การอบแห้งมะพร้าวเกล็ดแบบชั้นบาง

Thin-Layer Drying of Dessicated Coconut

อาณัติ พิลา[1] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์[2] และ ฐานิตย์ เมธิยานนท์[3*]
[1,3]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
51 ถ.เชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530 โทร 0-2988-3655 ต่อ 244
อีเมล์ arnut_phila@yahoo.com[1], thanid_m@yahoo.com[3*]
[2]คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
91 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10400 โทร 0-2470-8693-9 ต่อ 111
อีเมล์ somchart.sop@kmutt.ac.th[2]

Arnut Phila[1] , Somchart Soponronnarit[2] and Thanid Madhiyanon[3*]
[1,3]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology
51 Cheum-Sampan Road, Nong Chok, Bangkok, 10530 Tel: 0-2988-3655 ext.244
E-mail: arnut_phila@yahoo.com[1], thanid_m@yahoo.com[3*]
[2]School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi
91 Prachauthit Road, Bangmod, Thung Kharu District, Bangkok, 30000 Tel: 0-2470-8693-9 ext.111
E-mail: somchart.sop@kmutt.ac.th[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถบอกถึงความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่างๆ ของการอบแห้งและความชื้นสมดุลของมะพร้าวเกล็ดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด โดยใช้มะพร้าวเกล็ดเป็นวัสดุทดลองมวล 160 กรัม ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 136-140 %d.b. และความเร็วลมเฉลี่ยเหนือถาดที่ 2.18 m/s สำหรับพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ศึกษาทดลองที่อุณหภูมิ 70-120ºC ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 0-40%RH ซึ่งการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่หนึ่งเป็นการหาความชื้นสมดุล ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าความชื้นสมดุลจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มสูงขึ้น เมื่อนำข้อมูลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ คือ Henderson, Halsey และทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ สำหรับรูปแบบที่สามารถทำนายความชื้นสมดุลได้ดีที่สุดคือ รูปแบบที่ได้จากงานวิจัยนี้ ในส่วนที่สองเป็นการหาอัตราการอบแห้งชั้นบาง ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าอัตราการอบแห้งของมะพร้าวเกล็ดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูงขึ้น เมื่อนำข้อมูลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ คือ Page, Newton, Henderson & Pabis, Logarithmic และ Two term สำหรับรูปแบบของสมการที่สามารถทำนายการลดลงของความชื้นได้ดีที่สุดคือ Logarithmic

คำสำคัญ: ความชื้นสมดุล / อัตราส่วนความชื้น / แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Abstract

This present study is a development of mathematical moisture equilibrium and thin-layer models of dessicated coconut dried in a tray dryer. The weight of dessicated coconut in each experiment was fixed at 160 g which initial moisture content was around 136-140%d.b. Air velocity was held constant at 2.18 m/s for all experiments. Two parameter i.e., air temperature and the relative humidity were studied. The air temperature varied between 70-120ºC where relative humidity ranged between 0-40%RH. There are two categories which were subsequently studied. First is to determine the moisture equilibrium model based on the correlation form obtained by Henderson and Halsey, and compared to the relationship developed in this study. It was found that moisture equilibrium increased as increasing

*Corresponding author.

relative humidity. The present model can predict better results compared to other models. Second, The thin layer model was evaluated in various form i.e., Page, Newton, Henderson & Pabis, Logarithmic and Two Term. The conclusion was that the model followed logarithmic model was best fitted to the experimental data. The drying rate increased with increase of air temperature.
Keywords: Moisture Equilibrium / Moisture Ratio / Mathematical Model

