

# การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแกนสับปรดแช่อิ่มอบแห้งภายใต้การตากแห้ง โดยแสงอาทิตย์

## Evaluation of Convective Heat Transfer Coefficient of Pineapple Glace' Core Drying Open Sun Drying

มารีนา มะหนิ<sup>1</sup> จอมภพ แววศักดิ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อ.เมือง จังหวัดสงขลา 90000

โทร 0-7431-1885-7 ต่อ 2421 E-mail : [marina@tsu.ac.th](mailto:marina@tsu.ac.th)

Marina Mani<sup>1</sup> Jompob Waewsak<sup>1</sup>

Physics Department, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000, Thailand

Tel : 0-7431-1885-7 Ext. 2421 E-mail : [marina@tsu.ac.th](mailto:marina@tsu.ac.th)

### บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในระหว่างการอบแห้งแกนสับปรดแช่อิ่มภายใต้การตากแห้งโดยแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการพาความร้อนแบบธรรมชาติ โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ  $Nu = h_c X / K_v = C (Gr \cdot Pr)^n$  โดยที่ค่าคงที่ C และ n หาได้โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจากผลการทดลอง ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในการอบแห้งแกนสับปรดแช่อิ่ม ( $h_c$ ) เท่ากับ  $9.11 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  ที่  $Pr = 0.7$  และ  $1.47 \times 10^2 < Gr < 1.19 \times 10^3$

**คำสำคัญ;** สัมประสิทธิ์การพาความร้อน / แกนสับปรดแช่อิ่ม / พลังงานแสงอาทิตย์

### Abstract

This paper, an attempt has been made to evaluate the convective heat transfer coefficient obtained by of Pineapple Glace' Core drying open sun drying (natural convection). Values of the constants, C and n were obtained by a linear regression analysis from the experimental data determined. Based on the values of C and n convective heat transfer coefficient of Pineapple Glace' Core drying was  $9.11 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Specify the conditions  $Pr = 0.7$  and  $1.47 \times 10^2 < Gr < 1.19 \times 10^3$ .

**Keyword;** Convective heat transfer coefficient / Pineapple glace' core / Solar drying

### 1. บทนำ

การลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตรโดยการตากกลางแจ้ง และรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงเป็นวิธีพื้นฐานในการอบแห้ง และทำได้ง่าย ในกรณีนี้จะศึกษาความร้อนที่ใช้ในการลดความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรซึ่งเป็นการอบแห้งโดยใช้วิธีธรรมชาติ

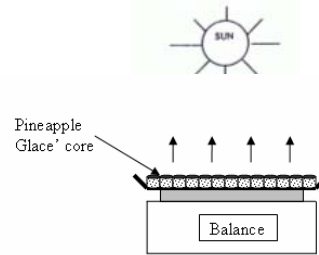
สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการหาแบบจำลองการอบแห้ง ซึ่งใช้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศและวัสดุ [1] ความหนาของชั้นวัสดุจะใช้ลักษณะชั้นบางโดยที่มีความหนาต่ำกว่า 20 cm [2] และปริมาตรของวัสดุ

Goyal และ Tiwari [3] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและมวลในการอบแห้งข้าวสาลีและถั่วเขียว พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของข้าวสาลีและถั่วเขียวคือ 16.68 และ  $9.62 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  ตามลำดับ Anwar และ Tiwari [4] ได้ศึกษาหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผลผลิตทางการเกษตร 6 ชนิด คือพริกชี้หนูเขียว ถั่วเขียว ถั่วขาว หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง และดอกกะหล่ำ ทำการอบแห้งโดยการตากกลางแจ้ง ซึ่งใช้การพาความร้อนแบบธรรมชาติ จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ได้อยู่ในช่วง  $3.5 - 26 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  ซึ่งในครั้งนี้จะหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของแกนสับปรดแช่อิ่ม โดยการตากกลางแจ้งรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง

### 2. การทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการทดลองในเดือนมกราคม 2548 โดยการนำเอาชิ้นแกนสับปรดแช่อิ่มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และหนา 1.2 เซนติเมตร วางในภาดตะแกรงซึ่งมีขนาด  $0.45 \times 0.19$  ตารางเมตร ซึ่งใช้ในการตากแห้งกลางแจ้ง ทำการวัดอุณหภูมิของแกนสับปรดแช่อิ่มที่วางบนภาดตะแกรง และอุณหภูมิของอากาศเหนือผิวแกนสับปรดแช่อิ่มหลายๆ ตำแหน่ง โดยทำการวัดทุก ๆ 15 นาที ซึ่งใช้สายเทอร์โมคัปเปิลชนิดคอปเปอร์ - คอนสแตนตัน ต่อเชื่อมอยู่กับเครื่อง

อ่านอุณหภูมิ 6 ช่อง (ค่าความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส) ใช้ไฮโกรมิเตอร์ (ค่าความละเอียด 1 เปอร์เซ็นต์) วัดความชื้นสัมพัทธ์ อากาศเหนือผิวแกนสับปะรดแช่แข็ง ขณะที่ทำการทดลองภาคตะแกรงของแกนสับปะรดแช่แข็งวางบนเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอ่านค่าได้สูงสุด 1.5 กิโลกรัม (ค่าความละเอียด 0.1 กรัม) จะทำการบันทึกน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 15 นาที จนถึง 150 นาที โดยที่ความแตกต่างของน้ำหนักในแต่ละช่วงเวลา คือปริมาณน้ำในแกนสับปะรดแช่แข็งที่สูญเสียไปในระหว่างการตากแห้ง ในการทดลองในครั้งนี้ ไม่น่าค่าความเร็วลมมาเป็นตัวแปรในการทดลอง ทำการทดลองซ้ำอีก 4 ครั้ง เช่นเดิม นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและหาค่าความผิดพลาดของการทดลองในเทอมของค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอน (percent uncertainty) แสดงรูปการทดลองการตากแห้งแกนสับปะรดแช่แข็งกลางแจ้งดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการทดลองการตากแห้งกลางแจ้งของแกนสับปะรดแช่แข็ง

### 3. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งเป็นตัวอย่างผลการทดลอง 1 ครั้ง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการตากแห้งของแกนสับปะรดแช่แข็ง

No.	Time (min)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	γ (dec.)	Weight of Pineapple Glace' Core (g)	m <sub>ev</sub> (g)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	γ (dec.)
1	0	37.85	49.20	0.316	460.96	-	-	-	-
2	15	37.03	46.60	0.321	431.36	19.60	37.44	47.90	0.3185
3	30	36.00	46.80	0.311	419.57	11.79	36.52	46.70	0.316
4	45	36.62	47.20	0.325	412.53	7.04	36.31	47.00	0.318
5	60	35.37	46.50	0.328	397.41	15.12	35.99	46.85	0.327
6	75	35.07	42.30	0.352	383.52	13.89	35.22	44.40	0.340
7	90	32.10	45.10	0.340	372.12	11.40	35.58	43.70	0.346
8	105	34.20	43.10	0.366	363.29	8.83	33.15	44.10	0.353
9	120	33.00	42.50	0.401	353.64	9.65	32.60	42.80	0.384
10	135	32.00	48.70	0.376	346.93	6.71	32.50	45.60	0.389
11	150	32.12	36.50	0.507	339.32	7.61	32.06	42.60	0.442

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับการตากแห้ง ซึ่งเป็น การพาความร้อนแบบธรรมชาติสามารถแสดงในเทอมของ Nusselt Number [5]

$$Nu = \frac{h_c X}{K_v} = C(Gr.Pr)^n, \text{ หรือ } h_c = \frac{K_v}{X} C(Gr.Pr)^n \quad (1)$$

