

การวิเคราะห์พลังงานและเอกซ์เซอจีของกระบวนการอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน

Energy and Exergy Analyses of Drying with Heat Pump

จักรพงษ์ วงศ์คำหूम,^{1*} ละมุล วิเศษ,² ณัฐพล ภูมิสะอาด³

Jukkapong Wongkumhoom,^{1*} Lamul Wiset,² Nattapol Poomsa-ad³

Received : 15 October 2012 ; Accepted : 10 December 2012

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานและเอกซ์เซอจีของการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์พลังงานและเอกซ์เซอจี ตัวกลางในการอบแห้ง คือ อากาศ ไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์และอัตราการไหลของตัวกลางมีค่าคงที่ ผลจากการวิเคราะห์พบว่าค่าประสิทธิภาพเอกซ์เซอจีมีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิในการทดลองเพิ่มขึ้น ส่วนค่าพลังงานใช้ประโยชน์และค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้น สำหรับตัวกลางในการทดลองที่ต่างกัน มีผลทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์มีค่าแตกต่างกัน การใช้ตัวกลางที่เป็นอากาศร้อนจะให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์และค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์มีค่าสูงสุด

คำสำคัญ: พลังงาน ปั๊มความร้อน เอกซ์เซอจี อบแห้ง

Abstract

This research aims to analyze the energy and exergy of drying with a heat pump. A mathematical model was used for analysis of energy and exergy. The drying media were hot air, nitrogen and carbon dioxide with the drying temperatures of 40, 50 and 60°C. The initial moisture content of product and mass flow rate of the drying media was constant. The results show that the exergy efficiency decreases with the increase of drying temperature while the energy utilization and energy utilization ratio increase with the increase of drying temperature. Moreover, the different drying media result in the different energy utilization and energy utilization ratio. The use of hot air as drying medium provides the highest energy utilization and energy utilization ratio.

Keywords: energy, heat pump, exergy, drying

บทนำ

การอบแห้งเป็นหนึ่งในกระบวนการของการแปรรูปแบบใช้ความร้อนที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมการแปรรูปอย่างแพร่หลาย กรรมวิธีในการอบแห้งนั้นจึงมีหลากหลายวิธี เช่น การอบแห้งโดยพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน และการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำ และได้มีการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งหลากหลายรูปแบบ เพื่อเป็นทางเลือกในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร¹ ที่สำคัญได้แก่ การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ

ปั๊มความร้อนมีข้อดี หลายประการเช่นสามารถอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ มีระบบที่ช่วยลดความชื้นในอากาศก่อนอบแห้ง ทำให้ความชื้นในอากาศต่ำ มีผลทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น อีกทั้งการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนนั้นจะสามารถนำพลังงานที่เหลือกลับมาใช้ใหม่ได้อีก²

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษากระบวนการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ซึ่งโดยปกติจะมีการพิจารณาในรูปของพลังงานที่ใช้ แต่การพิจารณาในรูปของพลังงานอย่างเดียวยังจะสามารถบอกเพียงปริมาณของพลังงาน

^{1*} นิสิตปริญญาโท, ² อาจารย์, ³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

^{1*} Master degree student, ²Lecturer, ³Assist. Prof., Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author: Jukkapong Wongkumhoom, E-mail: jukkapong_w@hotmail.com

ที่ใช้ในระหว่างกระบวนการเท่านั้น ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดในทางปฏิบัตินั้นย่อมเกิดการสูญเสียของพลังงานเนื่องจากปัจจัยของ Irreversibility โดยปัจจัยดังกล่าวนี้ทำให้เราสามารถนำพลังงานมาใช้ประโยชน์ได้จริงในปริมาณที่น้อยและจำกัดเมื่อเทียบกับปริมาณของพลังงานที่มีอยู่ทั้งหมดซึ่งก็คือข้อมูลพลังงานในแง่ที่เป็น “คุณภาพ” ดังนั้นเอกซ์เซอียจึงถือเป็นข้อมูลทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประเมินประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำงานของอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ^{3,4}

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. วัสดุอุปกรณ์

การทดลองใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยใช้สารทำความเย็นชนิด R-12 และมีห้องอบแห้งขนาด $0.6 \times 0.6 \times 0.8$ เมตร³ (Figure 1) ในการวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ (Data acquisition รุ่น MX - 100) ในการชั่งน้ำหนักวัสดุในห้องอบแห้ง ใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอล อ่านค่าความถูกต้องละเอียด 0.01 กรัม ในการวัดพลังงานไฟฟ้า วัดโดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Kilowatt hour meter) และในการวัดความเร็วลมในห้องอบแห้ง ใช้เครื่องวัดความเร็วลมชนิดขดลวดร้อน (Hot wire Anemometer)

