

สมการชั้นบางของปลา尼ลอบแห้งด้วยลมร้อน
Thin Layer Equation of *Tilapia Nilotica* Drying Using Hot Air

อร่าไพศักดิ์ ตีบูญมา¹ และ ประทีป ตุ่นทอง¹
 Umphisak Teeboonma¹ and Prateep Toomthong¹

Abstract

The objective of this research was to determine the suitable thin layer equation for *Tilapia nilotica* drying by using hot air. The experiments were conducted on the following parameters: air velocities of 1.0, 1.5 and 2.0 m/s and drying temperatures of 50, 60 and 70°C. Thin layer drying equations used were Two term, Page, Modified Page I, Logarithmic, Two term exponential, Henderson and Pabis, Approximation of diffusion and Newton. The experimental results showed that drying rate of *Tilapia nilotica* increases with increment of drying temperature or air velocity. Additionally, the analysis results revealed that Two term equation yields the highest coefficient of determination (R^2 , 0.99899) and the lowest root mean square error (RMSE, 0.0092).

Keywords: Drying, Hot air, Thin layer equation

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ หาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งปลา尼ลอบด้วยลมร้อน โดยมีเงื่อนไข การทดลอง คือ ความเร็วลม 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของอากาศอบแห้งเท่ากับ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส สมการอบแห้งชั้นบางที่ศึกษาประกอบด้วยสมการของ Two term, Page, Modified Page I, Logarithmic, Two term exponential, Henderson and Pabis, Approximation of diffusion และ Newton ผลจากการศึกษาพบว่าอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งหรือความเร็วลม นอกจากนี้จากการวิเคราะห์พบว่าสมการ Two term สามารถทำนายผลการอบแห้งปลา尼ลอบด้วยลมร้อนได้ดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 (0.99899) มากที่สุด และค่า RMSE (0.0092) น้อยที่สุด

คำสำคัญ: การอบแห้ง ลมร้อน สมการอบแห้งชั้นบาง

คำนำ

การแปรรูปผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะทำโดยการลดความชื้นซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี (Chua and Chou, 2003) และสำหรับ การอบแห้งด้วยลมร้อนก็เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีต้นทุนในการสร้างเครื่องที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งชนิดอื่นๆ เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนสามารถใช้แล้วความร้อนได้จากหลังผลผลิตที่นำไปได้ง่าย เช่น จากขดลวดความร้อน เครื่องเพิงต่างๆ หรือ พลังงานแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามสำหรับพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถทำได้หากสภาพอากาศ ไม่เอื้ออำนวย และต้องใช้พื้นที่มาก (Soponronnarit, et al., 1992) ส่งผลให้ อัตราการผลิตต่ำ การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการพาความร้อน(convection) โดยความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทด้วยการพาความร้อนสูญเสียของผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นความร้อนจะถูกถ่ายเทจากผิวของผลิตภัณฑ์สู่ภายใน โดยอาศัยการนำความร้อน ซึ่งจะเป็นผลให้ความตันไอของน้ำที่มีอยู่ภายในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในถูกขับออกมาก จากข้อสรุปเมื่อองค์นงนวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะศึกษาการอบแห้งปลา尼ลอบด้วยลมร้อน เนื่องจากมีการทำเพื่อเป็นศิริสันต์ ดำเนินการในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีการแปรรูปในรูปแบบของปลา尼ลอบเดียวเป็นสินค้าหนึ่ง ตามโครงการ OTOP (ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้า, 2552) โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาพัฒนาระบบการอบแห้งปลา尼ลอบที่มีลักษณะเป็นเส้นตัวว

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ช.วันชั่ววัน จ.อุบลราชธานี 34190

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Warinchumrab District, Ubon Ratchathani Province, 34190

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษาทดลองในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องอบแห้งแบบเตา (Tray dryer) ซึ่งใช้พลังงานจากชุดความร้อน (Heater) ตั้งแสดง ใน Figure 1

