สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการทำแห้งพริก

อีลีหย๊ะ สนิโซ* รอฮานี วานิ* และ นาอีหม๊ะ หะมะ*

บทคัดย่อ

การอบแห้งผลผลิตการเกษตรมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย เกษตรกรหรือผู้ประกอบการส่วนใหญ่ยังใช้วิธีตากแดดตามธรรมชาติ ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายน้อยแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการปนเปื้อนจากการรบกวนของแมลงและสัตว์ต่างๆ วิจัยนี้จึงทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างการทำแห้งพริกแบบธรรมชาติด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ $Nu = h_C X/K = N(Ra)^n$ เมื่อค่าคงที่ N และ n หาได้จากการวิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้น การทดลองพบว่า พริกแดงตากแห้งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยเท่ากับ 0.7199 วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส เมื่อค่า N และ n เท่ากับ 1.0011 และ 0.0705 ตามลำดับ และพริกชี้ฟ้าแดงมีค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.9020 วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส เมื่อค่า N และ n เท่ากับ 1.0017 และ 0.0871 ตามลำดับ

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์การพาความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ พริก

* ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 133 ถนนเทศบาล 3 อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000 e-mail: saniso.e@hotmail.com

Natural Convective Heat Transfer Coefficients for Solar Dehydration of Chili

Eleeyah Saniso* Rohani Wani* and Naemah Hama*

Abstract

Dried agricultural products are considered as economically important of Thailand. Most of dried agricultural products are still produced using natural sun drying method. Although, it is the cheapest method, dried products are usually contaminated by insects, birds and animals. In this research attempt has been made to evaluate the convective heat transfer coefficient during dehydration of chili in open sun drying conditions (natural convection). The convective heat transfer coefficient was correlated via the Nu-Ra relationship $Nu = h_C X/K = N(Ra)^n$. The values of the constants, 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-°C, when N and n were found to be 1.0011 and 0.0705, respectively, while the natural convective heat transfer coefficients was 0.9020 W/m^2-°C, when N and n were found to be 1.0017 and 0.0871, respectively, for long red chili.

Keywords : Heat transfer coefficient Solar energy Chili

* Department of Science, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, 133 Tesaban Road 3, Amphur Muang, Yala 95000, Thailand. e-mail: saniso.e@hotmail.com

บทนำ

พริก (Chili) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย นิยมใช้เป็นเครื่องปรุงแต่งรสชาติอาหาร พริกมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญทางการแพทย์และเภสัชกรรม ได้แก่ สารแคบไซซิน (Capsaicin) ซึ่งเป็นสารอัลคาลอยด์ (Alkaloid) ที่ออกฤทธิ์ต่อระบบต่างๆ ของร่างกาย เช่น ขับลมในระบบไหลเวียนเลือดและระบบหายใจ ช่วยให้หลอดเลือดขยายตัวและมีการไหลเวียนของเลือดเพิ่มขึ้น บรรเทาอาการปวดเมื่อยและปวดกล้ามเนื้อในระบบประสาท (1) พริกแดง (Red chili) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum annuum* L. var. grossum และพริกชี้ฟ้าแดง (Long red chili) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum annuum* L. var. acuminatum Fingerh อยู่ในวงศ์ Solanaceae มีสรรพคุณ แก้บิด กระตุ้นการทำงานของกระเพาะอาหาร ทำให้เจริญอาหาร ลดอาการอักเสบ ละลายลิ่มเลือด ป้องกันมะเร็งในลำไส้ (2) พริกสดมีความชื้นประมาณร้อยละ 80 มาตรฐานแห้ง ซึ่งจำเป็นต้องลดความชื้นให้เร็วที่สุดเพื่อประโยชน์ในการเก็บรักษาและการขนส่ง เกษตรกรจะลดความชื้นพริกด้วยแสงอาทิตย์โดยนำพริกที่คัดแล้วมาตากแดดโดยตรงด้วยการแผ่พริกบางๆ บนเสื่อหรือพื้นซีเมนต์ที่สะอาดประมาณ 5-7 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและความชื้นเริ่มต้นของพริก (3)

