, กก.
- m_p คือ มวลของวัสดุ, กก.
- m_w คือ มวลของน้ำ, กก.
- T_{eq} คือ อุณหภูมิที่สภาวะสมดุล, $^\circ\text{C}$
- T_{ci} คือ อุณหภูมิของแคลอรีมิเตอร์ที่สภาวะเริ่มต้น, $^\circ\text{C}$
- T_{wi} คือ อุณหภูมิของน้ำที่สภาวะเริ่มต้น, $^\circ\text{C}$
- T_{pi} คือ อุณหภูมิของวัสดุที่สภาวะเริ่มต้น, $^\circ\text{C}$
- รายละเอียดของวิธีการทดลอง ข้อ 3.1 -3.4 สามารถดูได้จาก สุภวรรณ และยุทธนา (2537)

3.5 การศึกษาผลกระทบลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าที่มีต่อกระบวนการอบแห้งและอัตราการอบแห้งข้าวเปลือก

3.5.1 การทดลองอบแห้งข้าวเปลือกขึ้นด้วยกระแสไฟฟ้าแรงสูง

นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่เตรียมความชื้นไว้แล้วในหัวข้อ 1 ประมาณ 400 กรัม ไปกระตุ้นด้วยไฟฟ้าสถิตแรงสูงที่ 6, 8 และ 10 kV ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโตรดเท่ากับ 2 และ 3 ซม. ระยะเวลาในการกระตุ้นเป็น 20, 30 และ 40 นาที ดัง Figure 2 หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าสถิตแรงสูง ไปทำการทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งใช้อุณหภูมิลมร้อน 50°C ความเร็วลมประมาณ 1.9 เมตร/วินาที ระหว่างการทดลองทำการบันทึกอุณหภูมิกระเปาะแห้ง กระเปาะเปียก อุณหภูมิภายในถังอบแห้ง และน้ำหนักของข้าวเปลือกระหว่างการทดลองทุกๆ 5 นาที ในช่วง 30 นาทีแรก และหยุดการทดลองเมื่อความชื้นสุดท้ายเหลือประมาณ 14-16% มาตรฐานแห้ง

3.5.2 การทดลองอบแห้งข้าวเปลือกควบคุม

สำหรับการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกควบคุม ใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นและเป็นชุดเดียวที่ใช้ในข้อ 3.5.1 นำมาทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชั้นบางที่อุณหภูมิลมร้อน 50°C ความเร็วลมประมาณ 1.9 เมตร/วินาที โดยบันทึกข้อมูลเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.5.1

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุลของข้าว

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุลของข้าวเปลือก โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองมาพัฒนาให้อยู่รูปสมการทางคณิตศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์ว่าสมการความชื้นสมดุลแบบใดให้ค่าความชื้นสมดุลที่เหมาะสมสำหรับการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์เล็บนกปัตตานี ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ประเทศไทยมากที่สุด ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อหาค่าคงที่ในสมการของสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 แบบจำลอง ผลการทดลองแสดงดัง Table 1 พบว่าเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สมการของ Chung และ Pfof (1967) และสมการของ Henderson (1952) สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีกว่าสมการของ Halsey (1948) และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของสมการ Chung และ Pfof (1967) มีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.881 ส่วนสมการของ Henderson (1952) เท่ากับ 0.878 แต่เมื่อพิจารณาจากค่า MRS พบ

Table 1. Constant value of Lebnok Pattani paddy at different model.

Model	A	B	R^2	MRS*
Chung and Pfof (1967)	7946.281	14.915	0.881	1.842
Henderson (1952)	0.058	1.400	0.878	1.483
Halsey (1948)	68.170	-1.366	0.564	6.855

Note: MRS = Mean residue square value,

$$MRS = \frac{\sum_{i=1}^N (Data_{predicted,i} - Data_{experiment,i})^2}{N}$$

ว่าสมการของ Henderson (1952) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.483 เมื่อนำผลที่ได้ไปแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ จากผลการทดลองและผลการคำนวณจากแบบจำลอง แสดงดัง Figure 3 โดยที่สมการของ Henderson (1952) สามารถแสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อความชื้นสมดุลได้ดีที่สุด