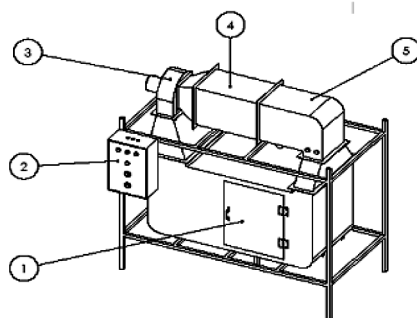


Figure 1 heat pump dryer (1) drying chamber (2) controller (3) blower (4) condenser (5) evaporator

2. วิธีการศึกษา

2.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการอบผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวกลางในการอบแห้งคือ อากาศ ไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งคือ 0.5 เมตรต่อวินาที เก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ทางเข้า-ออกห้องอบแห้งและเก็บข้อมูลน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทุก 1 นาที จนกระทั่งความชื้นในผลิตภัณฑ์เหลือ 7 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

2.2 การวิเคราะห์พลังงาน เอกซ์เซอียและสมการที่ใช้ในการคำนวณการวิเคราะห์พลังงานใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์หรือกฎการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งกระบวนการอบแห้งจะพิจารณาเป็นการไหลแบบคงตัว สำหรับการวิเคราะห์เอกซ์เซอียนั้น จะวิเคราะห์ตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งเอกซ์เซอียทั้งหมดที่เข้าไปในอุปกรณ์จะเท่ากับเอกซ์เซอียที่ออกจากอุปกรณ์รวมกับการสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์^{5,6}

สำหรับการวิเคราะห์พลังงานนั้นจะมีการวิเคราะห์อยู่ 2 ส่วน คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ (Energy Utilization : EU) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$EU = m (h_i - h_o) \quad (1)$$

เมื่อ m คืออัตราการไหลเชิงมวลส่วน h_i คือเอนทัลปีขาเข้าและ h_o คือเอนทัลปีขาออก

โดยที่ค่าเอนทัลปี (Enthalpy : h) ได้จากสมการ

$$h = \{C_p + \omega C_{pv}\}T_{db} + \{\omega(2500.9 + 1.82T_{db})\} \quad (2)$$

เมื่อ C คือค่าความร้อนจำเพาะ C_{pv} คือค่าความร้อนจำเพาะของไอน้ำ T_{db} คืออุณหภูมิกระเปาะแห้งและ ω คือค่าอัตราส่วนความชื้น

และในการวิเคราะห์พลังงานส่วนที่ 2 จะพิจารณาค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ (Energy Utilization Ratio : EUR) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$EUR = \frac{(h_i - h_o)}{h_i} \times 100 \quad (3)$$

สำหรับการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพเอกซ์เซอีย (Exergy Efficiency : Ex) หาได้จากสมการ

$$Ex = \frac{Exergy_{out}}{Exergy_{in}} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ $Exergy_{out}$ คือเอกซ์เซอียขาออกห้องอบ และ $Exergy_{in}$ คือเอกซ์เซอียขาเข้าห้องอบ โดยที่ค่าเอกซ์เซอีย (Exergy) หาได้จาก

$$Exergy = h - \{C_{pa} + \omega C_{pv}\}T_o \ln \frac{T_{db}}{T_o} \quad (5)$$

เมื่อ T_o คืออุณหภูมิอ้างอิง : การทดลองนี้ใช้ 298 K

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การทดลองนี้จะนำเสนอการใช้พลังงานและเอ็กซ์เซอียในส่วนของห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ซึ่งจะวิเคราะห์พลังงานใช้ประโยชน์ อัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ และประสิทธิภาพเอ็กซ์เซอีย ได้ผลการทดลองดังแสดงต่อไปนี้

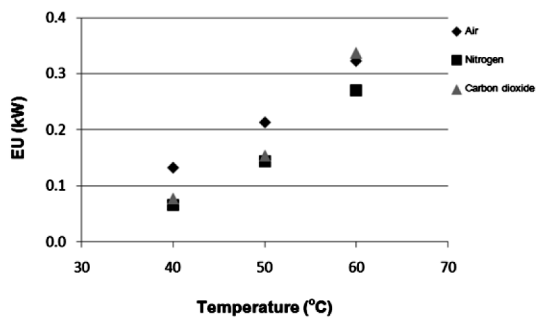


Figure 2 The relationship between energy utilization and drying temperature under various drying media

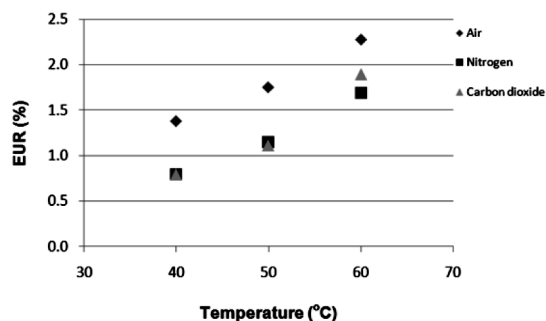


Figure 3 The relationship between energy utilization ratio and drying temperature under various drying media

