



ศูนย์
สิ่งแวดล้อม
แห่งชาติ

การถ่ายทอด

พลังงานความร้อนและมวล

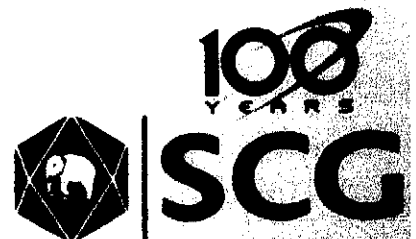
ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 12)

ระหว่างวันที่ 14-15 มีนาคม 2556

ณ โรงแรมอัมพเรียสโกลด์ตันโทรเองเกิ้ล รีสอร์ท

อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย

0.25-
/8K



สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการลดความชื้นข้าวเปลือก

Natural Convective Heat Transfer Coefficient of Paddy Dehydration

อิสิหิยะ สนิโซ¹

มะรุคิง ภาษา¹

ซูลกิฟลี ภาษา¹

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะ

วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 133 ถนนเทศบาล 3

ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000

โทร 086-2960787

E-mail: saniso.e@hotmail.com

บทคัดย่อ ผลผลิตทางการเกษตร เช่น กาแฟ ยาสูบ ชา ผลไม้ เมล็ดโกโก้ และข้าวเปลือก จำเป็นต้องลดความชื้นที่ใช้ความร้อนต่ำ เกษตรกรจะใช้วิธีแบบดั้งเดิมในการลดความชื้น ได้แก่ การตากแดดที่ลานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเป็นตัวแปรสำคัญในการอธิบายอัตราการลดความชื้นที่ขึ้นกับความแตกต่างของอุณหภูมิแวดล้อมและข้าวเปลือก การวิจัยนี้จึงทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการลดความชื้นข้าวเปลือกพันธุ์เหลืองประทิว โดยการตากแดดแบบธรรมชาติ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์บนตะแกรงขนาด 0.35 m x 0.35 m ซึ่งน้ำหนักหยาบมีปริมาณน้ำที่ระเหยระหว่างลดความชื้นด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล (ZEPER, model EPS-3001) ขนาด 3 kg ความละเอียด 0.1 g วัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิผิวและภายในชั้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (WISCO, model DL2200) ที่ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด เค และใช้ความสัมพันธ์ของสมการ $Nu = h_c X / K = N(Ra)^n$ เมื่อค่าคงตัว N และ n หาได้จากกราฟวิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้น จากการทดลองพบว่า ข้าวเปลือกที่ตากแห้งแบบธรรมชาติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยเท่ากับ $26.7773 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ เมื่อค่า N และ n เท่ากับ 0.9985 และ 0.3459 ตามลำดับ โดยที่ค่า $Pr = 0.6879$ และ $7.6121 \times 10^4 < Gr < 1.7495 \times 10^5$

คำสำคัญ ข้าวเปลือก สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์

Abstract Agricultural products such as coffee, tobacco, tea, fruit, cocoa beans and paddy generally require drying through a consistent application of relatively low heat. Traditionally, crop drying has been accomplished by open air drying under screened sunlight. The convective heat transfer coefficient is an important parameter in drying rate simulation since the temperature difference between the air and paddy varies with this coefficient. In this research work, an attempt has been made to evaluate the convective heat transfer coefficient during drying of paddy (LEUNG PRATEW) in open sun drying conditions. The rectangle shaped wire mesh tray of 0.35 m x 0.35 m was used to accommodate the paddy. A digital weighing balance (ZEPER, model EPS-3001) of 3 kg capacity having a least count of 0.1 g was used to measure the mass of moisture evaporated. A eight channel digital temperature indicator (WISCO, model DL2200) with a calibrated K-type thermocouple was used to measure the ambient temperature, temperature of the paddy surface, relative humidity and inner temperature of the paddy level. The convective heat transfer coefficient was determined by $Nu = h_c X / K = N(Ra)^n$ equation. Values of the constant, N and n were obtained by linear regression analysis. The results showed that the natural convective heat transfer coefficients was $26.7773 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, when N and n were found to be 0.9985 and 0.3459, respectively, at $Pr = 0.6879$ and $7.6121 \times 10^4 < Gr < 1.7495 \times 10^5$

