

การอบแห้งชั้นบางวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

Thin-Layer Drying and Mathematical Model of Some Agriculture residue

ยุทธนา ฐิระวนิชย์กุล^{1*} สุภวรรณ ฐิระวนิชย์กุล² และอีลีหียะ สนิโซ³

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

³นักศึกษานิเทศศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

*E-mail: yutthana.t@psu.ac.th

Tirawanichakul, Y^{1*} Tirawanichakul, S² and Sniso, I³

^{1,3}Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

*E-mail: yutthana.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ของความชื้นสมดุลและการอบแห้งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ ทางสาธูและกามมะพร้าว ที่จะนำไปใช้เป็นสารดูดซับความชื้นในการหาแนวทางการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคการดูดซับความชื้นที่เหมาะสม จากการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของวัสดุทั้ง 3 ชนิด โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 12-85 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิระหว่าง 30-50°C พบว่า ความชื้นสมดุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นและรูปแบบสมการของ Henderson สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุด ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 70°C ความเร็วลม 1.58 m/s ความชื้นเริ่มต้น 15, 20 และ 27 % มาตราฐานแห้ง. พบว่าอัตราส่วนความชื้นจะลดลงเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า สมการดัดแปลงของ Henderson และ Pabis สามารถอธิบายได้ครอบคลุมผลการทดลองที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของวัสดุทั้ง 3 ชนิด จะลดลงเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น

คำหลัก การอบแห้ง / วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร / ความชื้นสมดุล / สัมประสิทธิ์การแพร่ / อัตราส่วนความชื้น

Abstract

This research work is to present the drying kinetic modeling of same agriculture residues which are used for new suitable drying technique of grain. The equilibrium moisture content (EMC) of these residues is determined by standard static method under the

condition of 30-50°C and the relative humidity of 12-85%. Rice husk, sago palm rachis and coconut husk are used as adsorbents in the experiments. For determining EMC, the results show that the EMC increases with increase of the relative humidity under the environmental condition of 30-50°C. In addition, Modified Henderson's model is the best fitting model for the experiments. To investigate drying kinetic of the adsorbents, the adsorbent are rewetted as 15, 20 and 27 % dry-basis. The results indicate that drying rate is dependent on drying temperature of 30-70 °C, 1.58 m/s drying air velocity. Then the evolution of moisture profile is empirical fitted in various form. The conclusion is that simulation data of the Modified Henderson and Pabis model is reasonable to experimental data. The diffusion coefficient describe with drying time and increase with increase of the drying temperature

Keywords: Drying / Agriculture residue / Equilibrium moisture content / Diffusion coefficient / Moisture ratio.

1. บทนำ

การอบแห้งวัสดุมีความสำคัญทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการเกษตรเพราะเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะลดความชื้นของวัสดุให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการใช้งานหรือเก็บรักษาวัสดุนั้นๆ โดยไม่เสื่อมคุณภาพลง เช่น การอบแห้งข้าวเปลือก มันฝรั่ง พริกแดง ถั่วเขียว ข้าวโพด [1, 2] กระบวนการอบแห้งวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงด้วยกัน คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เป็นช่วงที่อัตราการระเหยของไอน้ำที่ออกจากผิวหน้าของวัสดุเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของความชื้น (น้ำ) จากภายในวัสดุมายังผิวหน้าของวัสดุ และช่วงอัตราการอบแห้ง

ลดลง เป็นช่วงที่น้ำถูกระเหยจนวัสดุที่อบแห้งมีความชื้นต่ำกว่าค่าความชื้นวิกฤต ซึ่งน้ำที่อยู่ภายในวัสดุจะระเหยด้วยอัตราที่ลดลงเป็นฟังก์ชันกับเวลา [3] โดยมีตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม เป็นต้น เมื่อทำการอบแห้งวัสดุโดยใช้อากาศที่ภาวะคงที่ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก เรียกความชื้นในขณะนั้นว่าความชื้นสมดุล [4] ค่าความชื้นสมดุลนี้จะขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ [5] การทดลองและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายผลการทดลองค่าความชื้นสมดุล โดยเฉพาะในด้านการเกษตรได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง เช่น เห็ดแป้งข้าวสาลี เปลือกส้ม เมล็ดбанไม่รู้โรย ข้าวโพด ข้าวเปลือก มันฝรั่ง ลูกท้อและแอปเปิล [6, 7, 8] เป็นต้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งเช่นเดียวกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและรูปร่างของวัสดุนั้นๆ แต่อย่างไรก็ตามเราอาจสมมุติได้ว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าคงที่ในช่วงความชื้นที่ไม่มากนัก ในการทดลองนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาทดลองหาค่าความชื้นสมดุล อัตราการอบแห้งและสัมประสิทธิ์การแพร่ในการอบแห้งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ ทางสาธู และกากมะพร้าว

