สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการทำแห้งพริกแดง

Natural Convective Heat Transfer Coefficients for Solar Dehydration of Red Chili

อีลีหย๊ะ สนิโซ[1*] รอฮานี วานี[2] และนาอีหม๊ะ หะมะ[2]

Eleeyah Saniso[1*] Rohani Wani[2] and Naemah Hama[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่เกิดขึ้นในการทำแห้งพริกแดงแบบธรรมชาติด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ $Nu = h_C X/K = N(Ra)^n$ เมื่อค่าคงที่ N และ n หาได้จากการวิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้น จากการทดลองพบว่า พริกแดงตากแห้งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยเท่ากับ 0.7199 $W/m^2\text{-}^oC$ เมื่อค่า N และ n เท่ากับ 1.0011 และ 0.0705 ตามลำดับ โดยที่ค่า $Pr = 0.7052$ และ $2.9312\times10^5 < Gr < 6.3721\times10^6$

คำสำคัญ: พริก สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

In this research work, an attempt has been made to evaluate the convective heat transfer coefficient during dehydration of red chili in open sun drying conditions (natural convection). 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 of red chili was 0.7199 $W/m^2\text{-}^oC$, when N and n were found to be 1.0011 and 0.0705, respectively, at $Pr = 0.7052$ and $2.9312\times10^5 < Gr < 6.3721\times10^6$

Keywords: Chili, Convective heat transfer coefficient, Solar energy

[1] อาจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา 95000

[2] นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา 95000

* Corresponding author: e-mail: saniso.e@hotmail.com Tel. 086-2960787

บทนำ

พริก (Chili) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย และคนไทยนิยมใช้พริกเป็นเครื่องปรุงแต่งรสชาติอาหาร พริกมีคุณสมบัติทางการแพทย์และเภสัชกรรมที่สำคัญได้แก่ สารแคบไซซิน (Capsaicin) ซึ่งจะออกฤทธิ์ต่อระบบต่างๆ ของร่างกาย เช่น ขับลมในระบบไหลเวียนเลือดและระบบหายใจ ช่วยให้หลอดเลือดขยายตัวและมีการไหลเวียนของเลือดเพิ่มขึ้น บรรเทาอาการปวดเมื่อยปวดกล้ามเนื้อในระบบประสาทและอุณหภูมิของร่างกาย (Maneechat, 1998) พริกแดง (Red chili) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum annuum L* .var.grossum. อยู่ในวงศ์ SOLANACEAE มีสรรพคุณ แก้บิด กระตุ้นการทำงานของกระเพาะอาหาร ทำให้เจริญอาหาร ลดอาการอักเสบ ละลายลิ่มเลือด ป้องกันมะเร็งในลำไส้ (http://www.the-than.com/samonpai/P/49.html) พริกสดจะมีความชื้นประมาณ 80% db. ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการลดความชื้นให้เร็วที่สุดเพื่อประโยชน์ในการเก็บรักษาและการขนย้าย ในการลดความชื้นพริกให้แห้งภายใต้แสงอาทิตย์โดยการนำพริกที่คัดเลือกแล้วนำมาตากแดดโดยตรงด้วยการแผ่พริกบางๆ บนเสื่อหรือพื้นซีเมนต์ที่สะอาด ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของดินฟ้าอากาศและคุณภาพของพริก (http://www.scottrobertsweb.com)