Keywords Paddy, Heat Transfer Coefficient, Open Sun Drying

1. บทนำ

ข้าวเหลืองประทิว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. อยู่ในวงศ์ Gramineae เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ของประเทศไทย เป็นข้าวไวต่อช่วงแสงเหมาะต่อการปลูกในพื้นที่ลุ่ม ปลูกในดินเปรี้ยวได้ดี และปลูกได้เฉพาะนาปี ลำต้นสูงประมาณ 150 cm ใบกว้างและยาว คอรวงยาว ฟางแข็ง แดกกอมมาก เมล็ดเรียวยาว ข้าวสารแกร่ง มีสีขาวเลื่อมมัน ข้าวหุงสุกจะขึ้นหม้อ มีลักษณะร่วนค่อนข้างแข็งเหมาะสำหรับผู้นิยมข้าวแข็ง เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของอำเภอประทิว จังหวัดชุมพร [1] ปลูกครั้งแรกประมาณ พ.ศ.2340 บริเวณบ้านเกาะหรือเกาะชะยอม ในพื้นที่ของหัวเมืองยี่ง เจ้าเมืองประทิว แพร่ขยายในชุมชนบ้านคอนตะเคียน บ้านห้วยนอน และบ้านคอนแดง พ.ศ.2400 ขยายพื้นที่ปลูกไปยังตำบลคอนยาง ตำบลปากคลอง ตำบลสะพลี บริเวณคลองช้างตาย (บ้านปากสำน) ต่อมาผู้นำไปปลูกต่างอำเภอ และจังหวัดในภาคกลาง เช่น จังหวัดเพชรบุรี และจังหวัดราชบุรี พ.ศ.2498 กรมการข้าวได้นำไปปลูกคัดเลือกแบบคัดเมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์ จนได้รับการพิจารณาให้เป็นพันธุ์รับรอง ชื่อข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123 ในปี พ.ศ.2508

ข้าวเปลือกที่สามารถเก็บรักษาได้ต้องมีความชื้นในช่วง 12-14% d.b. ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมต่อการจัดส่งในเชิงพาณิชย์ กระบวนการสี การจัดเก็บในยุ้งฉางหรือในไซโล จึงจำเป็นต้องลดความชื้นข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวให้เร็วที่สุด ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้วิธีตากลานที่อาศัยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้น้ำหรือความชื้นที่อยู่ในข้าวเปลือกลดลง สามารถเก็บไว้บริโภคหรือส่งออกในเชิงพาณิชย์โดยไม่เสียคุณค่าทางอาหาร และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์อันเป็นสาเหตุของการเน่าเสียได้ [2]

กระบวนการลดความชื้น (Moisture dehydration) วัสดุที่ใช้หลักการถ่ายโอนความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อให้ความชื้นออกโดยการระเหยซึ่งถูกกำหนดโดยการถ่ายโอนความร้อน (Heat transfer) ได้แก่ การพา (Convection) การนำ (Conduction) และการแผ่รังสี (Radiation) เป็นผลให้มีการถ่ายโอนความร้อนและมวลน้ำในวัสดุไปยังอากาศแวดล้อม [3] การถ่ายโอนความร้อนอาจเกิดจากการพา การนำ และการแผ่รังสีความร้อนหรือผสมกันทั้งสามลักษณะก็ได้ ขึ้นกับการออกแบบและชนิดของการทำแห้งโดยความร้อนจะถ่ายโอนสู่ผิวของวัสดุเพื่อระเหยน้ำที่ผิวออกไปและถ่ายโอนต่อไปยังภายในวัสดุเพื่อเพิ่มความดันไอน้ำในวัสดุต่อไป ส่วนการถ่ายโอนมวลน้ำ (Mass transfer) จะขึ้นอยู่กับกลไก 2 ลักษณะ [2, 3] คือ การเคลื่อนย้ายของมวลน้ำภายในวัสดุเนื่องจากปัจจัยภายใน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพและความชื้นภายในวัสดุและการเคลื่อนย้ายของไอน้ำจากผิวของวัสดุเนื่องจากปัจจัยภายนอก [2] ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ อัตราการไหลของอากาศและพื้นที่ผิวของวัสดุ