ความชื้นสมดุล ได้เลือกใช้สมการความชื้นสมดุลดังแสดงในตารางที่ 1

Table 1 Equilibrium moisture content models considered [6, 7]

Model no.	Model name	Model
1.	Henderson (1952)	$1-RH=\exp[-A(T+273)M_{eq}^B]$
2.	Chung&Pfof (1967)	$\ln RH=(-A/R(T+273))\exp(-B)$
3.	Halsey (1948)	$RH=\exp[(-A/R(T+273))M_{eq}^{-B}]$
4.	Modified BET (1938)	$RH/(1-RH)M_{eq}=1/AB+(B-1)RH/AB$

อัตราส่วนความชื้น สามารถคำนวณได้ตามสมการ [5] ดังนี้

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} \quad (1)$$

สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น คำนวณได้โดยใช้สมการ [5] ดังนี้ สำหรับวัสดุแผ่นแบนซึ่งกว้างและยาวมาก (Infinite slab)

$$\overline{MR} = \left(\frac{8}{\pi^2} \right) \left[\exp\left(-\frac{\pi^2 Dt}{l^2}\right) + \frac{1}{9} \exp\left(-\frac{9\pi^2 Dt}{l^2}\right) + \frac{1}{25} \exp\left(-\frac{25\pi^2 Dt}{l^2}\right) \right] \quad (2)$$

สำหรับวัสดุทรงลูกบาศก์ (cubic shape)

$$\overline{MR} = \left(\frac{8}{\pi^2} \right)^3 \left[\exp\left(-\frac{3\pi^2 Dt}{l^2}\right) + \frac{3}{9} \exp\left(-\frac{11\pi^2 Dt}{l^2}\right) + \frac{3}{25} \exp\left(-\frac{27\pi^2 Dt}{l^2}\right) \right] \quad (3)$$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

Table 2 Thin layer drying curve models considered [1, 2, 8,]

Model no.	Model name	Model
1.	Page	$MR=\exp(-kt^n)$
2.	Logarithmic	$MR=a\exp(-kt)+c$
3.	Two term	$MR=a\exp(-k_0t)+b\exp(-k_1t)$
4.	Modified Henderson and Pabis	$MR=a\exp(-kt)+b\exp(-gt)+c\exp(-ht)$

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย แกลบ ทางสาธูและกากมะพร้าว

2.2 เตรียมวัสดุ

1) แกลบ : นำแกลบที่ได้จากการสีข้าวเปลือก ขนาด $0.40 \times 1.80 \times 7.49 \times 10^{-3}$ m มาทำความสะอาดโดยการแยกเศษวัสดุและสิ่งเจือปน เช่น เศษดิน หนุ่ย กิ่งไม้ ออาก

2) ทางสาธูและกากมะพร้าว: นำมาตัดเป็นรูปทรงลูกบาศก์ขนาดความยาวด้านละประมาณ 4.50×10^{-3} m

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) วิธีการหาความชื้นของวัสดุ

นำวัสดุที่ได้ตามข้อ 2.2 มาหาค่าความชื้นเริ่มต้น ตามมาตรฐานของ Association of Official Agricultural Chemists [9] เมื่อทราบค่าความชื้นเริ่มต้นของวัสดุแต่ละชนิดแล้วจึงนำมาทำความสะอาดให้อยู่ในช่วง 4-55 %มาตรฐานแห้ง.

2) การทดลองหาความชื้นสมดุล

นำตัวอย่างมาหาค่าความชื้นสมดุลโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวของ KNO_3 , $NaCl$, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ และ $LiCl$ และโดยควบคุมอุณหภูมิในช่วง $30-50^\circ C$ ใช้เวลาประมาณ 10 วัน จึงนำตัวอย่างไปคำนวณหาค่าความชื้นสมดุล

3) ทดลองหาอัตราการอบแห้งชั้นบางและหาสัมประสิทธิ์การแพร่

นำตัวอย่างวัสดุที่เตรียมไว้ 3 ค่าความชื้น ได้แก่ 15, 20 และ 27 %มาตรฐานแห้ง ไปทดลองในอุปกรณ์ทดสอบอัตราการอบแห้งโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30, 50 และ $70^\circ C$ วัดอุณหภูมิลมร้อน อุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง และชั่งน้ำหนักวัสดุทุกๆ 1-2 นาทีในช่วงแรก และ 5 นาทีในช่วงหลัง จนน้ำหนักคงที่จึงหยุดการทดลอง