จึงนำรูปแบบสมการของ Henderson (1952) ไปใช้วิเคราะห์ถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อการอบแห้งข้าวเปลือกต่อไป และจากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีอิทธิพลต่อค่าความชื้นสมดุล โดยพบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศคงที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นสมดุลของข้าวเปลือกจะมีค่าลดลงเล็กน้อย

2. ค่าความร้อนจำเพาะ (c)

นำตัวอย่างมาทดสอบโดยใช้แคลอรีมิเตอร์ คำนวณค่าความร้อนจำเพาะ พบว่าค่าความร้อนจำเพาะมีความสัมพันธ์กับความชื้นเริ่มต้นในรูปแบบสมการโพลิโนเมียล ดังสมการที่ (7) และ Figure 4

$$c = 4.0689 + 0.0084M + 0.00006M^2$$

$$R^2 = 0.996 \quad \text{MRS} = 0.00004 \quad (7)$$

3. ความหนาแน่นปรากฏ (ρ)

จากการหาค่าความหนาแน่นปรากฏ พบว่าความ

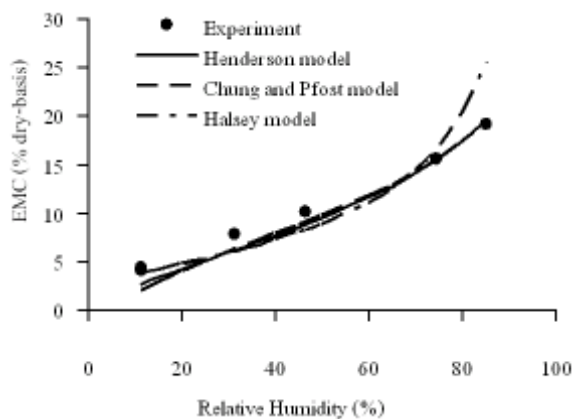


Figure 3. Relationship between equilibrium moisture content and relative humidity of Lebnok Pattani paddy at drying temperature of 50°C.

หนาแน่นปรากฏมีความสัมพันธ์กับความชื้นเริ่มต้นในรูปแบบสมการเส้นตรง แสดงดังสมการที่ (8) และ Figure 5

$$\rho = 529.13 + 0.58M$$

$$R^2 = 0.984 \quad \text{MRS} = 0.296 \quad (8)$$

4. สัดส่วนช่องว่างของอากาศ (ε)

จากการทดลองหาค่าสัดส่วนช่องว่างของอากาศ โดยการเติมน้ำมันลงในระหว่างช่องว่างของเมล็ดข้าวเปลือกในกระบอกตวงที่ทราบปริมาตรแน่นอน และเมื่อนำผลการ

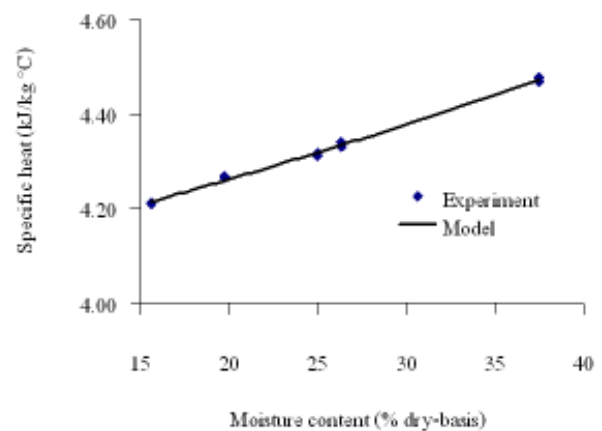


Figure 4. Relationship between moisture content and specific heat of Lebnok Pattani paddy.