1. บทนำ

การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเป็นวิธีถนอมอาหารที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการอบแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะช่วยรักษาคุณภาพของวัตถุดิบ เช่น สีและกลิ่นให้อยู่ในเกณฑ์ดีได้ และยังสามารถเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์หลังการแปรรูปได้อีกด้วย [7] ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารของประเทศไทยมีการเจริญเติบโตขึ้นมาก จึงส่งผลให้อุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารเติบโตขึ้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มะพร้าว ซึ่งสามารถนำเนื้อมะพร้าวไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น กะทิ ทำไส้หรือนำไปโรยหน้าขนมต่างๆ [5] ทั้งนี้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรม นั้นจำเป็นต้องมีการสร้างเครื่องต้นแบบในห้องปฏิบัติการสำหรับใช้ศึกษาหาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรนั้นๆ เช่น ความเร็ว อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น [4] ซึ่งหากมีการทดลองหลากหลายเงื่อนไข ก็จะส่งผลให้มีจำนวนข้อมูลมากและไม่สะดวกในการนำผลการทดลองไปใช้งาน ดังนั้นจึงนำพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งเมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้ทำนายผลของอการลดลงของความชื้นและความชื้นสมดุล

1.1 ความชื้นในวัสดุ [7]

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ

1.ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \frac{w-d}{w} \tag{1}$$

2.ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \frac{w-d}{d} \tag{2}$$

1.2 อัตราส่วนความชื้น [7]

สามารถคำนวณได้ตามสมการ ดังนี้

$$MR = \frac{M(t)-M_{eq}}{M_{in}-M_{eq}} \tag{3}$$

1.3 ความชื้นสมดุลของวัสดุ

ความชื้นสมดุลของวัสดุมีความสำคัญต่อการอบแห้ง เพราะเมื่อทำการอบแห้งโดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ (เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่) ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนถึงจุดๆหนึ่งซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะนั้นความชื้นในวัสดุมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบๆด้วย เราเรียกความชื้นในขณะนั้นว่า ความชื้นสมดุล โดยที่ค่าความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ [7] โดยสมการที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ของความชื้นสมดุลมีดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมการดัดแปลงความชื้นสมดุลที่นำมาพิจารณา [4]

Model no.	Model name	Model pattern
1	Henderson	$1-RH=-exp\left[-a(T+273)^{b}_{M\,eq}\right]$
2	Halsey	$RH=a\cdot exp\left[-b/R(T+273)^{c}_{M\,eq}\right]$
3	Present work	$M_{eq}=a+bT+cT^2+dRH+eRH^2$

1.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อการอบแห้ง โดยสมการที่ใช้ในทำนายการอบแห้งมีดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาพิจารณา [1,2,3]

Model no.	Model name	Model pattern
1	Page	$MR=exp\left(-kt^{n}\right)$
2	Newton	$MR=exp(-kt)$
3	Henderson & Pabis	$MR=a\cdot exp(-kt)$
4	Logarithmic	$MR=a\cdot exp(-kt)+b$
5	Two Term	$MR=a\cdot exp(-kt)+b\cdot exp(-kt)$

โดยจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้วิธีถดถอย (Regression analysis) โดยใช้โปรแกรม Statistica 6.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ โดยจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, R^2) และ ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, $RMSE$) [1,2] เป็นตัวบ่งบอกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายค่าที่ได้จากการทดลองได้ดีหรือไม่ พารามิเตอร์ต่างๆ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R^2 = 1-\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pred,i}-MR_{exp,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(\overline{MR}_{pred}-MR_{pred,i}\right)^2} \tag{4}$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \left(MR_{pred,i} - MR_{exp,i} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ใช้มะพร้าวเกล็ดมีขนาด 1.72-4.75 มิลลิเมตร เป็นวัสดุทดลอง

