

การศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งปลานิล *Tilapia nilotica* (ด้วยลมร้อน)Study on Drying Behavior of *Tilapia nilotica* Using Hot Air

ประทีป ตุ่มทอง¹ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา² ประพันธ์พงษ์ สมศิลา¹ และ ธนกร หอมจำปา¹
Prateep Toomthong¹, Umphisak Teeboonma², Prapanpong Somsila¹ and Tanagorn Homchampa¹

Abstract

The objectives of this research were to study drying behavior of *Tilapia nilotica* and to find out the suitable thin layer equation for predicting the drying kinetic of *T. nilotica*. To achieve these purposes, experiments were conducted under the following conditions: air velocities of 1.0, 1.5 and 2.0 m/s and the drying temperatures of 50, 60 and 70 °C. The effects of drying conditions on drying rate and specific energy consumption were experimentally investigated. Experimental results showed that drying rate and specific energy consumption increased with the increase in drying air temperature or air velocity. Furthermore, the Two-term equation the best fit equation was found to be ($R^2 = 0.999$) for predicting the drying behavior of *T. nilotica*. With the RMSE value of 0.0092.

Keywords: drying, hot air, thin layer equation

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งปลานิลด้วยลมร้อน และหาสมการการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้ง โดยทำการทดลองอบแห้งภายใต้เงื่อนไขความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษา ได้แก่ อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วลม หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสมการของ Two term สามารถทำนายพฤติกรรมการอบแห้งปลานิลด้วยลมร้อนได้ดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 (0.999) มากที่สุด และ RMSE (0.0092) น้อยที่สุด

คำสำคัญ: การอบแห้ง ลมร้อน สมการอบแห้งชั้นบาง

คำนำ

การลดความชื้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน (Chua and Chou, 2003) เช่น การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งในแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น การอบแห้งด้วยไมโครเวฟเป็นวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบจะมีคุณภาพสูง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความปลอดภัยจากคลื่นสนามแม่เหล็ก ทำให้ยังจำกัดการใช้อยู่แค่เตาอบขนาดเล็กสำหรับใช้ในห้องครัว การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีต้นทุนในการสร้างเครื่องค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมา การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน (convection) โดยความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทด้วยการพาความร้อนสูผิวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลให้ความดันไอของน้ำที่มีอยู่ภายในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในถูกขับออกมา โดยปริมาณพลังงานความร้อนที่ถูกใช้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมและอุณหภูมิ และขณะเดียวกันทั้งสองปัจจัยนี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งปลานิลด้วยลมร้อน ซึ่งมีการแปรรูปในรูปแบบของปลานิลแคตเดียวเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะกลุ่มเกษตรกรบ้านทับไทร จังหวัดอุบลราชธานี (ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้า, 2552)

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จ.สุรินทร์ 32000

¹ Division of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture and technology, Rajamanjala University of technology isan, surin campus, Surin province, 32000

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University Warinchumrab District, Ubon Ratchathani Province, 34190

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษาทดลองในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) ซึ่งใช้พลังงานจากขดลวดความร้อน (Heater) ดังแสดง ใน Figure 1

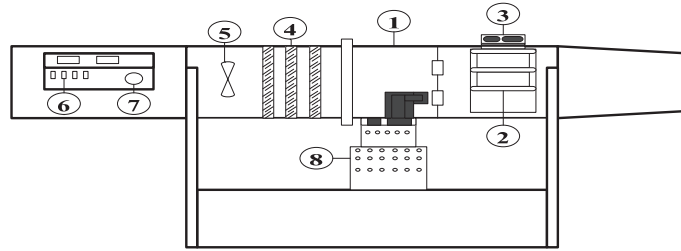


Figure 1 Experimental set-up. 1) Drying chamber 2) Product trays 3) Load cell 4) Heaters 5) Fan
6) Temperature control 7) Control for wind speed 8) Data logger

ชุดทดลองประกอบด้วยห้องอบขนาด $25 \times 150 \times 25$ cm. อุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นขดลวดความร้อนขนาด 6 kW พัฒนเป็นแบบไหลตามแนวแกนมอเตอร์ขนาด 500 W สามารถปรับความเร็วลมได้ อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ วัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับ data logger ความเร็วของอากาศอบแห้ง วัดโดยใช้ hot wire anemometer วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยใช้มิเตอร์วัดชั่วโมงมิเตอร์ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักซึ่งใช้โหลดเซลล์ และต่อเข้ากับ data logger เพื่อบันทึกค่าน้ำหนัก ในส่วนวิธีทดลอง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ออบแห้ง คือ ปลายิน โดยฆ่าเชื้อและเอาส่วนที่เป็นเนื้อมาหั่นด้วยเครื่องหั่นตามความยาวของตัวปลา ปลาสดที่ทดลองมีความชื้นเริ่มต้น 300-350 %d.b. อบจนกระทั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์คงที่ โดยทำการทดลองอบแห้งภายใต้เงื่อนไขความเร็วลมร้อน 1.0 1.5 และ 2.0 m/s และอุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70 °C ทำการบันทึกข้อมูล โดยใช้ data logger สำหรับการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การอบแห้งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในช่วงความชื้นเริ่มต้นจนถึงความชื้นสุดท้ายคงที่ โดยอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) คำนวณจากสมการที่ (1)