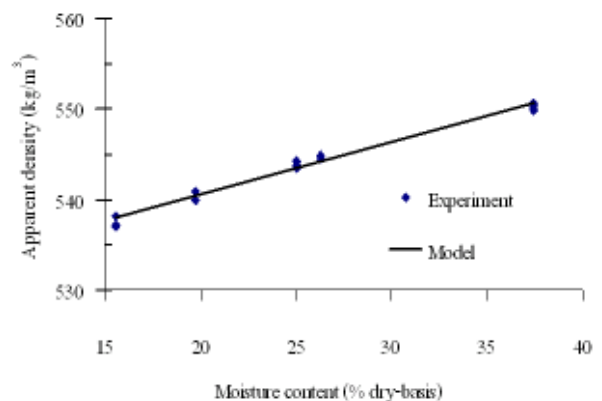


Figure 5. Relationship between moisture content and apparent density of Lebnok Pattani paddy.

ทดลองที่ได้มาหาความสัมพันธ์ของสัดส่วนช่องว่างของอากาศกับค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืช พบว่า ค่าสัดส่วนช่องว่างของอากาศมีความสัมพันธ์กับความชื้นเริ่มต้นในรูปแบบสมการเส้นตรง ดังสมการ (9) และ Figure 6

$$\begin{aligned} & \text{ที่ความชื้นอยู่ในช่วง } 15\text{-}40\% \text{ มาตรฐานแห้ง} \\ & \epsilon = 89.172 - 0.9076M \\ & R^2 = 0.964 \quad \text{MRS} = 0.333 \quad (9) \end{aligned}$$

5. การทดลองอบแห้ง

5.1 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือก

ผลของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือกขึ้น เมื่อเทียบกับข้าวเปลือกควบคุม ซึ่งเป็นข้าวเปลือกขึ้นที่ไม่ได้ผ่านการดิสชาร์จไฟฟ้าและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C เช่นเดียวกัน (Figure 7) พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อการเพิ่มอัตราการอบแห้ง กล่าวคือ ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า โดยที่ข้าวเปลือกที่ผ่านการกระตุ้นด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีอัตราอบแห้งสูงกว่าข้าวเปลือกควบคุมด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอากาศที่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน เนื่องจากการดิสชาร์จไฟฟ้าแบบโคโรนามีพลังงานสูงที่เรียกว่า electric wind (Charry and Kavet, 1987) และเกิดการเคลื่อนที่ไปชนโมเลกุลอากาศรอบๆ และชนกับผิวของข้าวเปลือกขึ้นที่มีน้ำอยู่ ทำให้โมเลกุลของน้ำที่ผิววัสดุขึ้นได้รับพลังงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการชน โมเลกุลของน้ำจะถูกกระตุ้นและเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำออกมาที่ผิวของข้าวเปลือกได้เร็วกว่ากรณีที่ใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าหรือข้าวเปลือกควบคุมที่ไม่ผ่านการดิสชาร์จไฟฟ้า ทำให้เกิดเกรเดียนต์ของความชื้นระหว่างผิวของข้าวเปลือกขึ้นและเนื้อภายในเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งโดยทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

5.2 ผลของระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือก

เมื่อนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าสถิตแรงสูงที่ค่าศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาในการดิสชาร์จคงที่ค่าเดียวกัน ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดต่างกัน 2 ค่า คือ 2 ซม. และ 3 ซม. ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C พบว่า ความชื้นของข้าวเปลือกที่ถูกกระตุ้นที่ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด 2

ซม. จะลดลงมากกว่าข้าวเปลือกที่ถูกกระตุ้นที่ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดเป็น 3 ซม. ดัง Figure 8 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบบนเมล็ดพืชจะมีค่าลดลง พลังงานที่จะถ่ายโอนให้กับเมล็ดพืชลดลง เป็นผลให้อัตราการอบแห้งของข้าวเปลือกมีแนวโน้มลดลงด้วย

5.3 ผลของระยะเวลาในการดิสชาร์จต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือก

เมื่อนำตัวอย่างข้าวเปลือกสดที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าสถิตแรงสูงที่ค่าศักย์ไฟฟ้า และระยะห่างของขั้ว

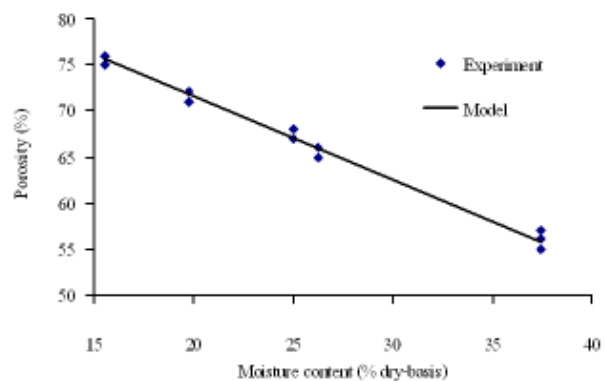


Figure 6. Relationship between moisture content and porosity of Leb Nok Pattani paddy.