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์

3.1 ความชื้นสมดุล

จากการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของ แกลบ ทางสาธูและกาก

มะพร้าวที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50°C ความชื้นสัมพัทธ์ 12 - 85 % โดยมีสารละลายเกลืออิ่มตัวและต้อเป็นตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ พบว่า ค่าความชื้นสมดุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น และที่ความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกันค่าความชื้นสมดุลจะมีลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าแบบจำลองของ Henderson สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุด ดังตารางที่ 3-5

Table 3 Values of EMC coefficients of different models of coconut husk for 30-50°C

Model no.	Model constants		R	S.E.	RMSE
	A	B			
1	1.608×10^{-6}	2.374	0.773	2.504	2.343
2	3.899×10^4	0.393	0.731	2.742	2.565
3	1.010×10^6	-3.103	0.842	2.725	2.549
4	0.613	1.557	0.902	9.726	9.098

Table 4 Values of EMC coefficients of different models of rice husk for 30-50°C

Model no.	Model constants		R	S.E.	RMSE
	A	B			
1	2.750×10^{-4}	1.130	0.988	0.894	0.862
2	7.426×10^3	0.199	0.996	2.715	2.616
3	8.673×10^3	-1.017	0.995	2.846	2.743
4	0.998	1.638	0.815	6.568	6.329

Table 5 Values of EMC coefficients of different models of sago palm rachis for 30-50°C

Model no.	Model constants		R	S.E.	RMSE
	A	B			
1	1.289×10^{-5}	2.257	0.999	0.435	0.397
2	1.858×10^4	0.240	0.996	0.481	0.439
3	5.071×10^5	-2.528	0.999	0.544	0.497
4	0.725	1.415	0.944	10.010	9.138

3.2 อัตราการอบแห้งชั้นบาง

จากการทดลองอบแห้งชั้นบางของแกลบ ทางสาธิตและกามมะพร้าว ความชื้น 15, 20 และ 27 %มาตรฐานแห้ง. อุณหภูมิ 30, 50 และ 70°C ความเร็วลม 1.85 m/s พบว่า ความชื้นจะลดลงเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาได้ดังรูปที่ 1-3

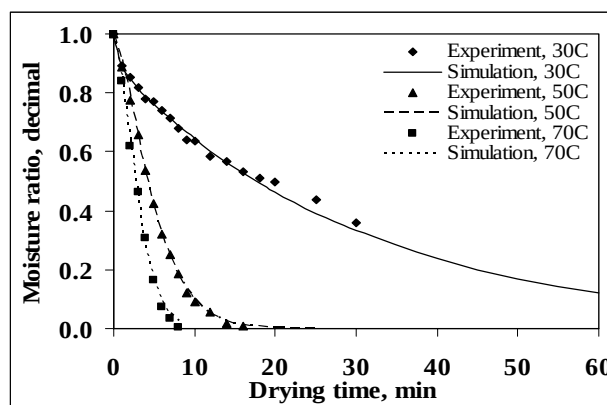


Fig. 1 Relationship between moisture ratio and drying time of rice husk at initial MC 15 %dry-basis. for 30, 50 and 70°C.

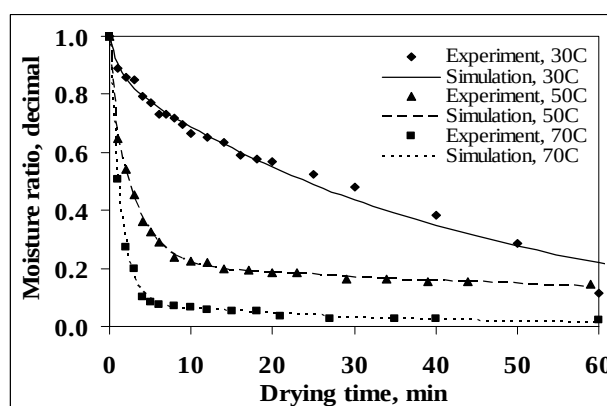


Fig. 2 Relationship between moisture ratio and drying time of sago palm rachis at initial MC 15 %dry-basis. for 30, 50 and 70°C.