การทำแห้ง (Drying) คือ กระบวนการลดความชื้นของวัสดุที่ส่วนใหญ่ใช้การถ่ายโอนความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยซึ่งถูกกำหนดโดยการถ่ายโอนความร้อน ได้แก่ การพา (Convection) การนำ (Conduction) และการแผ่รังสี (Radiation) เป็นผลให้มีการถ่ายโอนความร้อนและมวลน้ำของวัสดุกับอากาศแวดล้อม การถ่ายโอนความร้อน (Heat transfer) อาจเกิดจากการพา การนำและการแผ่รังสีความร้อนหรือผสมกันทั้งสามแบบก็ได้ ขึ้นกับการออกแบบและชนิดของการทำแห้งโดยความร้อนจะถ่ายโอนสู่ผิวของวัสดุเพื่อระเหยน้ำที่ผิวออกไปและจะถ่ายโอนต่อไปยังภายในวัสดุเพื่อเพิ่มความดันไอน้ำภายในวัสดุต่อไป ส่วนการถ่ายโอนมวลน้ำ (Mass transfer) จะขึ้นอยู่กับกลไก 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนย้ายของมวลน้ำภายในวัสดุเนื่องจากปัจจัยภายใน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพและความชื้นภายในวัสดุและการเคลื่อนย้ายของไอน้ำจากผิวของวัสดุเนื่องจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ อัตราการไหลของอากาศและพื้นที่ผิวของวัสดุ (Brooker *et al.*, 1974; Bala, 1997) การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งวัสดุมีค่าชี้วัดที่สำคัญหลายประการซึ่งจะแตกต่างกันและเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด (Bala, 1997) และหากการทำแห้งเป็นแบบตากแดดโดยตรงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Convective heat transfer coefficient) เป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่สำคัญในการทำแห้ง ดังเช่นในงานวิจัยของ Anwar and Tiwari (2001) ที่ได้ทดลองทำแห้งผลผลิตทางการเกษตร 6 ชนิด ได้แก่ พริกขี้หนูเขียว ถั่วเขียว ถั่วขาว หอมหัวใหญ่ มันฝรั่งและดอกกะหล่ำ ด้วยการตากแห้งกลางแจ้งเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ได้อยู่ในช่วง 3.5-26 $W/m^2\text{-}^\circ C$

ในขณะที่ Goyal and Tiwari (1998) ได้ทดลองศึกษาการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลในการทำแห้งข้าวสาลีและถั่วเขียว พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของข้าวสาลีและถั่วเขียวมีค่าเท่ากับ 16.68 และ 9.62 $W/m^2\text{-}^\circ C$ ตามลำดับ ส่วน Marina *et al.* (2008) ได้ทดลองทำแห้งขิงโดยการตากแห้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของขิงมีค่าเท่ากับ 26.25 $W/m^2\text{-}^\circ C$ ในทำนองเดียวกัน Marina and Jompob (2005) ที่ได้ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในระหว่างการทำแห้งแกนสับปะรดแช่อิ่มภายใต้การตากแห้งที่ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสับปะรดแช่อิ่มมีค่าเท่ากับ 9.11 $W/m^2\text{-}^\circ C$ ที่ $Pr = 0.70$ และ $0.15\times10^3 < Gr < 1.19\times10^3$ และ Dilip (2006) ได้ทดลองศึกษาการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลในการ

ทำแห้งกุ้งและปลาลี้ฮื้อ ซึ่งตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 0.376-9.929 W/m^2-°C ที่ Pr = 0.70 และ $0.02\times10^6 < Gr < 1.56\times10^6$

การวิจัยนี้จึงมุ่งทำการทดลองทำแห้งพริกแดงด้วยการตากแห้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติสำหรับเป็นข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลองและออกแบบระบบการทำแห้งพริกที่เหมาะสมสำหรับชุมชน

วิธีการวิจัย

ทฤษฎีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างพริกและอากาศแวดล้อมจะเขียนสมการความสัมพันธ์ในรูปทั่วไป ดังนี้