การลดความชื้นหรือการทำแห้ง (Drying) ใช้การถ่ายโอนความร้อนไปยังวัสดุชื้นเพื่อให้ความชื้นออกโดยการระเหย ที่กำหนดโดยการถ่ายโอนความร้อน (Heat transfer) ได้แก่ การพา (Convection) การนำ (Conduction) และการแผ่รังสี (Radiation) เป็นผลให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและมวลน้ำในวัสดุกับอากาศแวดล้อม การถ่ายโอนความร้อนอาจเกิดจากการพา การนำ และการแผ่รังสีความร้อนหรือผสมกันทั้งสามลักษณะ ขึ้นกับการออกแบบและชนิดการทำแห้งโดยความร้อนจะถ่ายโอนสู่ผิวของวัสดุเพื่อระเหยน้ำที่ผิวออกไปและถ่ายโอนไปยังในวัสดุเพื่อเพิ่มความดันไอน้ำในวัสดุต่อไป ส่วนการถ่ายโอนมวลน้ำ (Mass transfer) ขึ้นกับกลไก 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนย้ายมวลน้ำในวัสดุเนื่องจากปัจจัยภายใน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพและความชื้นในวัสดุ และการเคลื่อนย้ายของไอน้ำจากผิววัสดุเนื่องจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ อัตราการไหลของอากาศและพื้นที่ผิววัสดุ (4-5) การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งวัสดุมีตัวชี้วัดที่สำคัญหลายประการแตกต่างกันและเป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด (5) หากทำแห้งโดยตากแดดโดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Convective heat transfer coefcient) เป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่สำคัญ ดังรายงานวิจัยของ Anwar and Tiwari (6) ที่ทำแห้งผลผลิตการเกษตร 6 ชนิด ได้แก่ พริกขี้หนูเขียว ถั่วเขียว ถั่วขาว หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง และดอกกะหล่ำ ด้วยการตากแห้งกลางแจ้ง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอยู่ในช่วง 3.5-26 วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส

ในขณะที่ Goyal and Tiwari (7) ได้ศึกษาการถ่ายโอนความร้อนในการทำแห้งข้าวสาลีและถั่วเขียว พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของข้าวสาลีและถั่วเขียวมีค่าเท่ากับ 16.68 และ 9.62 วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วน Marina et al. (8) ได้ทำแห้งขิงโดยตากแห้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของขิงมีค่าเท่ากับ 26.25 วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส ในทำนองเดียวกัน มารีนา และจอมภพ (9) ได้หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างทำแห้งแกนสับปะรดแช่อิ่มโดยตากแห้งที่ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน

พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสับปะรดแช่อิ่มมีค่าเท่ากับ 9.11 วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส ที่ Pr เท่ากับ 0.70 และ $0.15 \times 10^3 < Gr < 1.19 \times 10^3$ และ Dilip (10) ได้ศึกษาการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลในการทำแห้งกุ้งและปลาลิ้นฮื่อซึ่งตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 0.376-9.929 วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส ที่ Pr เท่ากับ 0.70 และ $0.02 \times 10^6 < Gr < 1.56 \times 10^6$ โดยลักษณะรูปทรงและขนาดของวัสดุที่ต่างกันส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแตกต่างกัน

การวิจัยนี้ จึงมุ่งทำแห้งพริกแดงและพริกชี้ฟ้าแดงด้วยการตากแดดที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติสำหรับเป็นข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลองและออกแบบระบบการทำแห้งพริกที่เหมาะสมสำหรับชุมชน

