

การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนและการแพร่ความชื้นประสิทธิผลของไพลอบแห้ง Determination of Heat Transfer Coefficient and Effective Moisture Diffusivity of Phlai Drying

มะลิ นาชัยสินธ์¹ ศักดิ์ชัย ดรดี²
Mali Nachaisin¹ Sakchai Dondee²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดแบบคลื่นยาวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไพลอบแห้ง โดยที่สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของไพลและสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของไพลจะถูกตรวจสอบภายใต้การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวตัวแปรการอบแห้งคือ ความเข้มของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่ 1-4 kW/m² อุณหภูมิของอากาศอบแห้งที่ 40-60°C และความเร็วของอากาศอบแห้งที่ 0.5 m/s ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความชื้นเริ่มต้นของไพลจะลดลงจาก 420-500% d.b. ถึงความชื้นสุดท้ายที่ 6 %d.b. สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของไพล จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้งและหลังจากนั้นจะคงที่ด้วยการเพิ่มขึ้นของเวลาอบแห้ง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของไพลจะอยู่ในช่วง 27-1200 kW/m²°C, 60-300 kW/m²°C และ 30-280 kW/m²°C ที่อุณหภูมิของการอบแห้ง 40, 50 และ 60°C ตามลำดับ การแพร่ความชื้นประสิทธิผลอยู่ในช่วง 0.11x10⁻¹⁰ -0.84x10⁻¹⁰ m²/s

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน / การแพร่ความชื้นประสิทธิผล / รังสีอินฟราเรด / ไพล

Abstract

The purpose of this research was to study the effects of far-infrared intensity on the change of moisture content of Phlai drying. Additionally, the heat transfer coefficient and effective moisture diffusivity of Phlai was investigated under combined heat pump and far-infrared radiation drying. The drying parameters for investigation were far-infrared radiation intensity of 1-4 kW/m², drying air temperature of 40-60°C and drying air velocity of 0.5 m/s. The results showed that the moisture content of Phlai was reduced from initial moisture content of 420-500% d.b. to final moisture content of 6% d.b. The effective moisture diffusivity of Phlai was rapidly increased in the beginning of drying period and then remained constant with the increase

¹อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

²อาจารย์โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

$\text{kW/m}^2\text{°C}$ and $30\text{--}280 \text{ kW/m}^2\text{°C}$ for drying air temperature at 40, 50, and 60°C , respectively. The effective moisture diffusivity of Phlai were in a range of 0.11×10^{-10} - $0.84 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

Keywords: Heat Transfer Coefficient / Effective Moisture Diffusivity / Infrared radiation / Phlai

บทนำ

ไพล (Zingiber cassumunar Roxb.) เป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งไพลเป็นไม้ล้มลุก มีเหง้าใต้ดิน เปลือกน้ำตาลแกมเหลือง เนื้อในสีเหลืองถึงเหลืองแกมเขียว มีกลิ่นเฉพาะตัวประกอบด้วยมันหอมระเหยและมีสารประเภทโมโนเทอร์ปีนอยด์และเฟินิลบิวทานอยด์ซึ่งมีสรรพคุณเป็นยาทางการแพทย์ (ทวีศักดิ์ สุนทรธนาศาสตร์ และคณะ. 2543:289-292; Ar-Reum H. et al. 2005: 1466) ไพลเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีการแปรรูปและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพกระบวนกรหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปคือการอบแห้งและเนื่องจากกระบวนการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพทางยา ดังนั้นเพื่อรักษาคุณภาพของไพลหลังการอบแห้งให้ใกล้เคียงกับไพลสดจึงมีความจำเป็นต้องใช้เทคนิคเฉพาะในการอบแห้งลดความชื้นเพื่อยืดอายุในการเก็บรักษาเพื่อรักษาคุณสมบัติทางยาให้คงไว้ในปริมาณที่สูงจากรายงานทางวิชาการที่ศึกษาการอบแห้งไพล มีจำนวนน้อย เช่น เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศเชิญอักษร. 2552 ได้ศึกษาสมมูลและจลศาสตร์การอบแห้งของไพล หาค่าโดยวิธีสถิติที่อุณหภูมิ 35 40 และ 50°C ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 0.06 ถึง 0.85 อบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิการอบแห้ง 40 และ 50°C อัตราการไหลของอากาศ $0.621 \text{ m}^3/\text{s}$ พบว่า อุณหภูมิของอากาศอบแห้งมีอิทธิพลต่อจลศาสตร์การอบแห้งของไพล งานวิจัยของอดุลย์หลักชัย และคณะ (2551: 335-338) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการ

อบแห้งไพลให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับไพลสด พบว่า อุณหภูมิลมร้อน 40°C ช่วยรักษาคุณภาพไพลอบแห้งให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับไพลสด

ดังนั้น เทคนิคการอบแห้งจึงมีความสำคัญต่อสมุนไพรเพื่อคงไว้ซึ่งสรรพคุณทางการแพทย์ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นของการแผ่รังสีอินฟราเรดแบบคลื่นยาวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไพลอบแห้ง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของไพลและสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของไพลภายใต้การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว

วิธีการศึกษา

อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

1. เครื่องปั๊มความร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว
2. ไพล (Zingiber cassumunar Roxb.)
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS, (ความละเอียด 0.01g)
4. เครื่องอบหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ความละเอียด 1°C
5. เครื่องวัดความเร็วลมของอากาศ
6. เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger)
7. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด
8. สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K
9. นาฬิกาจับเวลา (ความละเอียด 0.1 วินาที)

ขั้นตอนการทดลอง



ภาพประกอบ 1 ไพล (Zingiber cassumunar Roxb.)

1. นำไพลไปหั่นให้ตามที่กำหนดไว้คือ ความหนา 0.25 cm
2. เปิดเครื่องอบแห้งชนิดปั่นความร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้
3. นำภาคไปชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกค่าที่ได้ลงตารางบันทึกผลการทดลอง
4. หาค่าน้ำหนักของไพลโดยการลบออกจากน้ำหนักภาค
5. นำไพลเข้าตู้อบแห้งและทำการจับเวลาในการอบแห้ง จากนั้นอ่านค่าน้ำหนักไพลที่เวลา 5, 10, 15 นาที จากนั้นอ่านทุก 30 นาที จนกว่าน้ำหนักไพลจะคงที่หรือได้ค่าความชื้น

การวิเคราะห์

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis, M_d)

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} \quad (1)$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, kg/kg water dry solid

w คือ มวลเปียกของวัสดุ, kg

d คือ มวลแห้งของวัสดุ, kg

อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, M_R)

$$M_R = (M_t - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (2)$$

เมื่อ

M_R คืออัตราส่วนความชื้น

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ

M_0 คือ ความชื้นที่เวลาเริ่มต้น

M_e คือ ค่าความชื้นสมดุล

สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (Effective moisture diffusivity coefficient)

ในวัสดุที่เป็นแผ่นบางมีการถ่ายเทมวลด้านเดียว ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลจะคำนวณได้จากผลเฉลยของสมการ (3)

$$M_R = \frac{(M_t - M_e)}{(M_0 - M_e)} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\pi^2 \frac{D_{eff} t}{L^2}\right) \quad (3)$$

เมื่อ

L คือ ความหนา, m

D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, m^2/s

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient)

$$q = h(T_{air} - T_s) \quad (4)$$

เมื่อ

q คือ พลังงานความร้อน, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

T_{air} คือ อุณหภูมิอากาศ, $^\circ C$

T_s คือ อุณหภูมิผิวของไพล, $^\circ C$

เมื่อ

$$h = \frac{(\frac{dx}{dt})_s \lambda}{A_p (T_{air} - T_p)} \quad (5)$$

โดยที่

q คือ พลังงานความร้อน, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

$\frac{dx}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น, kg/s

S คือ มวลแห้ง, kg

λ คือ ค่าความร้อนแฝง, $k J/kg$

A_p คือ พื้นที่ผิวของไฟ, m^2
จากสมการ (4) และ (5) จะได้หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