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

เมื่อ $\dot{Q}_{ev}$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในพริก (J/m^2s) h_C คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของพริก (W/m^2-°C) A คือ พื้นที่ผิวของพริกที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ (m^2) T_A คือ อุณหภูมิของอากาศเหนือผิวพริก (°C) T_M คือ อุณหภูมิของอากาศใต้ผิวพริก (°C)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_C) สำหรับการทำแห้งพริกโดยการตากแดดที่กลางแจ้งซึ่งมีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Anwar and Tiwari, 2001; Marina *et al.*, 2008; Dilip, 2006; Tiwari *et al.*, 2003; Tiwari and Tripathi, 2003) สามารถแสดงในรูปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ไร้มิติได้ 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 นัสเซลท์นัมเบอร์ (Nusselt Number) มีค่าเท่ากับ h_cX/K X คือ ขนาดของพริกเฉพาะ มีค่าเท่ากับ A/S (m) S คือ เส้นรอบวงของพริกตากแห้ง (m) K คือ สภาพการนำความร้อนของอากาศ (J/m^2-°C) N คือ ค่าคงที่ของสมการ n คือ ค่าคงที่ของสมการ Ra คือ ราเลย์นัมเบอร์ (Rayleigh Number) มีค่าเท่ากับ GrPr Gr คือ กราสฮอฟนัมเบอร์ (Grashof Number) มีค่าเท่ากับ $\beta g X^3 \rho^2 \Delta T/\mu^2$ β คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ (1/°C) g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3) ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของพริกและอากาศเหนือผิวพริก (°C) μ คือ ความหนืดพลวัตของอากาศ (kg/m-s) Pr คือ พรันด์เทิลนัมเบอร์ (Prandtl Number) มีค่าเท่ากับ $\mu C/K$ C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/kg-°C)

เนื่องจากการทำแห้งพริกโดยการตากแดดที่กลางแจ้งอยู่ในเป็นช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่ (ภาพที่ 2 (ก)) จึงสามารถคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อน ($\dot{Q}_{ev}$) ที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Marina *et al.*, 2008; Dilip, 2006; Tiwari *et al.*, 2003; Tiwari *et al.*, 1997) ในพริกได้จากสมการ

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

เมื่อ $P(T_M)$ คือ ความดันไอย่อยในพริกที่อุณหภูมิใดๆ (N/m^2) RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือผิวพริก (decimal) $P(T_A)$ คือ ความดันไอย่อยที่ผิวพริกที่อุณหภูมิใดๆ (N/m^2)

โดยการนำสมการ (3) แทนในสมการ (4) จะได้

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

ทำการหารสมการ (4) ด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (L) แล้วคูณด้วยพื้นที่ (A) และเวลา (t) ที่พริกได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะสามารถคำนวณมวลของไอน้ำที่ระเหย (M_{ev}) (Anwar and Tiwari, 2001; Goya and Tiwari, 1998; Marina *et al.*, 2008; Dilip, 2006; Tiwari *et al.*, 2003; Tiwari and Tripathi, 2003; Tiwari *et al.*, 1997; Tiwari and Suneja, 1997; Toyama *et al.*, 1987) ได้ ดังนี้

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

เมื่อ M_{ev} คือ มวลของน้ำในพริกที่ระเหยเนื่องจากการตากแห้ง (kg) L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (J/kg) 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) เทียบกับรูปแบบของสมการเชิงเส้นตรง $Y = aX + b$ เมื่อ $Y = \ln\left[\frac{M_{ev}}{Z}\right]$, $a = n$, $X = \ln(Ra)$ และ $b = \ln N$ แล้วอาศัยการวิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) จะสามารถคำนวณค่า a และ b (Anwar and Tiwari, 2001; Tiwari *et al.*, 1997; Tiwari and Suneja, 1997) ดังนี้

$$a = \frac{N\sum XY - \sum X \sum Y}{N\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (10)$$

$$b = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum XY}{N\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (11)$$