รูปที่ 1 ลักษณะของมะพร้าวเกล็ดที่ใช้ในการทดลอง

2.2 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

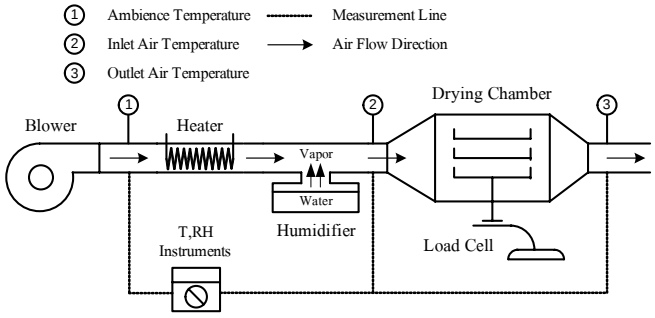
1.นำมะพร้าวที่ทำการปลอกเปลือกออกแล้วนำมาผ่าครึ่ง

2.นำลงไปแช่ในน้ำสะอาดที่ผสมกับสารคลอรีนในอัตราส่วนผสมผงปูนคลอรีน 3.5 กรัม ต่อน้ำ 10 ลิตร เป็นเวลา 15 นาที เพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อโรค [5]

3.นำมะพร้าวมาขูดเอาเฉพาะเนื้อที่เป็นสีขาว และนำใส่กล่องพลาสติกที่มีสารดูดความชื้นอยู่ภายใน

2.3 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการศึกษาทดลองแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบถาด

ขั้นตอนการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.วิธีการหาความชื้นของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองจะสามารถหาความชื้นได้ตามมาตรฐาน Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) [6]

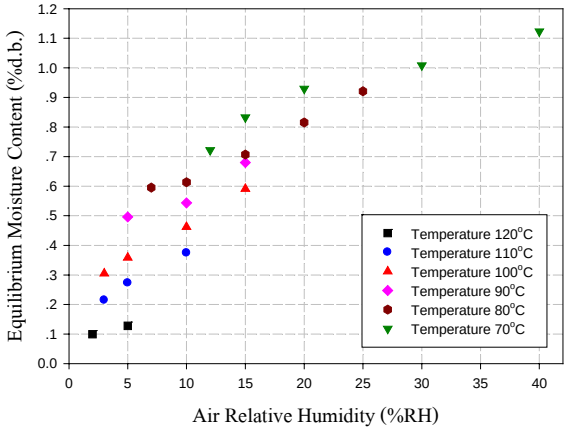
2.วิธีหาอัตราการอบแห้งชั้นบางและความชื้นสมดุล

นำวัสดุที่เตรียมไว้ตามข้อที่ 2.2 โดยจะใช้มวลของมะพร้าวเกล็ด 160 กรัม ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 136-140%d.b. นำไปทดสอบในเครื่องอบแห้งแบบถาดโดยใช้ความเร็วลมเฉลี่ยเหนือถาดที่ 2.18 m/s (ใช้เครื่องวัดลมแบบ Vane type anemometer ซึ่งมีความละเอียด ± 3%) และอุณหภูมิที่ใช้ทำการทดลอง 70-120ºC และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 0-40%RH โดยจะมีชุดโหลดเซลล์ (Load cell) เป็นเครื่องวัดค่าน้ำหนัก โดยในการทดลองนั้นเราจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (ตามเงื่อนไขของการทดลอง) โดยการควบคุมอุณหภูมิจะใช้ชุดขดลวดความร้อน (Heater) โดยมีเทอร์โมสแตทเป็นตัวควบคุมการทำงาน ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะมีเครื่องเพิ่มความชื้น (Humidifier) เป็นตัวควบคุม โดยจะทำการบันทึกค่าน้ำหนักวัสดุ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะเปียก โดยจะใช้เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (ซึ่งมีค่าความแม่นยำ ± 2%) เป็นตัวเปรียบเทียบ และจะทำการบันทึกค่าทุกๆ 20 วินาที จนกระทั่งน้ำหนักของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงจึงหยุดการทดลอง

3. ผลที่ได้จากการทดลอง

3.1 ความชื้นสมดุล

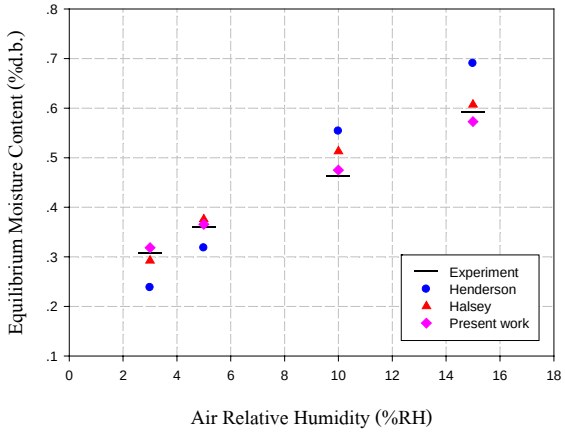
ผลจากการทดลองหาความชื้นสมดุลของมะพร้าวเกล็ด โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ศึกษาทดลองที่อุณหภูมิ 70-120ºC ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 0-40%RH ในการทดลองอากาศจะมีการไหล (ความเร็วลมเฉลี่ยเหนือถาดที่ 2.18 m/s) เราจะเรียกวิธีนี้ว่า วิธีเชิงจลน์ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถเข้าสู่สมดุลได้เร็ว จากการทดลอง พบว่า ค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้น และที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากันค่าความชื้นสมดุลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 3) แล้วนำข้อมูลของความชื้นสมดุลที่ได้จากการทดลองวิเคราะห์ความสัมพันธ์สัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ (ดังแสดงในตารางที่ 1) พบว่ารูปแบบสมการความชื้นสมดุลของงานวิจัยนี้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9941 และมีค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย ($RMSE$) เท่ากับ 0.0004457 (ดังแสดงในตารางที่ 3) สมการนี้จึงสามารถที่ผลการทดลองได้ดีคลอบคลุมมากที่สุด (ดังแสดงในรูปที่ 4)



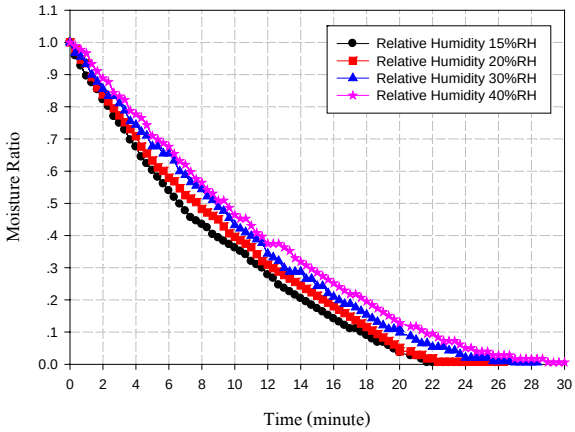
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์
ของอากาศที่เงื่อนไขอุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคงที่ของสมการรูปแบบต่าง ๆ

Model no.	Model name	Model constants					R^2	*RMSE*
		a	*b*	*c*	*d*	*e*		
1	Henderson	-0.009632	0.831306	-	-	-	0.9751	0.0074633
2	Halsey	0.006047	-0.024539	0.315962	-	-	0.9762	0.0038138
3	Present work	0.607687	0.002303	0.025336	-0.000059	-0.000231	0.9941	0.0004457



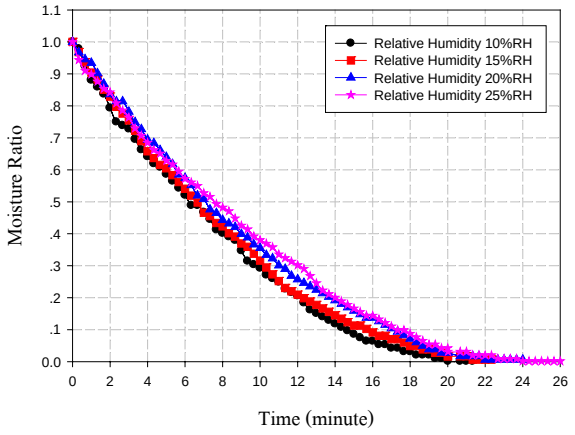
รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าความชื้นสมดุลที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการในรูปแบบต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 100ºC