การวิเคราะห์กระบวนการลดความชื้น [4] วัสดุมีค่าที่วัดที่สำคัญหลายประการแตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และเป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด [5] ทั้งนี้หากการลดความชื้นเป็นการตากแดดโดยตรง [6] ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Convective heat transfer coefficient) เป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่สำคัญในการทำแห้ง ดังรายงานวิจัยของ Ravinder *et al.* [7] ที่ได้ทดลองทำแห้งเส้นหมี่แบบธรรมชาติภายใต้การพาความร้อนแบบบังคับในที่ร่ม พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 0.98-1.10 $W/m^2\text{-}^{\circ}C$ และ Anwar and Tiwari [8] ได้ทดลองทำแห้งผลผลิตทางการเกษตร 6 ชนิด ได้แก่ พริกชี้หนูเขียว ถั่วเขียว ถั่วขาว หอมหัวใหญ่ มันฝรั่งและดอกกะหล่ำ ด้วยการตากแห้งกลางแจ้ง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ได้อยู่ในช่วง 3.5-26.0 $W/m^2\text{-}^{\circ}C$

ในขณะที่ Mahesh *et al.* [9] ได้ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติปาปัด (Papad) โดยการตากแห้งกลางแจ้งและภายใต้การพาความร้อนแบบบังคับในที่ร่ม พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 3.54 และ 1.56 $W/m^2\text{-}^{\circ}C$ สำหรับการตากแห้งกลางแจ้งและภายใต้การพาความร้อนแบบบังคับในที่ร่มตามลำดับ ในขณะที่เดียวกัน Mahesh *et al.* [10] ได้ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของข้าว (Khao) โดยการตากแห้งกลางแจ้ง ที่เรือนเข้าสู่แบบธรรมชาติ (Natural Greenhouse) และกรีนเฮาส์ (Forced Greenhouse) ที่มีการพาความร้อนแบบบังคับบนพื้นที่ขนาด 1.2 m x 0.8 m พบว่า การตากแห้งข้าวแบบกรีนเฮาส์ที่มีการพาความร้อนแบบบังคับมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงสุดอยู่ในช่วง 0.86-1.09 $W/m^2\text{-}^{\circ}C$ ในขณะที่การตากแห้งกลางแจ้งและกรีนเฮาส์แบบธรรมชาติมีค่าอยู่ในช่วง 0.54-1.03 และ 0.54-0.91 $W/m^2\text{-}^{\circ}C$ ตามลำดับ

นอกจากนี้ Dhip *et al.* [11] ได้ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของพริกเขียว (Green chili) ที่ผ่านการฟอกข้าวด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) และโซเดียม คลอไรด์ (Sodium chloride) โดยการตากแห้งกลางแจ้งและตากแห้งแบบกรีนเฮาส์ภายใต้การพาความร้อนแบบบังคับ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าเท่ากับ 3.95 และ 2.45 $W/m^2\text{-}K$ สำหรับพริกเขียวที่ตากแห้งกลางแจ้ง ส่วนพริกเขียวที่ตากแห้งแบบกรีนเฮาส์ภายใต้การพาความร้อนแบบบังคับมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเท่ากับ 4.33 และ 4.52 $W/m^2\text{-}K$ และ Goyal and Tiwari [12] ได้ทดลองศึกษาการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลในการทำแห้งข้าวสาลีและถั่วเขียว พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของข้าวสาลีและถั่วเขียวมีค่าเท่ากับ 16.7 และ 9.6 $W/m^2\text{-}^{\circ}C$ ตามลำดับ

การวิจัยนี้จึงมุ่งทำการทดลองทำแห้งข้าวเปลือกพันธุ์เหลืองประทิวด้วยการตากแห้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงเพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลองและออกแบบระบบการทำแห้งข้าวเปลือกที่เหมาะสมสำหรับเกษตรกรต่อไป

2. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างข้าวเปลือกและอากาศแวดล้อมสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ในรูปทั่วไป ดังนี้

$$\dot{Q}_{cv} = h_c A (T_A - T_M) \quad (1)$$

เมื่อ \dot{Q}_{cv} คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในข้าวเปลือก (J/m^2s), h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของข้าวเปลือก ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), A คือ พื้นที่ผิวของข้าวเปลือกในตะแกรงที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ (m^2), T_A คือ อุณหภูมิของอากาศเหนือผิวข้าวเปลือก ($^\circ C$) และ T_M คือ อุณหภูมิของอากาศใต้ผิวข้าวเปลือก ($^\circ C$)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c) สำหรับการทำแห้งโดยการตากแดดที่กลางแจ้งซึ่งมีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ [8, 13-15] สามารถแสดงในรูปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ไรมีดี ดังนี้