โดยใช้สมบัติทางกายภาพของอากาศซึ่งประกอบด้วยค่าความร้อนจำเพาะ (C) สภาพการนำความร้อน (K) ความหนาแน่น (ρ) ความหนืดพลวัต (μ)) ค่าความดันไอย่อย (P(T)) ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (L) และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ (β) ตามสมการที่ (12)-(19) (Anwar and Tiwari, 2001; Dilip, 2006; Tiwari and Tripathi, 2003; Tiwari *et al.*, 1997; Tiwari and Suneja, 1997) ดังนี้

$$C = 999.2 + 0.1434T_{av} + 1.101 \times 10^{-4} T_{av}^2 - 6.7581 \times 10^{-8} T_{av}^3 \quad (12)$$

$$K = 0.0244 + 0.6773 \times 10^{-4} T_{av} \quad (13)$$

$$\rho = 353.44/(T_{av} + 273.15) \quad (14)$$

$$\mu = 1.718 \times 10^{-5} + 4.620 \times 10^{-8} T_{av} \quad (15)$$

$$P(T) = \exp(25.317 - 5144/(T_{av} + 273.15)) \quad (16)$$

$$L = 3.1615\times10^{6}(1-7.6166\times10^{-4}T_{av}) \quad (17)$$

$$\beta = 1/T_{av} \quad (18)$$

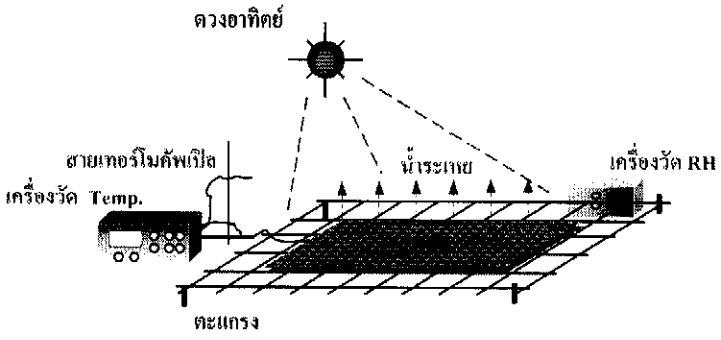
$$T_{av} = (T_A + T_M)/2 \quad (19)$$

การเตรียมตัวอย่างทดลอง

การวิจัยนี้ใช้พริกแดงจากตลาดเมืองใหม่ จ.ยะลา โดยคัดพริกสุกที่แก่จัดมีผลเป็นสีแดงสดและเลือกขนาดที่ใกล้เคียงกัน แล้วนำพริกไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 3-5°C เป็นเวลา 3 วัน เพื่อให้ความชื้นมีค่าสม่ำเสมอ จากนั้นนำพริกมาพักที่อุณหภูมิแวดล้อม ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วไปหาความชื้นเริ่มต้นตามมาตรฐาน AOAC (Anwar and Tiwari, 2001) พบว่าพริกแดงมีความชื้นเริ่มต้น 52% db. จึงนำไปตากแห้งกลางแจ้งที่อาศัยแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานแล้ววิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์กาพาความร้อนแบบธรรมชาติของพริกแดง

วิธีการทดลอง

การวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยนำพริกแดงน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 370.00 g มาวางบนตะแกรงขนาด 38.0 cm x 38.0 cm แล้วนำไปตากแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (ภาพที่ 1) ณ ชั้นดาดฟ้า อาคาร 9 ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา วัดอุณหภูมิเหนือผิว (T_A) และใต้ผิวพริก (T_M) ด้วยเครื่อง Digital Multimeter รุ่น UNAOHM 9400 ความละเอียด $\pm$ 0.1°C ที่ต่อเข้ากับสายเทอร์โมคัพเปิลชนิด เค (K-Type Thermocouple) วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วยเครื่อง Flash Link Data Logger รุ่น Delta TRAK ความละเอียด $\pm$ 0.1°C และชั่งน้ำหนักพริกทุกๆ 15 นาที ด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล Mettler Toledo รุ่น PB 1502 ความละเอียด 0.01 g บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของพริกแดงเป็นเวลา 180 นาที จึงหยุดการทดลอง (Marina *et al.*, 2008; Marina and Jompob, 2005) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วใช้ค่าเฉลี่ย จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ



ภาพที่ 1 การทดลองทำแห้งพริกแบบธรรมชาติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองตากแห้งพริกแดงบนตะแกรงขนาด 38.0 cm x 38.0 cm ด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักหรือความชื้นกับเวลาการทำแห้ง พบว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพริกแดงในช่วงเวลาการทำแห้ง 180 นาที มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ