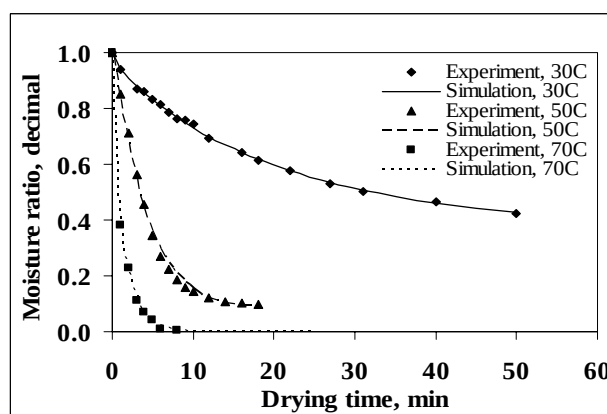


Fig. 3 Relationship between moisture ratio and drying time of coconut husk at initial MC 27 %dry-basis. for 30, 50 and 70°C

จากรูปที่ 1-3 จะได้ว่าอัตราส่วนความชื้นจะลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 50-70°C ความชื้นของวัสดุเริ่มมีค่าคงที่ที่เวลาการอบแห้งประมาณ 10 นาที เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา พบว่ารูปแบบสมการ

ดัดแปลงของ Henderson และ Pabis สามารถอธิบายครอบคลุมผลการทดลองที่สุด ดังตารางที่ 6-8

Table 6 Values of the drying constants and coefficients of different models through regression method of rice husk. for initial MC 20 %dry-basis, 50°C

Model no.	Model constants	R	S.E.	RMSE
1	$K=0.2787, n=0.6687$	0.977	0.056	0.054
2	$K=0.2440, a=0.8427, c=0.1686$	0.998	0.015	0.015
3	$K_0=0.1354, k_1=0.1359, a=0.4623, b=0.4623$	0.954	0.075	0.073
4	$k=0.2258, a=0.4400, b=0.4393, c=0.1267, g=0.2258, h=-0.0130$	0.999	0.0134	0.013

Table 7 Values of the drying constants and coefficients of different models through regression method of sago palm rachis. for initial MC 15 %dry-basis, 30°C

Model no.	Model constants	R	S.E.	RMSE
1	$K=0.0742, n=0.7159$	0.987	0.030	0.029
2	$K=0.0219, a=0.9640, c=-0.0689$	0.981	0.193	0.189
3	$K_0=0.0248, k_1=0.0248, a=0.4504, b=0.4504$	0.981	0.193	0.189
4	$k=0.0226, a=0.1369, b=0.1776, c=0.1327, g=0.0226, h=0.7173$	0.990	0.029	0.015

Table 8 Values of the drying constants and coefficients of different models through regression method of coconut husk. for initial MC 27 %dry-basis, 30°C

Model no.	Model constants	R	S.E.	RMSE
1	$K=0.0659, n=0.6735$	0.9975	0.012	0.012
2	$K=0.0545, a=0.5800, c=-0.3955$	0.9984	0.814	0.790
3	$K_0=0.0072, k_1=0.0794, a=0.5944, b=0.3880$	0.9988	0.007	0.007
4	$k=0.0526, a=0.5372, b=0.4217, c=0.0412, g=0.0017, h=1.7761$	0.9995	0.005	0.005

3.3 สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น

จากการทดลองอบแห้งชั้นบาง เมื่อนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของวัสดุทั้ง 3 ชนิด จะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเส้นโค้งตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4-6

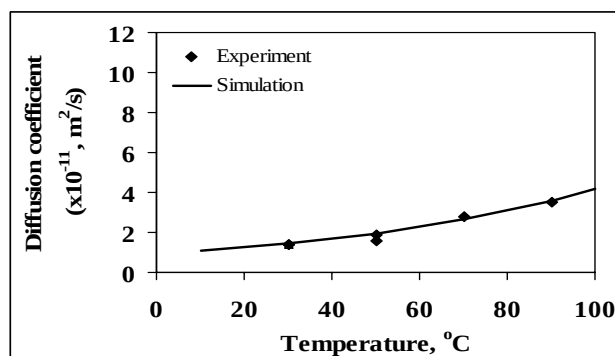


Fig. 4 Relationship between diffusion coefficient and temperature of rice husk

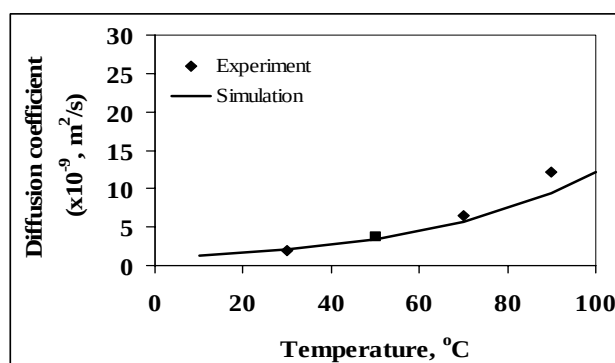


Fig. 5 Relationship between diffusion coefficient and temperature of coconut husk