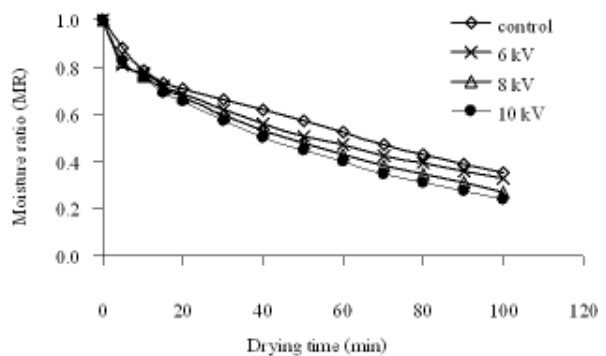


Figure 7. Evolution of moisture profile of Leb Nok Pattani paddy with drying time. (High voltage electrical field of 6, 8 and 10 kV; discharge gaps of 2 cm and 10 cm; discharge time is 20 min; drying temperature of 50°C and air flow rate was 1.9 m/s.)

อิเล็กโตรดคงที่ค่าเดียวกัน โดยใช้ระยะเวลาในการดิสชาร์จต่างกัน 3 ค่า คือ 20, 30 และ 40 นาที ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดิสชาร์จจาก 20 นาที เป็น 30 และ 40 นาที อัตราการอบแห้งของข้าวเปลือกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกมีค่าลดลง แสดงดัง Figure 9

อนึ่งจะเห็นได้ว่าการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์เล็บนกปัตตานีนั้น ใช้เครื่องอบแห้งชั้นบางที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง แต่ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อนที่ในการอบแห้งได้ อย่างไรก็ตามผลการทดสอบอุปกรณ์อบแห้งดังกล่าวตามสมชาติและวิลพร (2530) และ สุภวรรณ และยุทธนา (2537) พบว่าในการทดลองที่ทำการทดลองโดยมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ จะมีการแกว่งของอุณหภูมิเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการแกว่งของค่าความชื้นสัมพัทธ์ในการอบแห้งด้วยลมร้อนนี้ มีค่าลดลง เมื่อทำการอบแห้งด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิมีสภาวะแวดล้อม โดยลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำกว่าอากาศแวดล้อม จึงไม่ส่งผลต่อการอบแห้งเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศแวดล้อมปกติ (สมชาติ และวิลพร, 2530; สุภวรรณ และยุทธนา, 2537)

สรุปผลการทดลอง

จากศึกษาความชื้นสมดุล พบว่า รูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ ของ Henderson (1952) จะให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด โดยที่ค่าความชื้นสมดุลจะขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ส่วนค่าความหนาแน่นปรากฏ และร้อยละช่องว่างของอากาศมีความสัมพันธ์กับความชื้นเริ่มต้นในรูปแบบสมการเชิงเส้นกับค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือก ในขณะที่ค่าความจุความร้อนจำเพาะมีความสัมพันธ์กับความชื้นเริ่มต้นในรูปแบบสมการโพลิโนเมียล

สำหรับการศึกษาผลกระทบของลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าที่มีต่อกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกชั้น พบว่าอิทธิพลของไฟฟ้าสถิตแรงสูงมีผลต่ออัตราการอบแห้ง โดยศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการดิสชาร์จไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการอบแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อ

ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโตรดเพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคไฟฟ้าสถิตแรงสูง โดยคณะผู้วิจัยมีโครงการวิจัยที่ต่อเนื่องจากงานนี้คือ ทำการศึกษาถึงผลของเทคนิคนี้ต่อคุณภาพข้าวเปลือกทั้งทางกายภาพทางเคมีและเคมีกายภาพของข้าวเปลือก โดยเฉพาะข้าวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ของประเทศไทย