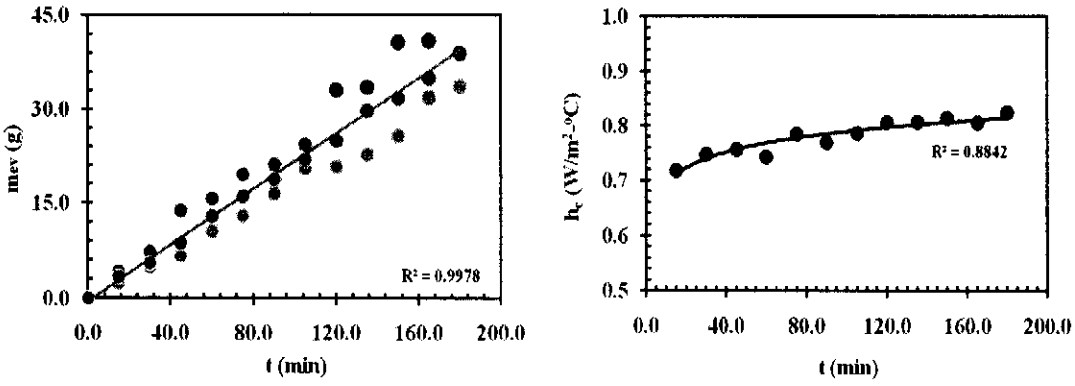
น้ำหนักเริ่มต้น คือ ลดลงประมาณ 41.00 g จากน้ำหนักเริ่มต้น 370.00 g (ภาพที่ 2 (ก)) ชี้ให้เห็นว่าการทำแห้งพริกจะอยู่ในช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant drying rate) (Brooker *et al.*, 1974; Bala, 1997) ซึ่งสอดคล้องกับการทำแห้งพริกขี้หนูเขียว ถั่วเขียว ถั่วขาว หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง และดอกกะหล่ำ โดยการตากแห้งกลางแจ้งของ Anwar and Tiwari (2001) การทำแห้งข้าวสาลีและถั่วเขียวของ Goyal and Tiwari (1998) การตากแห้งขิงของ Marina *et al.* (2008) และการทำแห้งแกนสับปะรดแช่อิ่มของ Marina and Jompob (2005) จึงนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ แล้ววิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาค่าคงที่ a และ b

ตารางที่ 1 ผลการทดลองทำแห้งพริกแดงแบบธรรมชาติ

Time (min)	$T_{A,av}$ (°C)	$T_{M,av}$ (°C)	RH_{av} (%)	W_{av} (g)	$M_{ev,av}$ (g)	X= Ln(Ra)	Y= Ln|M_{ev}/Z]
0	29.0	27.9	58.7	370.00	0.00	-	-
15	31.6	30.8	45.3	366.77	3.23	13.35	1.67
30	33.0	31.5	35.0	364.17	5.83	14.04	1.35
45	35.0	33.1	26.3	360.40	9.60	14.04	1.18
60	36.0	33.9	18.7	357.00	13.00	13.69	1.08
75	36.3	33.2	15.7	353.93	16.07	14.47	1.04
90	36.3	34.2	11.0	351.30	18.70	14.08	0.93
105	37.7	34.5	11.7	347.83	22.17	14.39	0.91
120	38.7	34.6	10.0	343.80	26.20	14.68	0.88
135	39.0	34.7	6.7	341.43	28.57	14.74	0.76
150	40.0	34.9	3.0	337.37	32.63	14.78	0.77
165	38.7	34.4	1.3	334.17	35.83	15.01	0.75
180	40.7	35.0	3.0	329.17	40.83	14.56	0.92