$$h = \frac{(\frac{dx}{dt})_s \lambda}{A_p (T_{air} - T_p)} \quad (6)$$

โดยที่

h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

$\frac{dx}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น, kg/s

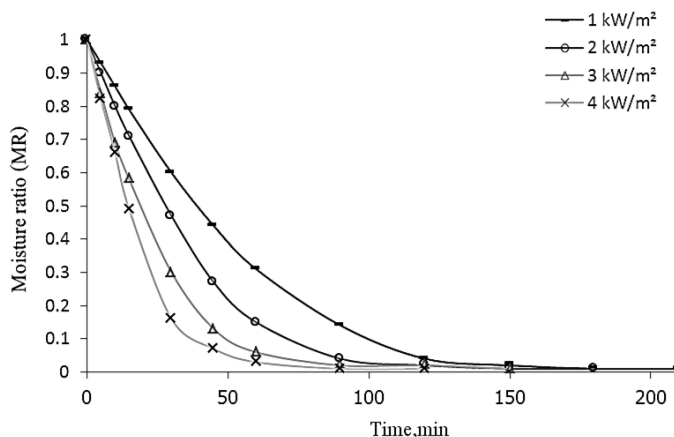
ผลการศึกษาและวิจารณ์

อิทธิพลของกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้น

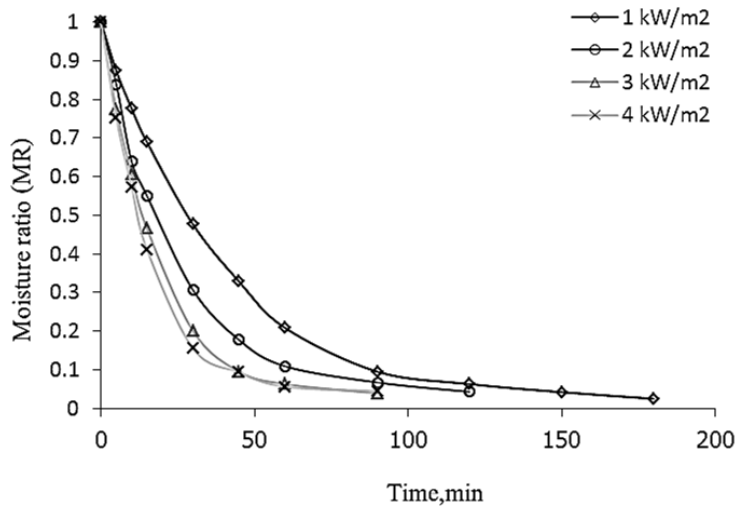
การอบแห้งไฟโดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 $^{\circ}C$ ความเร็วลม 0.5 m/s โดยใช้ความเข้มของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว 1, 2, 3, และ 4 kW/m^2 และไม่มีมีการนำอากาศหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ จากการ

ทดลอง พบว่า อิทธิพลของอุณหภูมิการอบแห้งส่งผลต่ออัตราส่วนความชื้นเป็นอย่างยิ่ง กล่าวคือ ที่อุณหภูมิสูง (60 $^{\circ}C$) สามารถเร่งอัตราการอบแห้งได้สูงกว่าในทุกๆ เงื่อนไขการทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบ 2 และ 3 ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของความชื้นและความดันไอระหว่างวัสดุกับอากาศร้อนมีความแตกต่างกัน และในช่วงท้ายของการอบแห้งจะเกิดการถ่ายเทมวลสารน้อยลง ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุน้อยลงเช่นกัน

การเพิ่มอุณหภูมิและความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวในการอบแห้งเป็นการเพิ่มความสามารถในการระเหยของน้ำและเพิ่มความดันไอรอบในวัสดุเนื่องจากในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้งกับผลิตภัณฑ์มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำทำให้ความร้อนสามารถถ่ายเทจากตัวกลางไปยังผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าจึงสามารถระเหยน้ำได้ดีกว่า ส่งผลให้การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้เวลาน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำอย่างเห็นได้ชัด โดยผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dondee et al. (2011:6-13)



ภาพประกอบ 2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของไฟกับเวลาที่อุณหภูมิการอบแห้ง 40 $^{\circ}C$

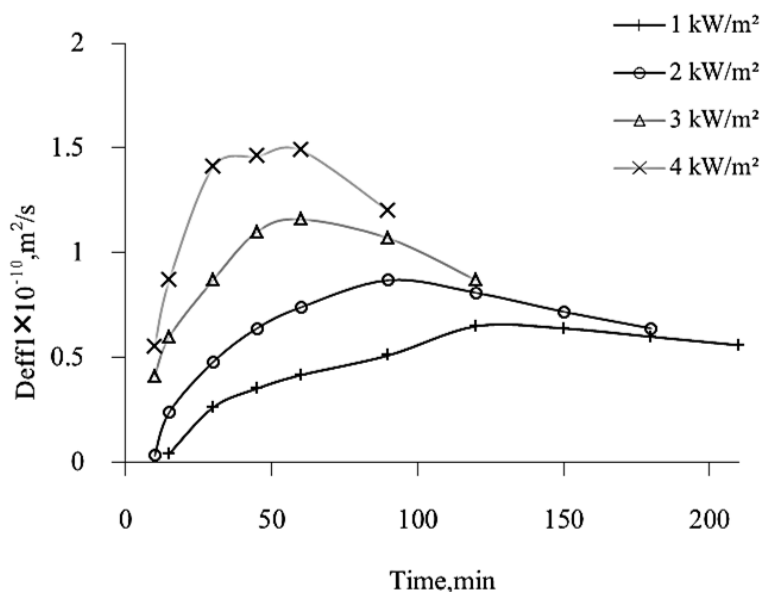


ภาพประกอบ 3 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของโพลกับเวลาที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60 °C