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

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

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, Femenia, 2005
3	$MR = \exp(-(kt)^n)$	Modified Page I	Diamante and Munro, 1993
4	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis	Yaldiz, Ertekin and Uzun, 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	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh	Ozdemir, Devres, 1999
8	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	Approximation of diffusion	Yaldiz and Ertekin, 2001
9	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma et al	Doymaz, 2005

ในส่วนของการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งชั้นบาง ทำได้โดยนำค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับสมการการอบแห้งชั้นบางที่ใช้สำหรับทำนายค่าอัตราส่วนความชื้น ซึ่งอยู่ในรูปสมการการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี (Semi-Theoretical Drying Equation) โดยเป็นรูปแบบของผลเฉลยอย่างง่าย รูปแบบสมการพื้นฐานที่ใช้ทำนายการอบแห้งชั้นบางแสดงดังแสดงใน Table 1 สำหรับการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสมการการอบแห้งชั้นบาง ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression) โดยมีดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการทำนายของสมการ คือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) และค่า Root mean square error (RMSE) ซึ่ง RMSE มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2)

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{predict,i} - MR_{experiment,i})^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง การอบแห้งปลานิลที่มีลักษณะเป็นเส้นด้วยลมร้อน เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอบแห้ง ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

Figure 2-5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งปลานิล ที่เงื่อนไขของอุณหภูมิและความเร็วลมต่างๆ จากการทดลองพบว่า ที่ระดับของอุณหภูมิ และความเร็วลมเดียวกัน การอบแห้งที่ความเร็วลม และอุณหภูมิสูง จะให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่ความเร็วลม และอุณหภูมิต่ำ ในกรณีที่พิจารณาภายใต้เงื่อนไขอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.5 ความเร็วลมในการอบแห้ง 1.0 เมตรต่อวินาที พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 79 และ 27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และหากพิจารณาที่ความเร็วลมในการอบแห้ง 2.0 เมตรต่อวินาที พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 45 และ 13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนมากกว่าทำให้เกิดการถ่ายเทความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ได้เร็วซึ่งจะสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์