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความอัตราส่วนความชื้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70ºC

3.2 อัตราการอบแห้งชั้นบาง

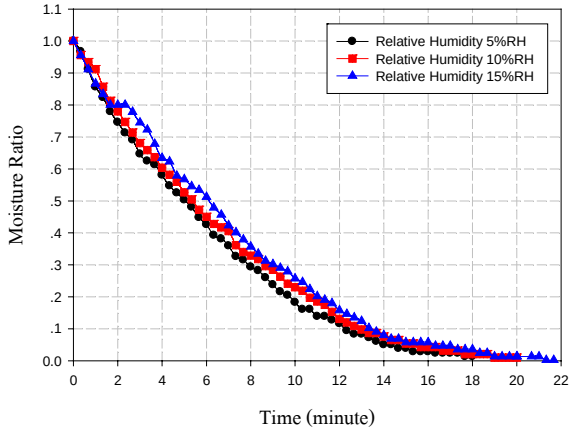
จากการทดลองการอบแห้งมะพร้าวเกล็ดแบบชั้นบาง โดยใช้มวลของมะพร้าวเกล็ด 160 กรัม มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 136-140%d.b. ทำการศึกษาทดลองที่ความเร็วลมเฉลี่ยเหนือถาด 2.18 m/s อุณหภูมิ 70-120ºC และความชื้นสัมพัทธ์ 0-40%RH พบว่า ความชื้นจะลดลงเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นและเมื่อนำค่าความชื้นที่ลดลงมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (ดังสมการที่ 3) สามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาได้แสดงในรูปที่ 5-10 ซึ่งจากการทดลอง พบว่าอัตราการอบแห้งของมะพร้าวเกล็ดมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและที่อุณหภูมิเดียวกันอัตราการอบแห้งจะลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นสูง และเมื่อนำข้อมูลการลดลงของความชื้นมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ คือ Page, Logarithmic, Henderson & Pabis, Newton และ Two Term (ดังตารางที่ 2) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคงที่ของสมการในรูปแบบต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4



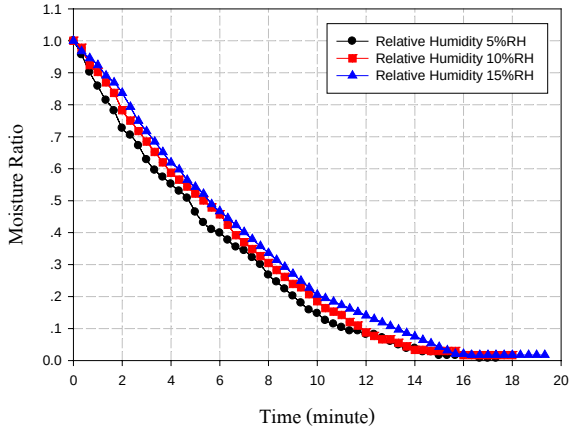
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความอัตราส่วนความชื้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80ºC