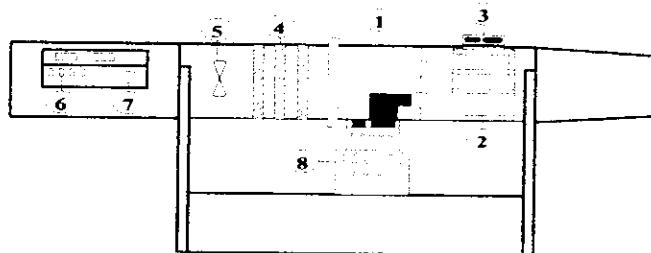


Figure 1. Experimental set-up. 1) Drying chamber 2) Tray products 3) Load cell 4) Heater 5) Fan
6) Temperature control 7) Air velocity control 8) Data logger

ชุดทดลองประกอบด้วยห้องอบแห้งทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดเท่ากับ $25 \times 150 \times 25$ เซนติเมตร (กว้าง × ยาว × สูง) อุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นชุดความร้อนขนาด 6 kW พัดลมเป็นแบบไฟฟ้าตามแนวแกนมอเตอร์ขนาด 500 W สามารถปรับความเร็วได้ 6 档 หมุนหมายการที่ตัวแผงต่างๆ วัดโดยใช้เทอร์โมคันเพลสเซนติก K ต่อเข้ากับ data logger ความเร็วของอากาศ อบแห้ง วัดโดยใช้ hot wire anemometer วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยใช้เกลียวตัวร้อนในมิเตอร์ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักซึ่งโดยใช้ในหลอดเซลล์ และต่อเข้า data logger เพื่อบันทึกค่าน้ำหนักตลอดช่วงการทดลอง ในส่วนวิธีทดลอง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบแห้ง คือ ปลา尼罗 (Tilapia nilotica) โดยรำขะเหลาส่วนที่เป็นหัวและก้างออก แล้วเอาส่วนที่เป็นเนื้อมาน้ำด้วยเครื่องหั่นน้ำหัวตัวปลา ความกว้างของเส้นเนื้อปลาประมาณ 1 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำมาระบายเรียงบนตะขอแห้งโดยไม่ให้หักหันบันทึก ปลาสดที่ทำการทดลองมีความชื้นเริ่มต้น 300-350 %d.b. อบจนกระหั่นน้ำหนักผลิตภัณฑ์คงที่ โดยทำการทดลองอบแห้งภายใต้เงื่อนไขความเร็วของลมร้อน 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิอบแห้ง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกข้อมูลน้ำหนัก อุณหภูมิอบแห้ง และอุณหภูมิภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ ทุกๆ 1 นาที โดยใช้ Data logger

การศึกษาสมการฯ จนผลศาสตร์การอบแห้งขั้นบางของปลา尼罗 ทำได้โดยนำค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของสมการอบแห้งขั้นบางที่ใช้สำหรับคำอัตราส่วนความชื้น ซึ่งอยู่ในรูปสมการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี (Semi-Theoretical Drying Equation) โดยเป็นรูปแบบของผลทดลองอย่างร่ายรำใน Table 1

Table 1 Thin layer drying models

No.	Model equation	Name of model	References
1	$MR = \exp(-kt)$	Newton	Ayensu, 1997
2	$MR = \exp(-kt^n)$	Page	Simal, et al., 2005
3	$MR = \exp(-(kt)^n)$	Modified Page I	Diamante and Munro, 1993
4	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis	Yaldiz, et al., 2001
5	$MR = a \exp(-kt) + c$	Logarithmic	Togrul and Pehlivan, 2003
6	$MR = a \exp(-k_1 t) + b \exp(-k_2 t)$	Two term	Henderson, 1974
7	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Two term exponential	Sharaf-Eldeen, et al., 1980
8	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	Approximation of diffusion	Yaldiz and Ertekin, 2001

การศึกษาฯ จนผลศาสตร์การอบแห้งของปลา尼罗 ศึกษาในรูปของอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) โดยคำนวณจากสมการที่ (1)

$$MR = \frac{M_t}{M_{in}} \quad (1)$$

เมื่อ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, % d.b., M_t คือ ความชื้นที่เหลือได้, % d.b.