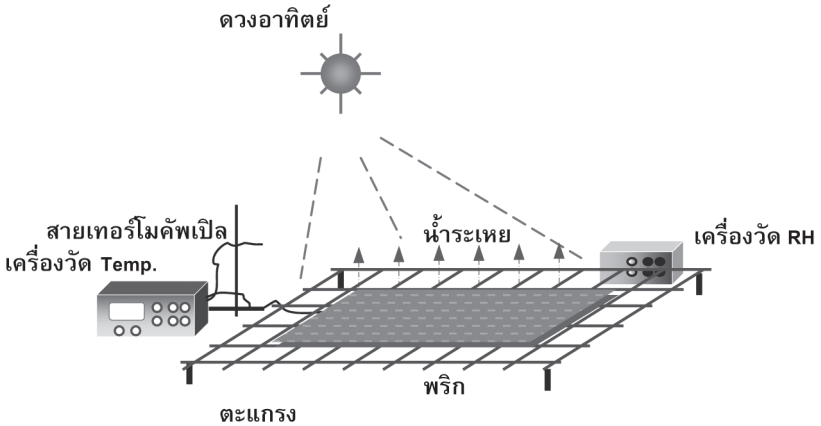
วิธีการ

การเตรียมตัวอย่างทดลอง

การวิจัยนี้ใช้พริกแดง (*Capsicum annuum* L. var. grossum) และพริกชี้ฟ้าแดง (*Capsicum annuum* L. var. acuminatum Fingerh) จากตลาดเมืองใหม่ จ.ยะลา โดยคัดพริกสุกที่แก่จัดมีผลเป็นสีแดงสดและเลือกขนาดที่ใกล้เคียงกัน แล้วนำพริกไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน เพื่อให้ความชื้นมีค่าสม่ำเสมอ จากนั้นนำพริกไปตากแห้งกลางแจ้งที่อาศัยแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานแล้ววิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของพริกแดงและพริกชี้ฟ้าแดง

วิธีการทดลอง

การวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยนำพริกแดงและพริกชี้ฟ้าแดงน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 370.00 กรัม และ 775.27 กรัม ตามลำดับ มาวางบนตะแกรงขนาด 0.38 x 0.38 เมตร^2 ในลักษณะชั้นเดียว แล้วนำไปตากแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ณ ชั้นดาดฟ้า อาคาร 9 ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (ภาพที่ 1) วัดอุณหภูมิเหนือผิว (T_A) และใต้ผิวพริก (T_M) ด้วยเครื่อง Digital Multimeter รุ่น UNAOHM 9400 ความละเอียด ± 0.1 องศาเซลเซียส ที่ต่อเข้ากับสายเทอร์โมคัพเปิลชนิด เค (K-Type Thermocouple) วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วยเครื่อง Flash Link Data Logger รุ่น Delta



ภาพที่ 1 การทดลองทำแห้งพริกแบบธรรมชาติ

TRAK ความละเอียด ±0.1 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนักพริกทุกๆ 15 นาที ด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล Mettler Toledo รุ่น PB 1502 ความละเอียด 0.01 กรัม บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของพริกแดงและพริกชี้ฟ้าแดงเป็นเวลา 180 นาที จึงหยุดการทดลอง (8-9) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วใช้ค่าเฉลี่ย จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

ทฤษฎีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างพริกและอากาศแวดล้อม เขียนสมการความสัมพันธ์ในรูปทั่วไป ดังนี้

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

เมื่อ $\dot{Q}_{ev}$ คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำที่ผิวพริก (วัตต์/เมตร^2)

h_C คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของพริก (วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส)

A คือ พื้นที่ผิวของพริกที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ (เมตร^2)

T_A คือ อุณหภูมิของอากาศเหนือผิวพริก (องศาเซลเซียส)

T_M คือ อุณหภูมิของอากาศใต้ผิวพริก (องศาเซลเซียส)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_C) สำหรับการทำแห้งพริกโดยการตากแดดที่กลางแจ้ง ซึ่งมีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (6, 8, 10-12) 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 เลขนัสเซลท์ (Nusselt number)

X คือ ขนาดของพริกเฉพาะ มีค่าเท่ากับ A/S (เมตร)

S คือ เส้นรอบวงของพริกตากแห้ง (เมตร)

k คือ สภาพการนำความร้อนของอากาศ (จูล/เมตร^2-องศาเซลเซียส)