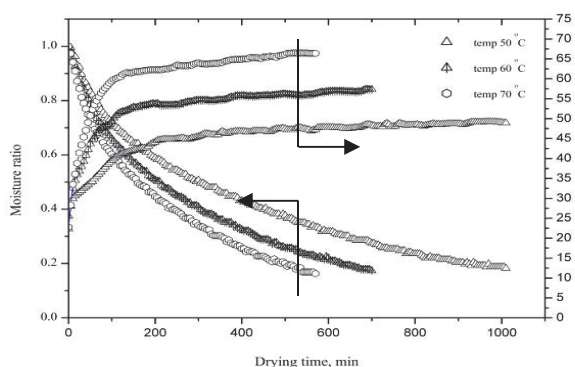


Figure 2 Moisture ratio at air velocity of 1.0 m/s

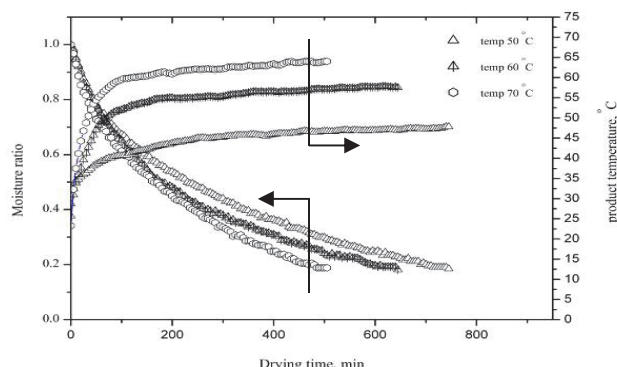


Figure 3 Moisture ratio at air velocity of 2.0 m/s

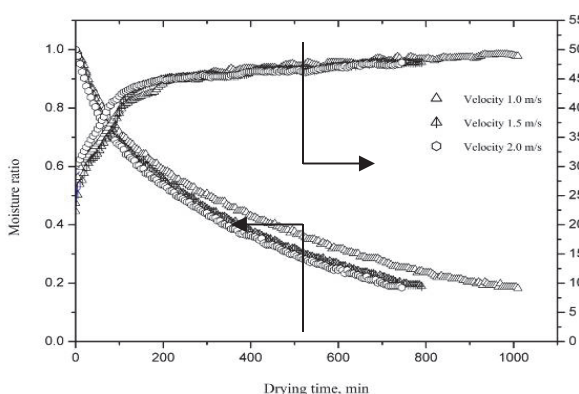


Figure 4 Moisture ratio at air temperature of 50 °C

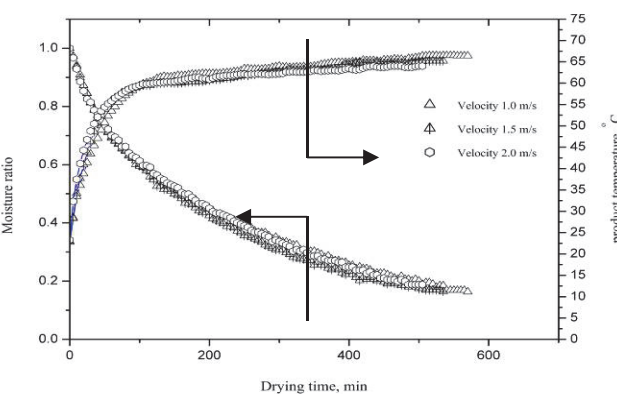


Figure 5 Moisture ratio at air temperature of 70 °C

สำหรับการวิเคราะห์หาสมการอบแห้งชั้นบาง ได้ทำการเปรียบเทียบสมการทางคณิตศาสตร์ที่สรุปไว้ใน Table 1 และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิ และความเร็วลม ต่อค่าคงที่สมการอบแห้งชั้นบาง (k) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$K = x_0 + x_1T + x_2V + x_3TV \tag{3}$$

เมื่อ K คือ a, b, c, g, k₁, k₂ หรือ n, T คือ อุณหภูมิอบแห้ง (°C), V คือ ความเร็วลม (m/s), 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
Page	k	-0.01499	0.00915	0.00048	-0.00013	0.99855	0.0110
	n	0.72058	-0.83839	-0.01748	0.01652		
Modified Page I	k	-0.01455	0.00880	0.00048	-0.00013	0.99855	0.0110
	n	0.72023	0.00071	0.00029	-0.00006		
Henderson and Pabis	a	0.90310	-0.01690	-0.00041	0.00031	0.99072	0.0277
	k	-0.00380	0.00174	0.00010	-0.00002		
Wang and Singh	a	0.00335	-0.00172	-0.00009	0.00002	0.96861	0.0508
	b	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000		
Approximation of diffusion	a	0.39043	-0.14594	-0.00307	0.00273	0.97141	0.0083
	b	0.33347	-0.18749	-0.00405	0.00339		
	k	-0.07508	0.05127	0.00162	-0.00088		
Logarithmic	a	0.86789	-0.09014	-0.00105	0.00137	0.99586	0.0186
	k	-0.00710	0.00408	0.00017	-0.00006		
	c	0.03815	0.11502	0.00139	-0.00173		
Verma <i>et al.</i>	a	0.37858	-0.14814	-0.00263	0.00263	0.99891	0.0095
	k	-0.06104	0.04364	0.00134	-0.00073		
	g	-0.00381	0.00201	0.00010	-0.00003		
Two term	a	0.46105	0.30369	0.00605	-0.00583	0.99899	0.0092
	b	0.44101	-0.18336	-0.00367	0.00336		
	k_1	-0.00434	0.00250	0.00011	-0.00004		
	k_2	-0.08211	0.06397	0.00182	-0.00115		

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และทดลองการอบแห้งปลานิลด้วยลมร้อน จากการศึกษพบว่าอุณหภูมิ และความเร็วลม มีผลต่อพฤติกรรมการอบแห้ง โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งหรือความเร็วลม จะมีผลทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ในส่วนของกราฟวิเคราะห์สมการอบแห้งชั้นบางทั้ง 9 สมการ พบว่าสมการ Two term สามารถทำนายผลการอบแห้งปลานิลด้วยลมร้อนได้ดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 (0.999) มากที่สุด และค่า RMSE (0.0092) น้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้า. 2552. ปลานิลดาวรุ่งดวงใหม่สินค้าประมงส่งออกของไทย. (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา <http://www.ryt9.com>, (29 มีนาคม 2012)
- 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.
- Doymaz, I. 2005. Sun drying of figs: an experimental study. *Journal of Food Engineering* 71: 403-407.
- Henderson, S. M. 1974. Progress in developing the thin-layer drying equation. *Transactions of the ASAE* 17: 1167-1168/1172.
- Ozdemir, M. and Y.O. Devres. 1999. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering* 42: 225-233.
- Simal, S., A. Femenia. and M. Garau. 2005. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering* 66: 323-328.
- 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.