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสมการการอบแห้งร้อนบาง ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยแบบไม่เส้น (Nonlinear regression) ซึ่งมีตัวชี้บ่งชี้ความสามารถในการทำนายของสมการ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R²) และค่า根 mean square error, RMSE โดยที่ RMSE มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{predict},i} - MR_{\text{experiment},i})^2}{N}} \quad (2)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ผลการทดสอบและวิจารณ์

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ การอบแห้งปานิลที่มีลักษณะเป็นเส้นตัวยลร้อน เพื่อหาสมการการอบแห้งร้อนบางที่เหมาะสมสำหรับอุณหภูมิการอบแห้งมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

จากการทดสอบหาอัตราการอบแห้งร้อนของปานิล โดยได้ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C และความเร็วลม 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที ได้ทำการเบรี่ยงเทียนสมการทางคณิตศาสตร์ตามสมการอบแห้งร้อนบางที่สรุปไว้ใน Table 1 และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิ และความเร็วลม ต่อค่าคงที่สมการอบแห้งร้อนบาง (k) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$K = x_0 + x_1 T + x_2 V + x_3 TV \quad (3)$$

เมื่อ K คือ a, b, c, k, k₁, k₂ และ T คือ อุณหภูมิอบแห้ง V คือ ความเร็วลม x_i คือ ค่าคงที่สมการที่ (3)

Table 2 Values of model constants and statistical parameters

Model	Parameter	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	R ²	RMSE
Newton	k	-0.00453	0.00212	0.00012	-0.00003	0.97106	0.0488
Henderson and Pabis	a	0.90310	-0.01690	-0.00041	0.00031		
	k	-0.00380	0.00174	0.00010	-0.00002	0.99072	0.0277
Two term exponential	a	0.17592	-0.03407	0.00086	-0.00003		
	k	-0.01748	0.01067	0.00041	-0.00009	0.99410	0.0221
Modified Page I	k	-0.01455	0.00880	0.00048	-0.00013		
	n	0.72023	0.00071	0.00029	-0.00006	0.99855	0.0110
Page	k	-0.01499	0.00915	0.00048	-0.00013		
	n	0.72058	-0.83839	-0.01748	0.01652	0.99855	0.0110
Approximation of diffusion	a	0.39043	-0.14594	-0.00307	0.00273		
	b	0.33347	-0.18749	-0.00405	0.00339	0.97141	0.0083
	k	-0.07508	0.05127	0.00162	-0.00088		
Logarithmic	a	0.86789	-0.09014	-0.00105	0.00137		
	k	-0.00710	0.00408	0.00017	-0.00006	0.99586	0.0186
	c	0.03815	0.11502	0.00139	-0.00173		
Two term	a	0.46105	0.30369	0.00605	-0.00583		
	b	0.44101	-0.18336	-0.00367	0.00336		
	k ₁	-0.00434	0.00250	0.00011	-0.00004	0.99899	0.0092
	k ₂	-0.08211	0.06397	0.00182	-0.00115		

Table 2 แสดงค่าคงที่ของสมการการอบแห้งชั้นบาง, R^2 และ RMSE จากผลการวิเคราะห์ที่ศูนย์วิจัยฯ ในการ พบว่า สมการ Two term สามารถทำนายผลการอบแห้งปลา尼ลด้วยลมร้อนได้ดีที่สุด โดยได้ค่า R^2 (0.99899) มากที่สุด และค่า RMSE (0.0092) น้อยที่สุด นอกจากนี้หากเรียงความสามารถในการทำนายผลการอบแห้ง จากมากไปน้อยจะได้ดังนี้ Two term, Page, Modified Page I, Logarithmic, Two term exponential, Henderson and Pabis, Approximation of diffusion และ Newton ตามลำดับ

จากผลสรุปข้างต้นเมื่อนำผลการทดสอบมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับผลคำนวนจากสมการ Two term พบร่วม ความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีทุกเงื่อนไข ดังที่แสดงใน Figure 2 และ 3

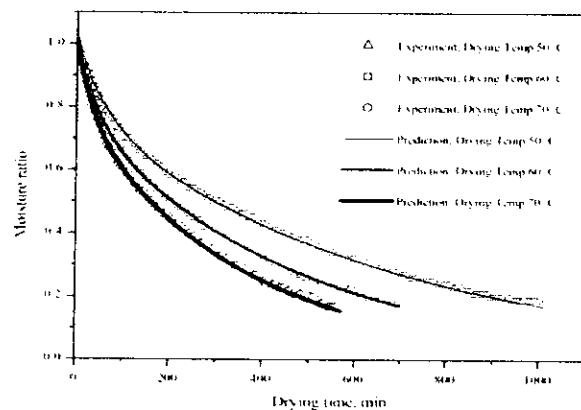


Figure 2 Variation of experimental and predicted moisture ratios by Two term model with drying time at air velocity of 1.0 m/s