N คือ ค่าคงที่ของสมการ

n คือ ค่าคงที่ของสมการ

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/องศาเซลเซียส)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที^{2})

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัม/เมตร^3)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของพริกและอากาศเหนือผิวพริก (องศาเซลเซียส)

μ คือ ความหนืดพลวัตของอากาศ (กิโลกรัม/เมตร-วินาที)

Pr คือ เลขพรันด์เทิล (Prandtl number) มีค่าเท่ากับ $\mu C / K$

C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (จูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส)

เนื่องจากการทำแห้งพริกโดยตากแดดที่กลางแจ้งอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ จึงสามารถคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อน ($\dot{Q}_{ev}$) ที่ใช้ในการระเหยน้ำ (8, 10-11, 13) 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 ความดันไอย่อยที่ผิวพริกที่อุณหภูมิใดๆ (นิวตัน/เมตร^2)

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือผิวพริก (อัตราส่วน)

$P(T_A)$ คือ ความดันไอย่อยที่ผิวพริกที่อุณหภูมิใดๆ (นิวตัน/เมตร^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}) (6-8, 10-15) 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 (กิโลกรัม)

L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (จูล/กิโลกรัม)

t คือ เวลา (วินาที)

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 ดังนี้

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

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

โดยใช้สมบัติทางกายภาพของอากาศ ซึ่งประกอบด้วยค่าความร้อนจำเพาะ (C) สภาพการนำความร้อน (K) ความหนาแน่น (ρ) ความหนืดพลวัต (μ)) ค่าความดันไอย่อย (P(T)) ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (L) และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ (β) ตามสมการที่ 12-19 (6, 10, 12-14) ดังนี้

$$C = 999.2 + 0.1434T_{av} + 1.101\times10^{-4}T_{av}^{2} - 6.7581\times10^{-8}T_{av}^{3} \quad (12)$$

$$K = 0.0244 + 0.6773\times10^{-4}T_{av} \quad (13)$$

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

$$\mu = 1.718\times10^{-5} + 4.620\times10^{-8}T_{av} \quad (15)$$

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

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

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

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

ผล

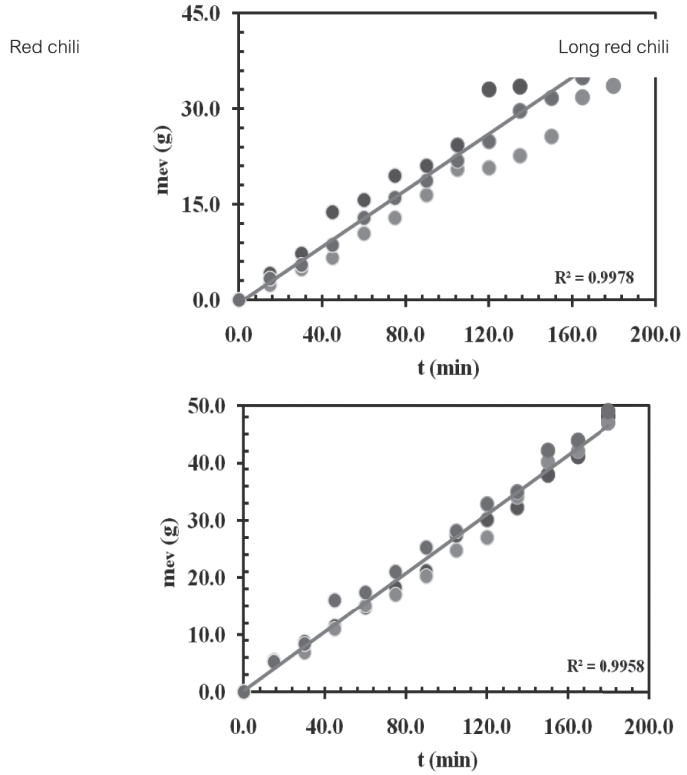
จากการทดลองตากแห้งพริกแดงและพริกชี้ฟ้าแดงบนตะแกรงขนาด 0.38 x 0.38 เมตร^2 ด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักหรือความชื้นกับเวลาการทำแห้ง พบว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพริกในช่วงเวลาการทำแห้ง 180 นาที มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น คือ ลดลงประมาณ 41.00 และ 48.00 กรัม จากน้ำหนักเริ่มต้น 370.00 และ 275.00 กรัม สำหรับพริกแดงและพริกชี้ฟ้าแดง ตามลำดับ (ภาพที่ 2) ชี้ให้เห็นว่าการทำแห้งพริกจะอยู่ในช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant drying rate) (4-5) ซึ่งตรงกับผลของการทำแห้งพริกขี้หนูเขียว ถั่วเขียว ถั่วขาว หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง และดอกกะหล่ำ โดยการตากแห้งกลางแจ้งของ Anwar and Tiwari (6) การทำแห้งข้าวสาลีและถั่วเขียวของ Goyal and Tiwari (7) การตากแห้งขิงของ Mani et al. (8) และการทำแห้งแกนสับปะรดแช่อิ่มของ Marina and Jompob (9) จึงนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ ได้แก่ ค่าความร้อนจำเพาะ ค่าสภาพการนำความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืดพลวัต ค่าความดันไอย่อย ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1004.35 จูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส 0.03 จูล/เมตร^2-องศาเซลเซียส 1.15 กิโลกรัม/เมตร^3 1.17×10^{-5} กิโลกรัม/เมตร 5.60×10^{3} นิวตัน/เมตร^2 2.41×10^{6} จูล/กิโลกรัม และ 0.02 ต่อเคลวิน ตามลำดับ แล้ววิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาค่าคงที่ a และ b ได้เท่ากับ 0.0816 และ 1.0015 สำหรับพริกแดง และเท่ากับ 0.0852 และ 1.0007 สำหรับพริกชี้ฟ้า ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการทดลองทำแห้งพริกแดงแบบธรรมชาติ