$$Nu = \frac{h_c X}{K} = N(Ra)^n \quad (2)$$

หรือ

$$h_c = \frac{K}{X} \cdot N(Ra)^n \quad (3)$$

เมื่อ Nu คือ เลขนัสเซิลท์ (Nusselt number) มีค่าเท่ากับ $h_c X/K$, X คือ ขนาดเฉพาะของข้าวเปลือกมีค่าเท่ากับ A/S (m), S คือ เส้นรอบวงของตะแกรงบรรจุข้าวเปลือก (m), K คือ สภาพการนำความร้อนของอากาศ ($J/m^2 \cdot ^\circ C$), N และ n คือ ค่าคงตัวของสมการ, Ra คือ เลขราเลย์ (Rayleigh number) มีค่าเท่ากับ $GrPr$, Gr คือ เลขกราสฮอฟ (Grashof number) มีค่าเท่ากับ $\beta g X^3 \rho^2 \Delta T / \mu^2$ β คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ ($1/^\circ C$), g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2), ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3), ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของข้าวเปลือกและอากาศเหนือผิวข้าวเปลือก ($^\circ C$), μ คือ ความหนืดพลวัตของอากาศ ($kg/m \cdot s$), Pr คือ เลขพรันด์เทิล (Prandtl number) มีค่าเท่ากับ $\mu C/K$ และ C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ ($J/kg \cdot ^\circ C$)

การทำแห้งข้าวเปลือกโดยการตากแดดที่กลางแจ้งซึ่งอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงสามารถคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อน

(\dot{Q}_{cv}) ที่ใช้ในการระเหยน้ำ [13, 15-16] ในข้าวเปลือกได้จากสมการ ดังนี้

$$\dot{Q}_{cv} = 0.016 \cdot h_c \cdot [P(T_M) - RH \cdot P(T_A)] \quad (4)$$

เมื่อ $P(T_M)$ คือ ความดันไอย่อยในข้าวเปลือกที่อุณหภูมิใดๆ (N/m^2), RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือผิวข้าวเปลือก (decimal) และ $P(T_A)$ คือ ความดันไอย่อยที่ผิวข้าวเปลือกที่อุณหภูมิใดๆ (N/m^2)

โดยการนำสมการ (3) แทนในสมการ (4) จะได้

$$\dot{Q}_{cv} = 0.016 \cdot \frac{K}{X} \cdot N(Ra)^n \cdot [P(T_M) - RH \cdot P(T_A)] \quad (5)$$

ทำการหารสมการ (4) ด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (L) ของน้ำ แล้วคูณด้วยพื้นที่ (A) และเวลา (t) ที่ข้าวเปลือกได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะสามารถคำนวณมวลของไอน้ำที่ระเหย (M_{ev}) [8, 12-18] ได้ดังนี้

$$M_{ev} = \frac{\dot{Q}_{cv}}{L} \cdot A \cdot t = 0.016 \cdot \frac{K}{XL} \cdot N(Ra)^n \cdot [P(T_M) - RH \cdot P(T_A)] \cdot A \cdot t \quad (6)$$

เมื่อ M_{ev} คือ มวลของน้ำในข้าวเปลือกที่ระเหยเนื่องจากการตากแห้ง (kg), L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (J/kg) และ t คือ เวลา (s)

จากสมการ (6) ถ้ากำหนดให้

$$0.016 \cdot \frac{K}{XL} \cdot [P(T_M) - RH \cdot P(T_A)] \cdot A \cdot t = Z \quad (7)$$

แล้วจัดรูปสมการ (6) ใหม่จะได้ ดังนี้

$$\frac{M_{ev}}{Z} = N(Ra)^n \quad (8)$$

ทำการใส่ \ln ทั้งสองข้างของสมการ (8) จะได้

$$\ln \left[\frac{M_{ev}}{Z} \right] = n \ln(Ra) + \ln N \quad (9)$$

พิจารณาสมการ (9) พบว่า สอดคล้องกับสมการเชิงเส้นตรง

$$Y = mX_0 + C_0 \quad (10)$$

เมื่อ $Y = \ln[M_{ev}/Z]$, $m = n$, $X_0 = \ln(Ra)$ และ $C_0 = \ln N$ นั่นคือ $N = e^{C_0}$ ทำให้สามารถคำนวณค่า N และ n ได้โดยการวิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้นโดยใช้สมการ ดังนี้

$$m = \frac{N \sum X_0 Y - \sum X_0 \sum Y}{N \sum X_0^2 - (\sum X_0)^2} \quad (11)$$