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบางในรูปแบบต่าง ๆ

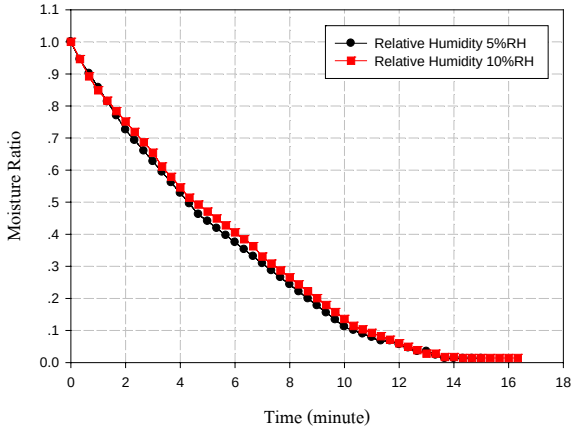
Model no.	Model name	Model constants				R^2	*RMSE*
		a	*b*	*n*	*k*		
1	Page	-	-	1.266362	$-0.014431 + 0.001156T - 0.000644RH$	0.9905	0.0246368
2	Newton	-	-	-	$0.026285 + 0.001454T - 0.0001139RH$	0.9728	0.0430373
3	Henderson & Pabis	1.070901	-	-	$0.023534 + 0.0016T - 0.001175RH$	0.9783	0.0384456
4	Logarithmic	1.194939	-0.175814	-	$0.0131 + 0.001128T - 0.000757RH$	0.9947	0.0178441
5	Two Term	0.495262	0.575262	-	$0.026379 + 0.001561T - 0.001176RH$	0.9783	0.0384063



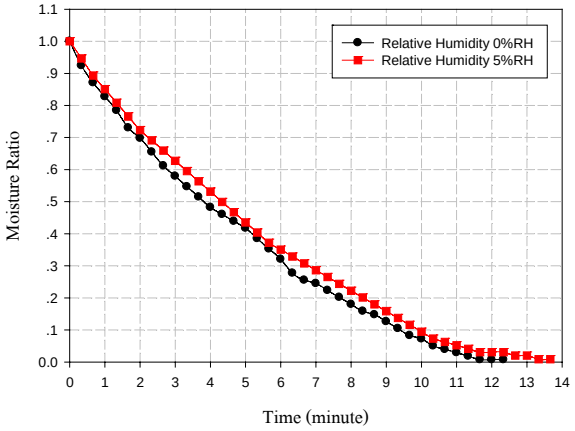
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความอัตราส่วนความชื้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90ºC



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความอัตราส่วนความชื้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100ºC

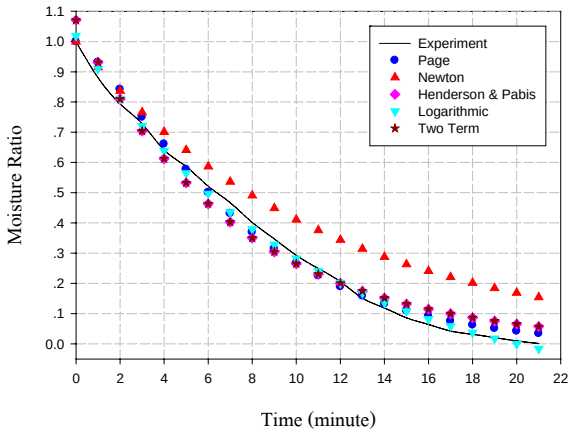


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความอัตราส่วนความชื้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110ºC

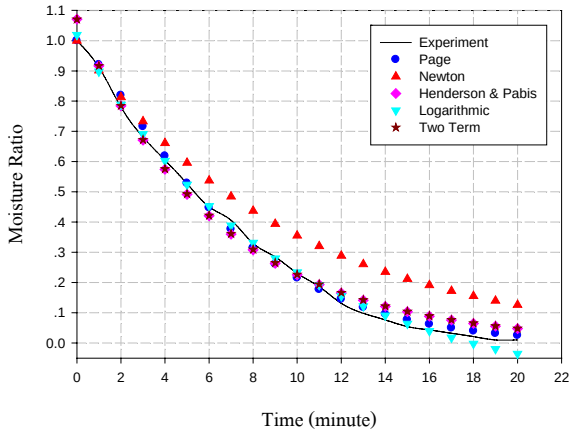


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความอัตราส่วนความชื้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120ºC