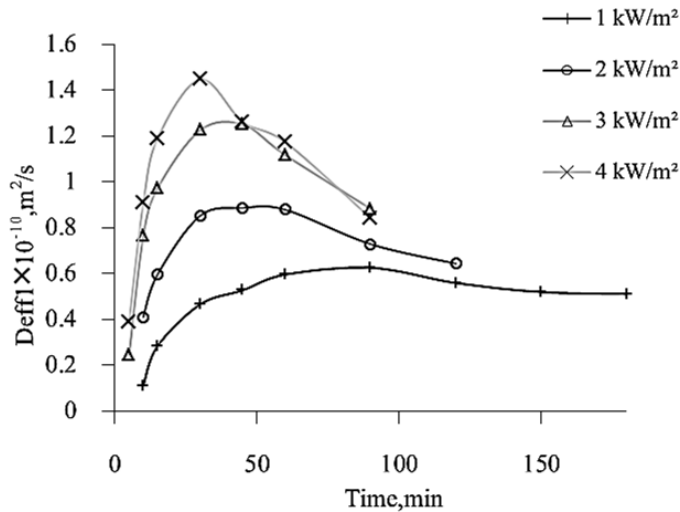
อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการแพร่ความชื้นประสิทธิผล

สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลเป็นสมบัติเฉพาะทางกายภาพที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเคลื่อนที่ของของเหลวในวัสดุที่เกิดจากการเคลื่อนที่

ของโมเลกุลจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำโมเลกุลของตัวถูกละลายจะค่อยๆ แพร่กระจายออกไปจนกว่าจะได้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันจึงหยุดการแพร่ซึ่งเป็นสภาวะสมดุล ลักษณะเช่นนี้จะขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วของอากาศ



ภาพประกอบ 4 การเปลี่ยนแปลงการแพร่ความชื้นประสิทธิผลของโพลที่อุณหภูมิ 40 °C



ภาพประกอบ 5 การเปลี่ยนแปลงการแพร่ความร้อนขึ้นประสิทธิผลของไหลที่อุณหภูมิ 60 °C

จากการอบแห้งไหลสามารถคำนวณหาการแพร่ความร้อนขึ้นประสิทธิผล (D_{eff}) ของไหล แสดงดังในภาพประกอบ 4 และ 5 โดยพบว่า เนื่องจากการอบแห้งขึ้นไหลมีความร้อนขึ้นอยู่มาก หลังจากได้รับความร้อนเข้าไปในเนื้อไหลทำให้การแพร่ความร้อนออกมา และหลังจากนั้นการแพร่ความร้อนของไหลจะเริ่มลดลงจนกระทั่งเนื่องจากความชื้นของไหลและอากาศมีค่าความชื้นใกล้เคียงกันจึงทำให้ไหล ไม่มีการแพร่ความร้อนออกมาจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 60 °C ความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรด 4 kW/m² มีค่าการแพร่ความร้อนขึ้นประสิทธิผลสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของรังสีอินฟราเรดที่กระตุ้นโมเลกุลของน้ำภายในขึ้นไหลให้ขับออกสู่บริเวณผิวอย่างรวดเร็ว ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการทดลองของ Ipsita Das และคณะ (2004 : 9-14) รวมทั้ง Khir(2011 : 1126-1132) โดยทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนขึ้นประสิทธิผลของข้าวเปลือกมีค่าในช่วง $0.77 - 3.84 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบนแผ่นเรียบ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.2552) จากการถ่ายเทมวลสารและการแพร่กระจายของโมเลกุลอันเกิดภายใต้สภาวะบังคับจากผลการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิของการอบแห้ง 40, 50 และ 60°C สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของไหลจะอยู่ในช่วง 27-1200 kW/m²°C, 60-300 kW/m²°C และ 30-280 kW/m²°C ตามลำดับ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของไหลภายใต้การอบแห้งด้วยป้อนความร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวจะอยู่ในช่วง 1-3283.02kW/m²°C หลังจากระยะเวลาในการอบแห้งผ่านไปค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของไหลมีค่าลดลง เนื่องมาจากไหลมีการถ่ายโอนความร้อนกับอากาศในการอบแห้งซึ่งตอนแรกอุณหภูมิของไหล มีค่าต่ำและอากาศมีอุณหภูมิสูงกว่าไหล ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายโอนความร้อนระหว่างไหลและอากาศขึ้น โดยจะมีการถ่ายโอนของความร้อน จาก