และ

$$C_0 = \frac{\sum X_0^2 \sum Y - \sum X_0 \sum X_0 Y}{N \sum X_0^2 - (\sum X_0)^2} \quad (12)$$

เมื่อ N คือ จำนวนครั้งของข้อมูลในแต่ละการทดลอง แล้วอาศัยสมบัติทางกายภาพของอากาศซึ่งประกอบด้วยค่าความร้อนจำเพาะ (C) สภาพการนำความร้อน (K) ความหนาแน่น (ρ) ความหนืดพลวัต (μ) ค่าความดันไอย่อย (P(T)) ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (L) และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ (β) [8, 13, 15-16, 18] ดังนี้

$$C = 999.2 + 0.1434 T_{av} + 1.101 \times 10^{-4} T_{av}^2 - 6.7581 \times 10^{-8} T_{av}^3 \quad (13)$$

$$K = 0.0244 + 0.6773 \times 10^{-4} T_{av} \quad (14)$$

$$\rho = 353.44 / (T_{av} + 273.15) \quad (15)$$

$$\mu = 1.718 \times 10^{-5} + 4.620 \times 10^{-8} T_{av} \quad (16)$$

$$P(T) = \exp(25.317 - 5144 / (T_{av} + 273.15)) \quad (17)$$

$$L = 3.1615 \times 10^6 (1 - 7.6166 \times 10^{-4} T_{av}) \quad (18)$$

$$\beta = 1 / T_{av} \quad (19)$$

$$T_{av} = (T_A + T_M) / 2 \quad (20)$$

3. วิธีดำเนินการวิจัย

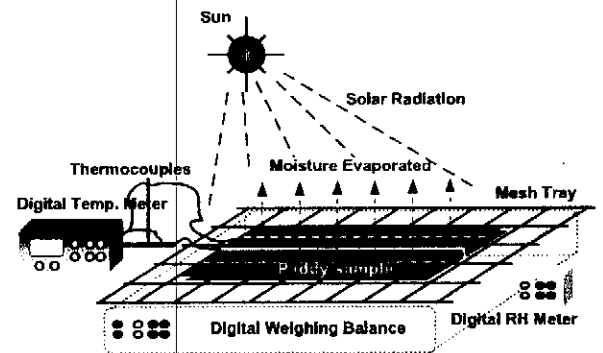
3.1 การเตรียมตัวอย่างทดลอง

วิจัยนี้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์เหลืองประทิว จากศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดปัตตานี โดยนำข้าวเปลือกสดไปทำความสะอาดแยกสิ่งเจือปนออกแล้วนำไปใส่ในภาชนะปิดและเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 3-5°C เป็นเวลา 3-5 วัน ระหว่างนี้ทำการคลุกเคล้าทุกวันเพื่อให้ความชื้นกระจายอย่างสม่ำเสมอ เมื่อครบกำหนดเวลาจึงนำข้าวเปลือกไปวางไว้ให้สมดุลกับอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 1.0 ชั่วโมง จึงนำไปหาความชื้นเริ่มต้นตามมาตรฐาน AOAC 2005 [19] และทดลองตากแห้งกลางแจ้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงแล้ววิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

3.2 วิธีการทดลอง

วิจัยนี้ทำการทดลองโดยนำข้าวเปลือกน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 650.0 ± 2.0 g มาวางให้ชิดกันหนา 1.0 cm บนตะแกรงขนาด 35 cm x 35 cm แล้วนำไปตากแห้งโดยอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ณ ชั้นดาดฟ้า อาคาร 9 ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ดังรูปที่ 1 วัดอุณหภูมิเหนือผิวข้าวเปลือก

(T_A) และอุณหภูมิใต้ผิวข้าวเปลือก (T_M) ด้วยเครื่อง Digital Multimeter รุ่น UNAOHM 9400 ความละเอียด ± 0.1°C ที่ต่อเข้ากับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด เค (K-Type Thermocouple)