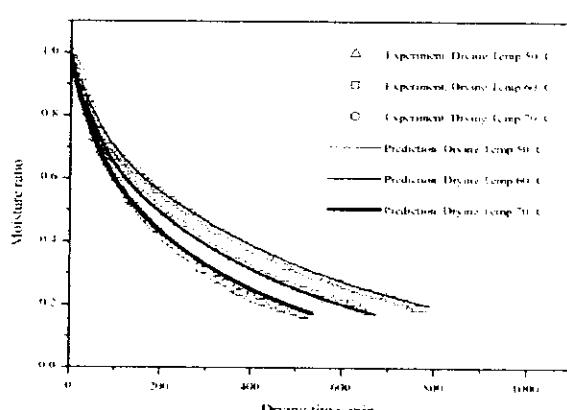


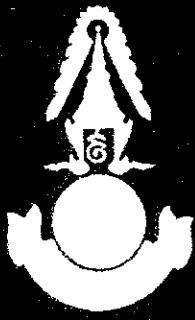
Figure 3 Variation of experimental and predicted moisture ratio by Two term model with drying time at air velocity of 1.5 m/s

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบ และศึกษาการอบแห้งปลา尼ลด้วยลมร้อน จากการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง หรือความเร็วลม มีผลทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์เบรียบเทียบสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 8 สมการ พบร่วม สมการ Two term สามารถทำนายผลการอบแห้งเนื้อปลา尼ลที่มีลักษณะเป็นเส้นด้วยลมร้อนได้ดีที่สุด โดยได้ค่า (R^2) 0.99899 มากที่สุด และค่า (RMSE) 0.0092 น้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้า 2552. ปลา尼ลดาวรุ่งดวงใหม่สินค้าประจำปี ประมงส่องออกของไทย [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.ry9.com> เข้าดูเมื่อวันที่ 29/09/2009.
- Ayensu, A. 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. Solar Energy 59: 121-126.
- Chua, K. J. and S. K. Chou. 2003. Low-cost drying methods for developing countries. Trends in Food Science 14: 519-528.
- Diamante, L. M. and P. A. Munro. 1993. Mathematical modelling the thin layer solar drying of sweet potato. Solar Energy 51: 271-276.
- Henderson, S. M. 1974. Progress in developing the thin-layer drying equation. Transactions of the ASAE 17: 1167-1172.
- Simal, S., A. Femenia, M.C. Garau and C. Rossell. 2005. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. Journal of Food Engineering 66: 323-328.
- Soponronnarit, S., D. Nattawut, J. Hirunlabh, P. Namprakai and S. Thepa. 1992. Computer simulation of solar energy assisted fruit drying. RERIC International Energy Journal 14: 59-70.
- Sharaf-Eldeen, Y. I., J.L. Blaisdell and M.Y. Hamdy. 1980. A model for ear corn drying. Transactions of the ASAE 23: 1261-1271.
- Togrul, I.T. and D. Pehlivan. 2003. Modelling of drying kinetics of single apricot. Journal of Food Engineering 58: 23-32.
- Yaldiz, O., C. Ertekin and H.I. Uzun. 2001. Mathematical modelling of thin layer solar drying of sultana grapes. Energy-An International Journal 26: 457-465.
- Yaldiz, O. and C. Ertekin. 2001. Thin layer solar drying some different vegetables. Drying Technology 19: 583-597.



วารสาร

ISSN 0125-0369

วิทยาศาสตร์เกษตร

AGRICULTURAL SCIENCE JOURNAL

ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 [พิเศษ] มกราคม - เมษายน 2554

Vol. 42 No. 1 (Suppl.) January - April 2011

การศึกษาทางวิทยาศาสตร์เกษตรและสหศาสตร์

การศึกษาทางวิทยาศาสตร์เกษตรและสหศาสตร์ ประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๔

การศึกษาทางวิทยาศาสตร์เกษตรและสหศาสตร์ ประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๔



ระหว่างวันที่ 1 - 3 กันยายน 2553
ณ โรงแรมดิเวย์นเพรส เชียงใหม่

จัดโดย ศูนย์บัณฑิตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