อัตราการความร้อนที่ใช้ในการระเหยของน้ำในวัสดุซึ่งอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ หาได้โดย [6]

$$\dot{Q}_e = 0.016 h_c [P(T_c) - \gamma P(T_e)] \quad (2)$$

แทนค่า h<sub>c</sub> จากสมการที่ (1) ในสมการที่ (2) จะได้

$$\dot{Q}_e = 0.016 \frac{K_v}{X} C(Gr.Pr)^n [P(T_c) - \gamma P(T_e)] \quad (3)$$

หามวลของไอน้ำที่ระเหยโดยการนำสมการที่ (3) หารด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (λ) และคูณด้วยพื้นที่ของภาคตะแกรง (A<sub>t</sub>) และช่วงเวลา (t) จะได้

$$m_{ev} = \frac{\dot{Q}_e}{\lambda} A_t \cdot t = 0.016 \frac{K_v}{X \lambda} C(Gr.Pr)^n [P(T_c) - \gamma P(T_e)] \cdot t A_t \quad (4)$$

$$\text{ให้ } 0.016 \frac{K_v}{X \lambda} C(Gr.Pr)^n [P(T_c) - \gamma P(T_e)] \cdot t A_t = Z$$

$$\frac{m_{ev}}{Z} = C(Gr.Pr)^n \quad (5)$$

ทำให้อยู่ในรูปของ logarithm ทั้งสองข้างของสมการที่ (5)

$$\ln\left[\frac{m_{ev}}{Z}\right] = \ln C + n \ln(Gr.Pr) \quad (6)$$

พิจารณาในรูปของสมการเส้นตรง

$$Y = mX_0 + C_0$$

เมื่อ  $Y = \ln\left[\frac{m_{ev}}{Z}\right]$ ,  $m = n$ ,  $X_0 = \ln[Gr.Pr]$

$$C_0 = \ln C \quad \text{ดังนั้น} \quad C = e^{C_0}$$

ค่า C และ n สามารถหาได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น การหาค่าสมบัติทางกายภาพของอากาศชื้นซึ่งประกอบไปด้วยค่าความร้อนจำเพาะ ( $C_v$ ) สภาพนำความร้อน ( $K_v$ ) ความหนาแน่น ( $\rho_v$ ) ความหนืด ( $\mu_v$ ) และค่าความดันไอย่อย (P(T)) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$C_v = 999.2 + 0.1434T_i + 1.101 \times 10^{-4} T_i^2 - 6.7581 \times 10^{-8} T_i^3 \quad (7)$$

$$K_v = 0.0244 + 0.6773 \times 10^{-4} T_i \quad (8)$$

$$\rho_v = \frac{353.44}{(T_i + 273.15)} \quad (9)$$

$$\mu_v = 1.718 \times 10^{-5} + 4.620 \times 10^{-8} T_i \quad (10)$$

$$P(T) = \exp\left[25.317 - \frac{5144}{(T_i + 273.15)}\right] \quad (11)$$

$$T_i = \frac{T_c + T_e}{2} \quad (12)$$

การหาค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการทดลองใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความไม่แน่นอนหาได้จากสมการดังนี้

$$U_1 = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_N^2}}{N} \quad (13)$$

เมื่อ  $\sigma$  คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หาได้จาก

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N}} \quad (14)$$

และค่า  $x - \bar{x}$  คือค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละครั้งจากค่าเฉลี่ยของข้อมูล และ N คือจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนหาได้จาก

$$\% \text{uncertainty} = \frac{U_1}{\text{average total number observation}} \quad (15)$$