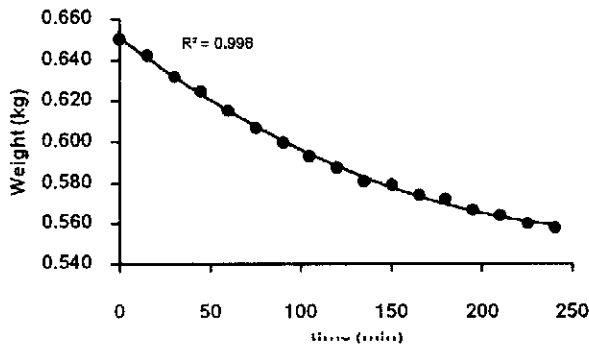


รูปที่ 1 การทดลองทำแห้งข้าวเปลือกแบบธรรมชาติ

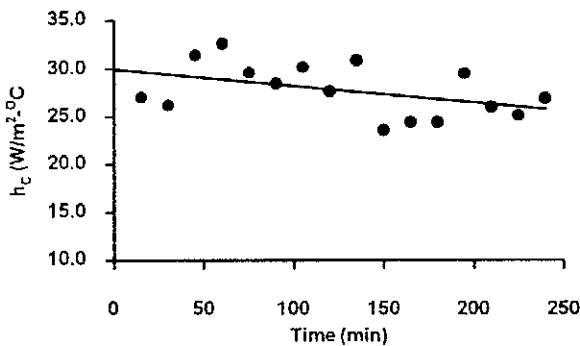
วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วยเครื่อง Flash Link Data Logger รุ่น Delta TRAK ความละเอียด ± 0.1% และชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกทุกๆ 15 นาที ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PB 1502 ความละเอียด 0.01 g บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 240 นาที จึงหยุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วใช้ค่าเฉลี่ย จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติต่อไป

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อนำข้อมูลการทดลองตากแห้งข้าวเปลือกด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับเวลาทำแห้ง พบว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงเวลาทำแห้ง 240 นาที มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น คือ ลดลงประมาณ 92.0 ± 1.0 g จากน้ำหนักเริ่มต้น 650.0 ± 2.0 g ดังรูปที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับการทำแห้งพริกชี้ฟ้าเขียว ถั่วเขียว ถั่วขาว หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง และดอกกะหล่ำ โดยการตากแห้งกลางแจ้งของ Anwar and Tiwar [8] การทำแห้งข้าวสาลีและถั่วเขียวของ Goyal and Tiwar [12] จึงนำข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ แล้วคำนวณค่า N และ n ตามสมการ (11) และ (12) ตามลำดับ จากการคำนวณพบว่า ค่าคงตัว N และ n มีค่าเท่ากับ 0.9985 และ 0.3459 ตามลำดับ โดยที่ค่า $Pr = 0.6879$ และ $7.6121 \times 10^4 < Gr < 1.7495 \times 10^5$



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำของข้าวเปลือกระหว่างการทำแห้งแบบธรรมชาติ



รูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยของการทำแห้งข้าวเปลือกเมื่อตากแห้งแบบธรรมชาติ

เมื่อนำค่าคงตัว N และ n ที่ได้ไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติโดยการแทนค่าลงในสมการ (3) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยของการทำแห้งข้าวเปลือกพันธุ์เหลืองประทิวที่ตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงมีค่าเท่ากับ $26.7773 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

โดยการทดลองนี้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยของการทำแห้งข้าวเปลือกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 3 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติที่ได้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของพริกชี้ฟ้าเขียว ถั่วเขียว ถั่วขาว หอมหัวใหญ่ มันฝรั่งและดอกกะหล่ำ [8] ข้าวสาลี ถั่วเขียว [12] กุ้ง (*Macrobrachium lamarrei*) และปลาช่อน (*Oxygaster bacalla*) [13] ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติอยู่ในช่วง $0.4\text{-}26.2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

5. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองทำแห้งข้าวเปลือกพันธุ์เหลืองประทิวแบบธรรมชาติโดยการตากแห้งที่กลางแจ้งซึ่งมีแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน สรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของข้าวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ $26.7773 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ที่ค่า $Pr = 0.6879$ และ $7.6121 \times 10^4 < Gr < 1.7495 \times 10^5$ โดยพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติและเมื่อเวลาการทำแห้งเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีแนวโน้มลดลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายอุเช็ง ชายตานา เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองต่างๆ จนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พันธุ์ข้าวไทย (ออนไลน์). สารานุกรมภูมิปัญญาท้องถิ่นไทย. สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน) เข้าถึงเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2556 จาก <http://app1.bedo.or.th/rice/Default.aspx>
- [2] สมชาติ โสภณเรณูฤทธิ์. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 338 หน้า.
- [3] Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W. (1974). Drying cereal grains. 3rd edition. Westport, Connecticut, USA : The AVI publishing company, Inc. 265 p.
- [4] Vijaya, V.R.S, Inlyanb, S. and Ranko, G. (2012). A review of solar drying technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16(5): 2652–2670
- [5] Bala, B.K. (1997). Drying and storage of cereal grains. Oxford : Oxford & IBH Publishing. 312 p.
- [6] Shobhana, S. and Subodh, K. (2012). Development of convective heat transfer correlations for common designs of solar dryer. Energy Conversion and Management. 64(12): 403-414.
- [7] Ravinder, K.S., Nitesh, J. and Mahesh, K. (2012). Convective heat transfer coefficient for indoor forced convection drying of vermicelli. IOSR Journal of Engineering. 2(6): 1282-1290.
- [8] Anwar, S.I. and Tiwari, G.N. (2001). Evaluation of convective heat transfer coefficient in crop drying under open sun drying

conditions. Energy Conversion and Management. 42(5) : 627-637.

- [9] Mahesh, K., Pankaj, K., Ravinder, K.S. and Om, P. (2011). The effect of open sun and indoor forced convection on heat transfer coefficients for the drying of papad. Journal of Energy in Southern Africa. 22(2): 40-46.
- [10] Mahesh, K., Kasana, K.S. Sudhir, K. and Om, P. (2011). Experimental investigation on convective heat transfer coefficient for Khoa drying. International Journal of Current Research. 3(8): 88-93.
- [11] Dilip, J., Mridula, D., Patil, R.T., Barnwal, P. and Ramesh, K. (2010). Kinetics of convective heat and mass transfer coefficient of green chilli during open-sun and greenhouse drying. Desalination and Water Treatment. 24(1): 38-46.
- [12] Goya, R.K. and Tiwari, G.N. (1998). Heat and mass transfer relations for crop drying. Drying Technology. 16(18): 1741-1754.
- [13] Dilip, J. (2006). Determination of convective heat and mass transfer coefficients for solar drying of fish. Biosystems Engineering. 94(3): 429-435.
- [14] Tiwari, G.N., Kumar, S. and Prakash, O. (2003). Evaluation of convective mass transfer coefficient during drying of jiggery. Journal of food engineering. 63(2) : 219-227.
- [15] Tiwari, G.N. and Tripathi, R. (2003). Study of heat and mass transfer in door conditions for distillation. Desalination. 154(2): 161-169.
- [16] Tiwari, G.N., Minocha, A., Sharma, P.B., and Emran K.M. (1997). Simulation of convective mass transfer in a solar distillation process. Energy conversion and management. 38(8): 761-770.
- [17] Tiwari, G.N. and Suneja, S. (1997). Solar thermal engineering systems. New Delhi, India : Narosa Publishing House. 412 p.
- [18] Toyama, S., Nakamura, M., Salah, H.M., Futamura, S. and Murase, K. (1987). Laboratory test of solar-distillator with a heat penetrating plate having a bend. Desalination. 67: 67-73.
- [19] AOAC. (2005). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.,

อสิหะ โส

วท.ม. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ที่ทำงาน สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
133 ถนนเทศบาล 3 ตำบลสะเตง อำเภอเมือง
จังหวัดยะลา 95000 โทรศัพท์ 086-2960787, E-
mail: saniso.e@hotmail.com

มะรุคิง กาศา



M.Sc. (Physics), University of Karachi,
Pakistan
ที่ทำงาน สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
133 ถนนเทศบาล 3 ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000

ซุลกีลี กาชอ



วท.ม. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยทักษิณ
ที่ทำงาน สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
133 ถนนเทศบาล 3 ตำบลสะเตง อำเภอเมือง
จังหวัดยะลา 95000