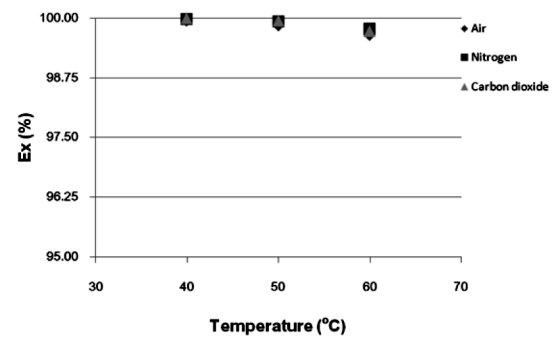


Figure 4 The relationship between energy and drying temperatures under various drying media

เมื่อพิจารณาผลการทดลองพบว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ และค่าประสิทธิภาพเอ็กซ์เซอียจะลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งเกิดจากความชื้นในผลิตภัณฑ์เริ่มลดลง ส่งผลให้อัตราการระเหยของความชื้นในผลิตภัณฑ์มีปริมาณที่น้อยลง จึงส่งผลให้ค่าลดลง

อุณหภูมิในการทดลองที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์และค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทดลองเพิ่มขึ้นดังแสดงใน Figures 2 และ 3 แต่เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพเอ็กซ์เซอียที่อุณหภูมิในการทดลองแตกต่างกันพบว่ามีความโน้มที่ตรงกันข้ามกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์และค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ โดยมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทดลองเพิ่มขึ้นดังแสดงใน Figure 4

การใช้ตัวกลางในการทดลองที่แตกต่างกันพบว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์มีค่าแตกต่างกัน โดยตัวกลางที่เป็นอากาศร้อนจะให้ค่าสูงสุด และค่าประสิทธิภาพเอ็กซ์เซอียมีค่าที่ใกล้เคียงกันดังแสดงใน Figures 2 3 และ 4

Table 1 The energy utilization, energy utilization ratio and exergy efficiency in the drying chamber of heat pump dryer under various drying temperatures and drying media

Drying media	Temperature (°C)	EU (kW)	EUR (%)	Ex (%)
Hot air	40	0.1326	1.38	99.94
	50	0.2141	1.75	99.84
	60	0.3228	2.28	99.65
Nitrogen	40	0.0657	0.79	99.98
	50	0.1441	1.15	99.92
	60	0.2700	1.69	99.78
Carbon dioxide	40	0.0770	0.79	99.99
	50	0.1541	1.11	99.94
	60	0.3377	1.89	99.73

จาก Table 1 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิและตัวกลางในการอบแห้งที่แตกต่างกันมีผลทำให้พลังงานใช้ประโยชน์ (EU) อัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ (EUR) และประสิทธิภาพเอกซ์เซอจี (Ex) มีค่าแตกต่างกัน คือ คาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิในการทดลอง 60 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์มีค่าสูงสุด คือ 0.3377 kW และอากาศร้อนที่อุณหภูมิในการทดลอง 60 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ ค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์มีค่าสูงสุด คือ 2.28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิในการทดลอง 40 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพเอกซ์เซอจีสูงสุด คือ 99.99 เปอร์เซ็นต์

สรุปผล

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยค่าพลังงานใช้ประโยชน์นั้นจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกลางในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สำหรับค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์จะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วนค่าประสิทธิภาพเอกซ์เซอจีมีแนวโน้มในทางตรงกันข้าม คือมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพเอกซ์เซอจีมีค่าตรงข้ามกับค่าอัตราส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ โดยค่าประสิทธิภาพเอกซ์เซอจีมีค่าสูงสุดเมื่อใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกลางในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. วรณิ เอกศิลป์ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. การศึกษาพลังงานและเอกซ์เซอจีของกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ชีวภาพโดยใช้สเปาแดดเบดร่วมกับไมโครเวฟ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20; 2549.
2. วิทวิช ทิพย์แสนพรหม ละมุล วิเศษ ญัฐพล ภูมิสะอาด. การอบแห้งใบหม่อนโดยใช้ตัวกลางที่แตกต่างกันในบีมความร้อน. วิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 41 ฉบับที่ 3/1 (พิเศษ); 2553.
3. อรรถนพ เรืองวิเศษ. Heat pump เทคโนโลยีเพื่อการประหยัดพลังงานและลดภาวะโลกร้อน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2551.
4. สมชัย อัครทิภา ขวัญจิต วงษ์ชาลี. เทอร์โมไดนามิกส์: Thermodynamics. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล; 2551.
5. Corzo O, Bracho N, Vasquez A, Pereira A, Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices. Journal of Food Engineering 2008;86:151–161.
6. Ceylan I, Aktas M, Dogan H, Energy and exergy analysis of timber dryer assisted heat pump. Applied Thermal Engineering 2007; 27:216–222.