โดยอาศัยสมการที่ (10) และ (11) คำนวณค่า N และ n ของการตากแห้งพริกแดงได้เท่ากับ 1.0011 และ 0.0705 ตามลำดับ ที่ Pr = 0.7052 และ $2.9312\times10^5 < Gr < 6.3721\times10^6$ ซึ่งเมื่อนำค่าคงที่ N และ n ที่ได้นี้ไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติโดยการแทนค่ากลับในสมการ (3) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยของการทำแห้งพริกแดงโดยการตากแห้งกลางแจ้งมีค่าเท่ากับ 0.7199 $W/m^2\text{-}^\circ C$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของพริกแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 40 min แรกของการตากแห้งหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเข้าสู่สมดุล เนื่องจากพริกแดงมีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำในเมล็ดมากในช่วง 40 min แรก เมื่อตากแห้งพลังงานจากแสงอาทิตย์จะระเหยน้ำได้อย่างรวดเร็วหลังจากนั้นจึงค่อยๆ ลดลง (ภาพที่ 2 (ข)) และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยของการทำแห้งพริกแดงมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของกุ้ง (Macrobrachium lamarret) และปลาลิ้นหื้อ (Oxygaster bacaila) (Dilip, 2006) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบ

ธรรมชาติอยู่ในช่วง 0.376-9.929 W/m^2-°C แต่มีค่าน้อยกว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของข้าวสาลี ถั่วเขียว (Goya and Tiwari, 1998) ขิง (Marina *et al.*, 2008) และแกนสับปะรดแช่อิ่ม (Marina and Jompob, 2005) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในระหว่างการทำแห้งภายใต้การตากแห้งที่ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานอยู่ในช่วง 9.11-16.68 W/m^2-°C



ภาพที่ 2 (ก) การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำของพริกแดงระหว่างการทำแห้งแบบธรรมชาติ และ (ข) การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพริกแดงระหว่างการทำแห้งแบบธรรมชาติ

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองทำแห้งพริกแดงแบบธรรมชาติโดยการตากแห้งที่กลางแจ้งซึ่งมีแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน สรุปได้ว่า อัตราการอบแห้งพริกแดงอยู่ในช่วงการอบแห้งคงที่ โดยพริกแดงตากแห้งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยเท่ากับ 0.7199 W/m^2-°C ที่ค่า Pr = 0.7052 และ $2.9312\times10^5 < Gr < 6.3721\times10^6$

คำขอบคุณ

การวิจัยนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายสูเซ็ง ชายดานา และนายมะยุฟรี ยะแอโซ๊ะ นักวิทยาศาสตร์สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองต่างๆ จนทำให้การดำเนินงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

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 mangement**. 42(5), 627-637.

Bala, B.K. (1997). **Drying and storage of cereal grains**. Oxford & IBH Publishing, New Delhi, India.

Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W. (1974). **Drying cereal grains**. 3rd ed. The AVI publishing, Westport, Connecticut, USA.

Chili spur pepper. Retrieved October 2, 2011, from http://www.the-than.com/samonpai/P/49.html.

Dilip, J. (2006). Determination of convective heat and mass transfer coefficients for solar drying of fish. **Biosystems engineering**. 94(3), 429-435.

Goya, R.K. and Tiwari, G.N. (1998). Heat and mass transfer relations for crop drying. **Drying technology**. 16(18), 1741-1754.

Maneechat, N. (1998). **Chili**. O. S. Printing House, Bangkok, Thailand.

Marina, M., Kaew-on, J. and Boonma, P. (2008). **Determination of Convective Heat Transfer Coefficient of Ginger Drying Under Natural Convection**. Retrieved August 12, 2011, from http://www.scisoc. or.th/stt/30/sec_j/ paper/stt30_J0016.pdf.

Marina, M. and Jompob, W. (2005). **Evaluation of convective heat transfer coefficient in core of pineapple glace' drying under open sun drying**. Proceeding of the 1st Conference on Energy Network of Thailand, Cholburi, Thailand.

The Official Scott Roberts Web Site, **Ultimate guide to drying hot peppers**. Retrieved October, 12, 2011 from http:// www.scottrobertsweb. com/Ultimate-Guide-to-Drying-Hot-Peppers.php.