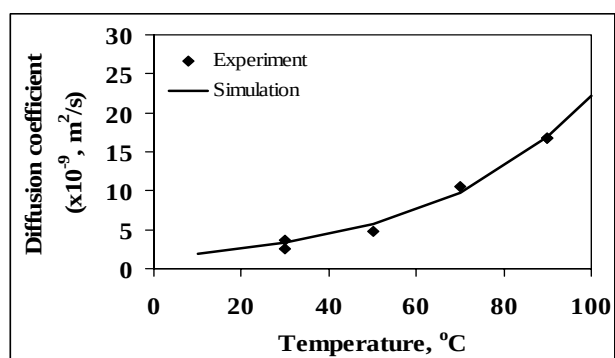


Fig. 4 Relationship between diffusion coefficient and temperature of sago palm rachis

โดยเฉลี่ย ทางสาธูและกามมะพร้าว จะมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยระหว่าง $1.407 - 2.026 \times 10^{-11}$, $3.602 - 6.338 \times 10^{-9}$ และ $2.741 - 4.935 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ตามลำดับ

4. สรุป

จากการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลและอบแห้งชิ้นบางของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ ทาสาคูและกามมะพร้าว พบว่า

4.1 ความชื้นสมดุล ของแกลบ ทาสาคูและกามมะพร้าวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 30-50°C เมื่อนำมาวิเคราะห์หารูปแบบสมการที่เหมาะสม พบว่า แบบจำลองของ Henderson สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุด

4.2 อัตราส่วนความชื้น จะมีค่าลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิของการอบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์หารูปแบบสมการที่เหมาะสม พบว่า สมการดัดแปลงของ Henderson และ Pabis สามารถอธิบายผลการทดลองได้ครอบคลุมที่สุด

4.3 สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น จะมีค่าลดลงเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น

สัญลักษณ์

RH relative humidity, % or decimal

M_{eq} , EMC equilibrium moisture content, %dry-basis

M , MC moisture content, %dry-basis

MR moisture ratio

D diffusion coefficient, m^2/s

R universal gas constant, 8.314 J/mol k

M_t moisture content at time, %dry-basis

M_0 initial moisture content, %dry-basis

L length, m

L_0 half thickness, m

T the temperature, °C

t time, min or sec

A , B , k , k_0 , k_1 , a , b , c , g , h , n , p constant

$S.E.$ standard deviation

$RMSE$ root mean square error

กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและภาควิชาฟิสิกส์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองต่าง ๆ จนทำให้การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] E.K. Akpinar, Y. Bicer. and C. Yildiz. "Thin layer drying of red pepper," Food Engineering, Vol. 59, 2003, pp. 99 -104.
- [2] A. Iguaz, M.B. san Martin, J.I. Mate, T. Fernandez. and P. Virseda. "Modelling effective moisture diffusivity of rough rice (*Lido* cultivar) at low drying temperatures," Food Engineering,

Vol. 59, 2003, pp. 253 - 258.

- [3] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช "การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในวัสดุพืชน้ำ หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการอบแห้งวัสดุพืชน้ำ" วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2547 หน้า 1 - 11.
- [4] Amalendu, Chakraverty. and Paul, S.R. Postharvest Technology : Cereals, Pulses, Fruits and Vegetables, USA : Science Publishers, 2001, 356 pp.
- [5] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2540, 338 หน้า.
- [6] U.S. Shivhare, S. Arora, J. Ahmed and G.S.V. Raghavan "Moisture adsorption isotherms for mushroom," Lebensm.-Wiss.u.-Technol., Vol. 37, 2004, pp. 133 -137.
- [7] M. Erbas, M.F. Ertugay and M. Certel, "Moisture adsorption behaviour of semolina and farina," Food Engineering, Vol. 69, 2005, pp. 191 -198.
- [8] S. Wetchacama, S. Soponronnarit, and S. Prachayawarakorn. "Study of Parameters Affecting Drying Kinetics and Quality of Corns," Kasetsart J., Vol. 35, 2001, pp. 195 - 204.
- [9] AOAC, Official Methods of Analysis, Washington, D.C., Association of Official Analytical Chemists, 17th edition, 2000.