อากาศที่มีอุณหภูมิสูงไปยังโพลที่มีอุณหภูมิต่ำจนกระทั่ง อากาศ ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1
อุณหภูมิของโพลมีค่าสูง มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของ

ตารางที่ 1 Heat transfer coefficient

t (s)	Heat transfer coefficient (kW/m ² °C)							
	FIR+40°C				FIR+60°C			
	1 kW/m ²	2 kW/m ²	3 kW/m ²	4 kW/m ²	1 kW/m ²	2 kW/m ²	3 kW/m ²	4 kW/m ²
5	392.053	1731.35	3283.02	1449.91	292.91	447.68	1043.73	984.10
10	429.800	1932.30	1166.90	561.772	265.05	635.47	1287.38	399.61
15	433.523	2858.94	625.510	425.934	271.63	712.85	1568.20	274.57
30	586.354	784.983	268.557	206.285	343.29	1234.35	856.71	104.30
45	1193.95	369.352	113.107	38.873	290.98	2515.32	211.16	20.70
60	1608.62	225.840	45.187	15.263	249.67	1.320	38.61	12.33
90	227.855	68.072	9.607	2.356	147.18	142.57	12.84	1.61
120	95.596	9.720	1.321	0.171	60.53	62.43	-	-
150	16.566	2.224	-	-	63.11	-	-	-
180	6.127	1.044	-	-	51.82	-	-	-

สรุปและวิจารณ์ผล

อิทธิพลของอุณหภูมิการอบแห้งและความเข้มของรังสีอินฟราเรดมีผลเป็นอย่างยิ่งต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนขึ้นประสิทธิภาพของโพล ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของโพลภายใต้การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวจะอยู่ในช่วง 1-3283.02 kW/m²°C และค่าการแพร่ความร้อนขึ้นประสิทธิภาพ (D_{eff}) ของโพลอยู่ในช่วง 0.11×10⁻¹⁰ -0.84×10⁻¹⁰ m²/s

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่เอื้ออำนวยความสะดวกอุปกรณ์เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ จึงทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ทวีศักดิ์ สุนทรธนาศาสตร์ และคณะ. ไพลเจล: การวิจัยและพัฒนาเป็นยาทาภายนอกสำหรับด้านการอักเสบอย่าง
ครบวงจร. การสัมมนา แนวทางการพัฒนาสมุนไพรของประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 13-14 กันยายน
2543 2543 :289-91.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เขียวอักษร, 2552, “ความชื้นสมดุลและจุลศาสตร์การอบแห้งของไพล”, การ
ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 10, 1-3 เมษายน, สหสัมพันธ์การ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2552. หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม
ฟิสิกส์ เล่ม 4.พิมพ์ครั้งที่ 5.
- อดุลย์หลักชัยวีระ ฟ้าเพื่องวิทยากุล วิบูลย์ ช่างเรือ และ พงษ์ สกุลช่างสังจะทัย, 2551, “อิทธิพลของอุณหภูมิและ
ความหนาต่อการอบแห้งไพลแห้งด้วยเครื่องอบแบบลมร้อน”,วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 39,
ฉบับที่ 3, หน้า 335-338.
- Ar-Reum H, Moon-Sun K, Yeon H J. (2005) Cyclooxygenase-2 inhibitory phenylbutenoids form
the rhizomes of *Zingiber cassumunar*. Chem Pharm Bull; 53(11): 1466-68.
- Dondee, D., Meeso, M., Soponronnarit, S and Siriamornpun, S. (2011) Reducing cracking and
breakage of soybean grains. Journal of Food Engineering, 104 : 6-13.
- Ipsita, D., S.K. Das., Satish B.(2004). Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried
parboiled rice, Journal of Food Engineering, (62): 9–14
- Khair R., Pan Z., Salim A., Hartsough B., and Mohamed S. (2011) Moisture diffusivity of rough
rice under infrared radiation drying. Food Science and Technology, 44: 1126-1132