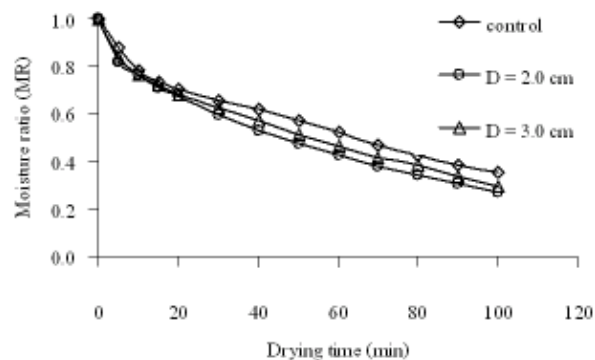


Figure 8. Evolution of moisture profile of Lebnok Pattani paddy with drying time. (High voltage electrical field of 8 kV; discharge gaps of 2 cm and 3 cm and discharge time is 20 min; drying temperature of 50°C and air flow rate was 1.9 m/s.)

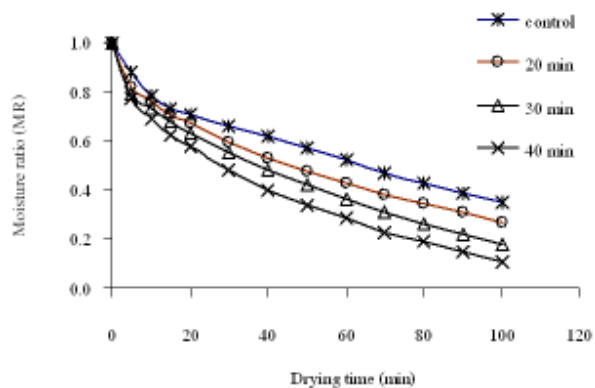


Figure 9. Evolution of moisture profile of Lebnok Pattani paddy with drying time. (High voltage electrical field of 8 kV; discharge gaps of 2 cm and discharge time is 20, 30 and 40 min; drying temperatures of 50°C and air flow rate was 1.9 m/s.)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2548 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และทุนสนับสนุนบางส่วนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการติดตั้งอุปกรณ์และทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2549. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548. กรุงเทพฯ.
- สมชาติ โสภณธรณฤทธิ. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ.
- สมชาติ โสภณธรณฤทธิ และวิไลพร นพรัตน์ไกรลาศ. 2530. อนุรักษ์ศึกษาอัตราการอบแห้งเมล็ดพืช และผลการทดสอบข้าวเปลือก. เอกสารหลังการประชุมวิชาการเรื่อง เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 28-30 ตุลาคม 2530.
- สุภวรรณ ฐิระวณิชย์กุล และยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล. 2537. อุปกรณ์อบแห้งเมล็ดพืชชั้นบาง: พารามิเตอร์ของการอบแห้งชั้นบางเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์. ว.สงขลานครินทร์ 16(4): 381-392.
- AOAC. 1995. Official Method of Analysis. 16th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia. USA.
- Cao, W., Nishiyama. Y., Koide, S. and Lu, Z.H. 2004. Drying enhancement of rough rice by electric field. J. Food Eng. 87: 445-451.
- Charry, J.M. and Kavet, R.I. 1987. Air Ions. Physical and Biological Aspects, CRC press, Boca Raton. FL.
- Chung, D.S. and Pfof, H.B. 1967. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. ASAE 10: 549-557.
- Halsey, G. 1948. Physical adsorption on non-uniform surfaces. J. Chem. Phy. 16: 931.
- Henderson, S.M. 1952. A basic concept of equilibrium. Agri. Eng. 33: 29-31.
- Tirawanichakul, S., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P., Wrunyanond, W. and Soponronnarit, S. 2004. Effect of fluidized-bed drying temperature on various qualities attributes of paddy. J. Drying Technology. 22(7): 1731-1754.
- Tirawanichakul, Y., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W. and Soponronnarit, S., 2004. Simulation and grain quality for in-store drying of paddy. J. Food Eng. 64: 405-415.