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.

Tiwari, G.N. and Tripathi, R. (2003). Study of heat and mass transfer in door conditions for distillation. **Desalination**. 54(2), 161-169.

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.

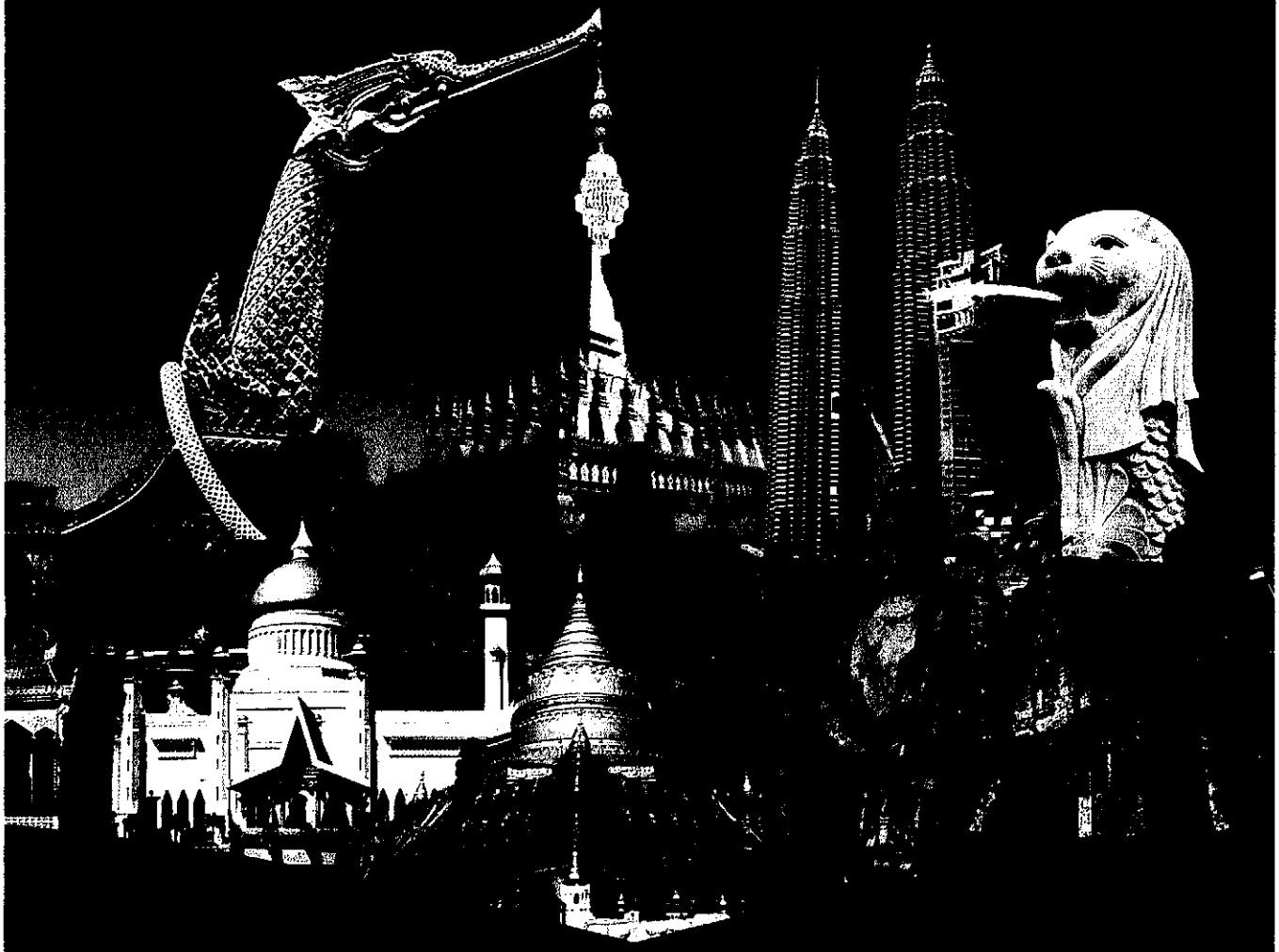
Tiwari, G.N. and Suneja, S. (1997). **Solar thermal engineering systems**. Narosa Publisging House, New Delhi, India.