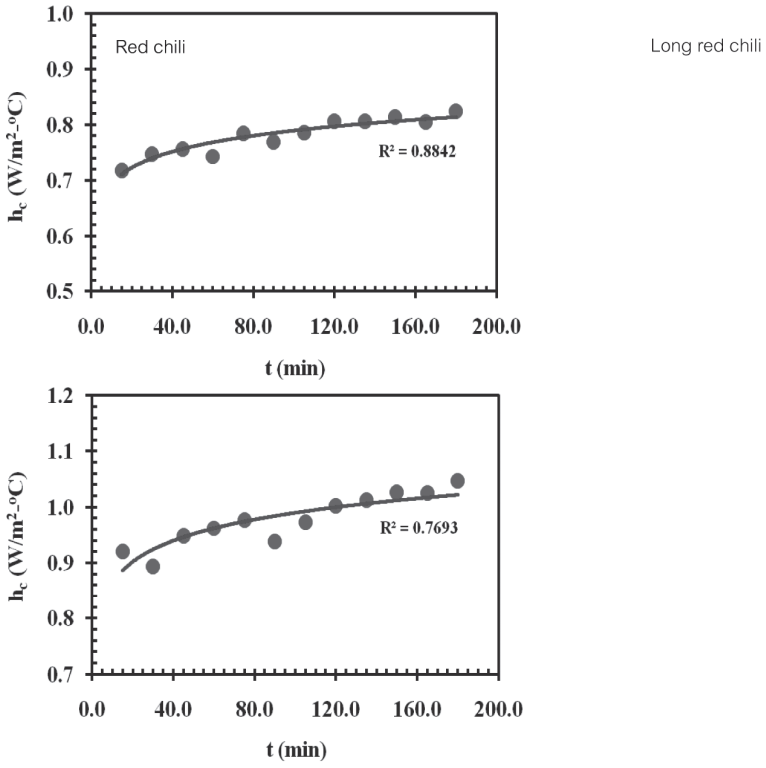
Time (min)	$T_{A, av}$ (^{o}C)	$T_{M, av}$ (^{o}C)	RH_{av} (%)	W_{av} (g)	$M_{ev, av}$ (g)	X=Ln(Ra)	Y= Ln[M_{ev}/Z]
0	29.0	27.9	58.7	370.00	0.00	-	-
15	31.6	30.8	45.3	366.77	3.23	13.35±0.27	1.67±0.31
30	33.0	31.5	35.0	364.17	5.83	14.04±0.48	1.35±0.12
45	35.0	33.1	26.3	360.40	9.60	14.04±0.33	1.18±0.31
60	36.0	33.9	18.7	357.00	13.00	13.69±1.25	1.08±0.28
75	36.3	33.2	15.7	353.93	16.07	14.47±0.25	1.04±0.32
90	36.3	34.2	11.0	351.30	18.70	14.08±0.21	0.93±0.14
105	37.7	34.5	11.7	347.83	22.17	14.39±0.44	0.91±0.12
120	38.7	34.6	10.0	343.80	26.20	14.68±0.29	0.88±0.15
135	39.0	34.7	6.7	341.43	28.57	14.74±0.11	0.76±0.18
150	40.0	34.9	3.0	337.37	32.63	14.78±0.33	0.77±0.30
165	38.7	34.4	1.3	334.17	35.83	15.01±0.27	0.75±0.16
180	40.7	35.0	3.0	329.17	40.83	14.56±0.34	0.92±0.25