#### 4. ผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของอากาศที่ใช้ในการตากแห้ง โดยใช้อุณหภูมิเฉลี่ยของแกนสับปะรดแช่อิ่ม ( $\bar{T}_c$ ) อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศเหนือผิวแกนสับปะรดแช่อิ่ม ( $\bar{T}_e$ ) และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ( $\bar{Y}$ ) ซึ่งสมบัติทางกายภาพของอากาศใช้ในการหาค่า Grashof Number (Gr) และค่า Prandtl Number (Pr) โดยที่ค่าคงที่ C และ n หาจากการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งได้ค่า C และ n เท่ากับ 1.04 และ 0.3 ตามลำดับ นำค่า C และ n แทนในสมการที่ (1) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $h_c$ ) เท่ากับ  $9.11 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$  ที่  $Pr = 0.7$  และ  $1.47 \times 10^2 < Gr < 1.19 \times 10^3$  และค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนเท่ากับ 9.13 %

#### 5. สรุปผล

ในกรณีการนำแกนสับปะรดแช่อิ่มตากกลางแจ้ง ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนหาได้จากค่าคงที่ C และ n ซึ่งได้จากผลการทดลองโดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น และหาค่าความผิดพลาดของการทดลองโดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอน

#### สัญลักษณ์

$A_t$	คือพื้นที่ผาดตะแกรง ( $\text{m}^2$ )
$C, n$	คือค่าคงที่
$C_v$	คือความร้อนจำเพาะของอากาศ ( $\text{J/kg } ^\circ\text{C}$ )
$g$	คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $\text{m/s}^2$ )
$Gr$	คือ Grashof number = $\beta g X^3 \rho^2 \Delta T / \mu_v^2$
$h_c$	คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ )
$K_v$	คือค่าการนำความร้อนของอากาศ ( $\text{J/m}^{20}\text{ }^\circ\text{C}$ )
$m_{ev}$	คือมวลของน้ำที่ระเหย (kg)
$Nu$	คือ Nusselt Number = $h_c X / K_v$
$Pr$	คือ Prandtl Number = $\mu_v C_v / K_v$
$P(T)$	คือความดันไอย่อยที่อุณหภูมิ T ( $\text{N/m}^2$ )
$\dot{Q}_e$	คืออัตราการความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในวัสดุ ( $\text{J/m}^2\text{ s}$ )
$t$	คือเวลา (s)

$T_c$	คืออุณหภูมิของวัสดุ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_e$	คืออุณหภูมิของอากาศเหนือผิววัสดุ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\bar{T}_c$	คืออุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\bar{T}_e$	คืออุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศเหนือผิววัสดุ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_i$	คืออุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิวัสดุกับอุณหภูมิอากาศเหนือผิววัสดุ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\Delta T$	คือผลต่างของอุณหภูมิอากาศเหนือผิววัสดุกับอุณหภูมิวัสดุ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$X$	คือขนาดของวัสดุ (m)

#### ตัวอักษรกรีก

$\beta$	คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ ( $1/^{\circ}\text{C}$ )
$\gamma$	คือความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (dec.)
$\bar{\gamma}$	คือความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ย (dec.)
$\lambda$	คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (J/kg)
$\mu_v$	คือความหนืดพลวัตของอากาศ (kg/m)
$\rho_v$	คือความหนาแน่นของอากาศ ( $\text{kg/m}^3$ )

#### เอกสารอ้างอิง

1. Thompson, T.L., Peart, R.M., and Foster, G.H., Trans ASAE, 12 (4) , 582 , 1968.
2. Chakraverty, E.A., “ Post Harvest Technology of Cereals, Pulses and Oilseeds ”, New Delhi , Oxford and IBH Publishing Co., 1997.
3. Goyal, R.K., and Tiwari, G.N., Drying Technology, 16(8), 1741, 1998.
4. Anwar, S.I., and Tiwari, G.N., “ Evaluation of Convective Heat Transfer Coefficient in Crop Drying Under Open Sun Drying Conditions “ , Energy Conversion and Management , Vol. 42, pp. 627 – 637 , 2001.
5. Tiwari, G.N., and Suneja, a., “ Solar Thermal Engineering Systems “ , New Delhi, Tata McGraw Hill, 1997.
6. Tiwari, G.N., and Lawrence.S.A., Energy Converse Manag, 31 : 201 , 1991.