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.

การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ประจำปี 2555

วิถีไทย วิถีอาเซียน วิถีแห่งความร่วมมือ

Thai-ASEAN : Path of Collaboration



23 - 26 พฤษภาคม 2555

ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

จัดโดย มหาวิทยาลัยทักษิณ
เครือข่ายการวิจัยภาคใต้ตอนล่าง
สนับสนุนโดย กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ISBN 974-451-136-9

ฟิสิกส์ ฟิสิกส์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์

O30 การพัฒนาชุดกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมอัตโนมัติสำหรับชุดทดลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 35
(รศ.นภัทร วัจนเทพินทร์)

O31 การเตรียมกระเบื้องมวลเบาด้วยเศษเบ้าเซรามิกถุงมือชำรุดผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและทางแร่ดินขาว 36
(รศ.ดร.คนุพล ต้นนโยภาส)

O32 คอนกรีตมวลรวมหินทรายแป้งผสมเศษอิฐดินเผาบดละเอียด 37
(รศ.ดร.คนุพล ต้นนโยภาส)

O33 สมบัติมวลรวมของหินฮอร์นเฟลส์ในคอนกรีตผสมกับเถ้าชานอ้อย 38
(รศ.ดร.คนุพล ต้นนโยภาส)

O34 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมหยาบในงานคอนกรีตจากกากตะกอนน้ำเสียและขุยมะพร้าว 39
(อาจารย์พงศ์ภูมิ ศรชมแก้ว)

O35 การศึกษาองค์ประกอบที่ติดไฟได้และค่าความร้อนของถ่านไม้อัดแท่ง 40
(อาจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

O36 การกระจายอุณหภูมิภายในโรงอบยางแผ่นดิบพลังงานร่วมแสงอาทิตย์และชีวมวลโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในสภาวะที่ไม่มีแผ่นยาง 41
(นายชุลกิพลี กาซอ)

O37 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการทำแห้งพริกแดง 42
(อาจารย์อีลียัะ สนิโซ)

O38 การประเมินศักยภาพของทรัพยากรเพื่อการผลิตไบโอดีเซลในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย 43
(ผศ.สุวิทย์ เพชรห้วยลึก)

O39 การสร้างเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ผักคะน้าแบบกึ่งอัตโนมัติ 44
(อาจารย์ ดร.เกรียงไกร แซมสีม่วง)

O40 การพัฒนาเครื่องกรองก๊าซชีวภาพ 45
(อาจารย์ เรวัต ช่อมสุข)

O41 การเก็บก๊าซชีวภาพจากโคลนมาใช้ประโยชน์ 46
(นายชัยรัตน์ หงษ์ทอง)

O42 เครื่องควบคุมภาระไฟฟ้าในสำนักงานหรือห้องเรียน 47
(ผศ.อดิเทพ ไข่เพชร)

O43 เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝนโดยเทคนิคการวัดค่าความจุไฟฟ้าแบบกึ่งทรงกระบอก 48
(นายศุภกร กตาธิการกุล)

O44 เส้นลายนำไฟฟ้าบนแผ่นพอลิเมอร์แบบยืดหยุ่นซึ่งสร้างด้วยวิธีการพิมพ์อิงค์เจ็ทของสารละลายเกลือของโลหะ 49
(นางสาวกมลรัตน์ ฝอยทอง)

O45 การขึ้นลายเส้นนำไฟฟ้าด้วยวิธีการพิมพ์แบบอิงค์เจ็ทร่วมกับวิธีอิเล็กโตรเพลทติ้ง 50
(นางสาววนิดา ต้นซ้ง)

O46 การออกแบบข่ายงานแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตคิวมีน 51
(นางสาวภัทรา จารุเกษม)