ตารางที่ 2 ผลการทดลองทำแห้งพริกชี้ฟ้าแดงแบบธรรมชาติ

Time (min)	$T_{A, av}$ (^{o}C)	$T_{M, av}$ (^{o}C)	RH_{av} (%)	W_{av} (g)	$M_{ev, av}$ (g)	X=Ln(Ra)	Y= Ln[M_{ev}/Z]
0	30.0	28.8	58.7	775.27	0.00	-	-
15	31.6	30.3	45.3	769.97	5.30	13.35±0.54	2.21±0.02
30	32.3	31.5	35.0	767.33	7.93	13.34±0.26	1.68±0.05
45	34.3	32.7	26.3	762.40	12.87	13.85±0.43	1.53±0.19
60	35.7	33.2	18.7	759.53	15.73	14.10±0.64	1.31±0.23
75	36.7	34.1	15.7	756.50	18.77	14.38±0.41	1.17±0.20
90	36.3	34.5	11.0	753.03	22.23	13.51±0.68	1.10±0.18
105	37.3	34.8	11.7	748.47	26.80	14.09±0.51	1.10±0.12
120	38.3	35.1	10.0	745.27	30.00	14.44±0.48	1.03±0.11
135	38.3	34.8	6.7	741.50	33.77	14.64±0.14	1.00±0.09
150	39.3	35.1	3.0	735.13	40.13	14.82±0.31	0.99±0.03
165	39.0	34.7	1.3	732.87	42.40	14.91±0.50	0.96±0.03
180	40.7	35.3	3.0	727.23	48.03	14.95±0.37	0.95±0.06



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำของพริกระหว่างการทำแห้งแบบธรรมชาติ



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพริกระหว่างการทำแห้งแบบธรรมชาติ

วิจารณ์

โดยอาศัยสมการที่ (10) และ (11) คำนวณค่า N และ n ของการตากแห้งพริกแดงได้เท่ากับ 1.0011 และ 0.0705 ตามลำดับ ที่ Pr = 0.7052 และ $2.9312 \times 10^5 < Gr < 6.3721 \times 10^6$ ส่วนพริกชี้ฟ้าแดงมีค่า N และ n เท่ากับ 1.0017 และ 0.0871 ตามลำดับ ที่ Pr = 0.7052 และ $3.6632 \times 10^5 < Gr < 6.1390 \times 10^6$ ซึ่งเมื่อนำค่าคงที่ N และ n ที่ได้นี้ไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ โดยการแทนค่ากลับในสมการ (3) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยของการทำแห้งพริกแดงและพริกชี้ฟ้าแดง โดยการตากแห้งกลางแจ้งมีค่าเท่ากับ 0.7199 และ 0.9020 วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส ตามลำดับ

โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของพริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 40 นาที แรกของการตากแห้งหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเข้าสู่สมดุล เนื่องจากพริกมีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำในเมล็ดมากในช่วง 40 นาที แรก เมื่อตากแห้งพลังงานจากแสงอาทิตย์จะระเหยน้ำได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจึงค่อยๆ ลดลง (ภาพที่ 3) และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยของการทำแห้งพริกแดงและพริกชี้ฟ้าแดงที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของกุ้ง (Macrobrachium lamarret) และปลาลี้ฮื้อ (Oxygaster bacaila) [10] ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติอยู่ในช่วง 0.376-9.929 วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส แต่มีค่าน้อยกว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของข้าวสาลี ถั่วเขียว [7] ขิง [8] และแกนสับปะรดแช่อิ่ม [9] ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในระหว่างการทำแห้งภายใต้การตากแห้งที่ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานอยู่ในช่วง 9.11-16.68 วัตต์/เมตร^2-องศาเซลเซียส การวิจัยสามารถสรุปได้ว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยของการทำแห้งพริกแดงมีค่าต่ำกว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยของพริกชี้ฟ้าแดง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณฮูเซ็ง ชายดานา และคุณมะยุฟรี ยะแอโซ๊ะ นักวิทยาศาสตร์สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองต่างๆ ของการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Maneechat, N.: Chili (In Thai). O. S. Printing House, Bangkok. 186 p., 1998.
2. Chili spur pepper [cited 2 October 2012]. Available from: http://www.the-than.com/samonpai/P/49.html.
3. Ultimate guide to drying hot peppers. The official scott roberts web site, [cited 2 October 2012]. Available from: http://www.scottrobertsweb.com/Ultimate-Guide-to-Drying-Hot-Peppers.php.
4. Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W.: Drying cereal grains, 3rd ed. The AVI publishing, Westport, Connecticut. 265 p., 1974.
5. Bala, B.K.: Drying and storage of cereal grains. Oxford & IBH Publishing, New Delhi. 312 p., 1997.
6. Anwar, S.I. and Tiwari, G.N.: Evaluation of convective heat transfer coefficient in crop drying under open sun drying conditions. Energy Conversion and Mangement 42(5): 627-637, 2001.

7. Goya, R.K. and Tiwari, G.N.: Heat and mass transfer relations for crop drying. Drying Technology 16(18): pp. 1741-1754, 1998.
8. Mani, M., Kaew-on, J. and Boonma, P.: Determination of convective heat transfer coefficient of ginger drying under natural convection. [cited 12 August 2012]. Available from: http://www.scisoc.or.th/stt/30/sec__j/paper/stt30__J0016.pdf.
9. Marina, M. and Jompob, W.: Evaluation of convective heat transfer coefficient in core of pineapple glace drying under open sun drying. Proceedings of the 1st Conference on Energy Network of Thailand, Cholburi. 1:4 p., 2005.
10. Dilip J,: Determination of convective heat and mass transfer coefficients for solar drying of fish. Biosystems Engineering 94(3): 429-435, 2006.
11. Tiwari, G.N., Kumar, S. and Prakash, O.: Evaluation of convective mass transfer coefficient during drying of jiggery. J. of Food Eng. 63(2): 219-227, 2003.
12. Tiwari, G.N. and Tripathi, R.: Study of heat and mass transfer in door conditions for distillation. Desalination 54(2): 161-169, 2003.
13. Tiwari, G.N., Minocha, A., Sharma, P.B., and Emran K.M.: Simulation of convective mass transfer in a solar distillation process. Energy Conversion and Management 38(8): 761-770, 1997.
14. Tiwari, G.N. and Suneja, S.: Solar thermal engineering systems. Narosa Publisging House, New Delhi. 412 p., 1997.
15. Toyama, S., Nakamura, M., Salah, H.M., Futamura, S. and Murase, K.: Laboratory test of solar-distillator with a heat penetrating plate having a bend. Desalination 67: 67-73, 1987.