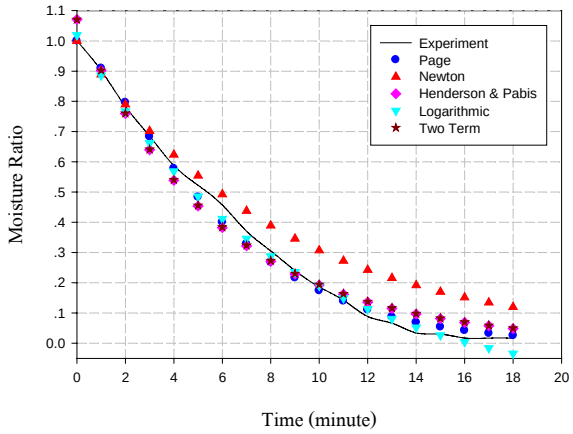
จากรูปที่ 11-13 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่างๆ คือ Page, Newton, Henderson & Pabis, Logarithmic และ Two term พบว่า รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Logarithmic ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9947 และมีค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย ($RMSE$) เท่ากับ 0.0178441 ซึ่งรูปแบบสมการของ Logarithmic สามารถที่จะทำนายผลการทดลองได้ดีที่สุด



รูปที่ 11 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองกับ ค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 80ºC และความชื้นสัมพัทธ์ 10%RH



รูปที่ 12 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 90ºC และความชื้นสัมพัทธ์ 10%RH



รูปที่ 13 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 100ºC และความชื้นสัมพัทธ์ 10%RH

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลและหาอัตราการอบแห้งชั้นบางของมะพร้าวเกล็ด พบว่า

4.1 ค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากันค่าความชื้นสมดุลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับรูปแบบสมการที่เหมาะสม พบว่ารูปแบบสมการของงานวิจัยนี้สามารถทำนายผลการทดลองได้ดีที่สุด

4.2 ความชื้นจะลดลงเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการอบแห้งของมะพร้าวเกล็ดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูงขึ้น และที่อุณหภูมิเดียวกันอัตราการอบแห้งจะลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับรูปแบบที่เหมาะสม พบว่ารูปแบบสมการของ Logarithmic สามารถทำนายผลการทดลองได้คลอบคลุมเป็นอย่างดี

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย

สัญลักษณ์คำย่อ

$M(t)$	moisture content at time, %dry basis
M_{in}	initial moisture content, %dry basis
MR	moisture ratio
M_{eq}	equilibrium moisture, %dry basis
M_d	moisture content, %dry basis
M_w	moisture content, %wet basis
w	dry mass, gram
d	wet mass, gram
t	time, second or minute
R	universal gas constant, 8.314 J/mol K
T	temperature, ^{o}C
RH	relative humidity, % or decimal
R^2	correlation coefficient
$RMSE$	root mean square error
a,b,c,d,e,n	constant

เอกสารอ้างอิง

[1] Xanthopoulos, G., Okonomou, N., Lambrinos, G., 2007, Applicability of a single-layer drying model to predict the drying rate of whole figs, Journal of Food Engineering, Vol.81, pp.553-559.

[2] Kavak Akpinar, G., 2006, Mathematical modeling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants, Journal of Food Engineering, Vol.77, pp.864-870.

[3] Kamil, S., Ahmet Konuralp, E., 2006, The thin layer characteristics of organic apple slices, Journal of Food Engineering, Vol.73, pp.281-289.

[4] Tirawanichakul, Y., Tirawanichakul, S., Sniso, I., 2005, Thin-layer drying and mathematical model of some agriculture residue, Pro.Of 19th Conference of mechanical engineering network of Thailand, October 19-21, pp.ETM035

[5] Madhiyanon, T., Adirekrut, S., Sathitruangsak, P., Soponronnarit, S., 2006, Study of the effect of drying air temperature on chopped coconut drying by fluidized-bed technique, Pro.Of 20th Conference of mechanical engineering network of Thailand, October 18-20, pp.ETM038

[6] AOAC, Official Method of Analysis, Washington, 2000, D.C., Association of Official Analytical Chemists, 17th edition.

[7] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท พ.ศ.2540 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จำนวน 338 หน้า.