

ผลของความเร็วมต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

The Effect of Inlet Air velocity on Efficiency of the Heat Pump Dryer

เอกกฤษ แก้วเจริญ^{1*} และเอกภูมิ บุญธรรม¹

Eakrit Kaewcharoen^{1*} and Eakpoom Boonthum¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเร็วมต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน ซึ่งเครื่องอบแห้งประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์แบบเปิด ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ความดันที่เครื่องควบแน่น 2.00 MPa ความดันที่เครื่องทำระเหย 0.20 MPa ในการอบกล้วยน้ำว้าแผ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 30 mm. ความชื้นเริ่มต้น 166.07 – 194.15 % db. ระยะเวลาอบแห้ง 10 h อุณหภูมิหน้าห้องอบแห้ง 70°C ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งโดยเปรียบเทียบอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย ที่ความเร็วมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 0.35 และ 0.45 m/s โดยอากาศร้อนหลังผ่านห้องอบแห้งจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งหมด จากการศึกษาพบว่า ที่ความเร็วมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 0.35 และ 0.45 m/s ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบมีค่าเท่ากับ 2.62 2.44 และ 2.38 ตามลำดับ อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.071 kg_{water evap}/kW-h ที่ความเร็วมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 m/s และมีค่าลดลงเมื่อความเร็วมลดลง เนื่องจากความเร็วมหน้าห้องอบแห้งที่ 0.45 m/s มีค่าอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) สูงสุด จึงเป็นเงื่อนไขที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน สัมประสิทธิ์สมรรถนะ อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย

Abstract

The objective of this research aims to study the effect of inlet air velocity on the efficiency of heat pump dryer which consist of open type compressor driven by electric motor 2.2 kW, pressure at condenser and evaporator were 2.00 MPa and 0.20 MPa, respectively. This study was conducted using banana chips which average diameter were 30 mm. and initial moisture was 166.07 – 194.15 % db. Controlled total drying time at 10 h and the air temperature at inlet was 70°C at all velocities. The variables of this study was Specific Moisture Extraction Rate (SMER). Air flow rate at inlet was varied from 0.25, 0.35 and 0.45 m/s. The hot and humid air after drying was fully recovered. At the inlet air velocity 0.25, 0.35 and 0.45 m/s, the Coefficient of Performance (COP) were 2.62 2.44 and 2.38, respectively. At the inlet air velocity 0.45 m/s, the average Specific Moisture Extraction Rate (SMER) was maximum at 0.071 kg_{water evap}/kW-h and decreased as the inlet air velocity was down. Because the wind speed in front of drying room at 0.45 m/s shown the highest of Specific Moisture Extraction Rate (SMER), cause the highest performance of dryer.

Keywords: Heat Pump Dryer, Coefficient of Performance, Specific Moisture Extraction Rate

¹ อ., สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

¹ Lecturer, Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000

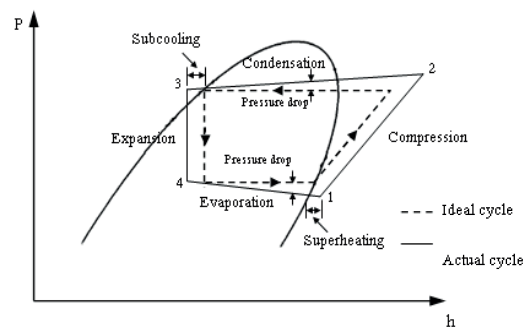
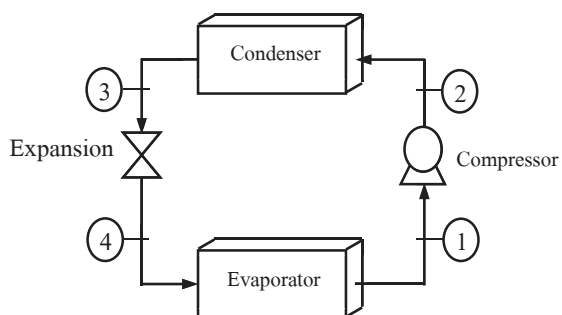
* Corresponding author: Tel.: 089-9521663, E-mail address: eakrit.k@gmail.com

บทนำ

การแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรเป็นการถนอมรักษาคุณค่าทางอาหาร และเพิ่มมูลค่าของผลผลิตให้สูงขึ้น ในปัจจุบันการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรมีหลากหลายวิธี การอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่ในกระบวนการอบแห้งต้องใช้เวลาและพลังงานมาก โดยความร้อนได้มาจากแหล่งพลังงานต่างๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงและวัสดุเกษตร แต่วิธีเหล่านี้ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศจากกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งบางครั้งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ และมีสารปนเปื้อนตกค้างที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ส่วนการใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวในการอบแห้ง เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองพลังงานค่อนข้างมาก เพราะมีการสูญเสียความร้อนไปกับอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้ง อีกทั้งอุณหภูมิแวดล้อมก็มีผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การต้องรับอากาศใหม่ (Fresh Air) จากภายนอกเข้ามาในระบบ อาจทำให้มีสิ่งปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปในระบบได้ ในปัจจุบันค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม และหาแนวทางต่าง ๆ เพื่อพัฒนาวิธีการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้นควบคู่กับการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้บริเวณที่ต้องการความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น การทำงานของปั๊มความร้อนจะดึงความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ จ่ายความร้อนนี้ให้แก่บริเวณที่ต้องการความร้อน สมรรถนะของปั๊มความร้อนแสดงในรูปสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความร้อนจากเครื่องควบแน่นกับพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับระบบ ปั๊มความร้อนจะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมากกว่า 1 เสมอ [1] ทำให้เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนนั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องอบแห้งประเภทอื่น

เทคโนโลยีการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม และมีความเหมาะสมในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เพราะสามารถทำงานที่อุณหภูมิอบแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ [2] สามารถทำการอบแห้งในรูปแบบของระบบปิดซึ่งเป็นอิสระต่อสภาวะแวดล้อมภายนอก โดยเฉพาะในช่วงที่อากาศมีความชื้นสูงและมีการปนเปื้อน นอกจากนั้นยังเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงเพราะมีการเอาความร้อนหลังจากอบแห้งกลับมาใช้ใหม่ ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้การอบแห้ง คือสมบัติและประเภทของความชื้นวัสดุ โดยปกติความชื้นที่อยู่ในวัสดุจะประกอบไปด้วย ความชื้นรอบผิว (Boundary Moisture) ซึ่งเป็นความชื้นที่ถูกดึงออกไปได้ง่าย และความชื้นในเนื้อวัสดุ (Absorbed Moisture) นอกจากนั้นยังมีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ที่มีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นอีกด้วย โดยปกติในการอบแห้งวัสดุใด ๆ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุที่ยังคงเหลืออยู่ในเนื้อวัสดุจะสมดุลกับความชื้นอากาศที่ไอบ โดยที่ความชื้นในวัสดุดังกล่าวจะไม่ลดต่ำกว่านี้อีกแม้ว่าจะใช้เวลานานเท่าใดก็ตาม ความชื้น ณ จุดนี้เรียกว่า ค่าความชื้นสมดุล [3]



(1.1) ส่วนประกอบของระบบปั๊มความร้อน (1.2) แผนภูมิความดันและเอนทาลปีของวัฏจักรปั๊มความร้อน

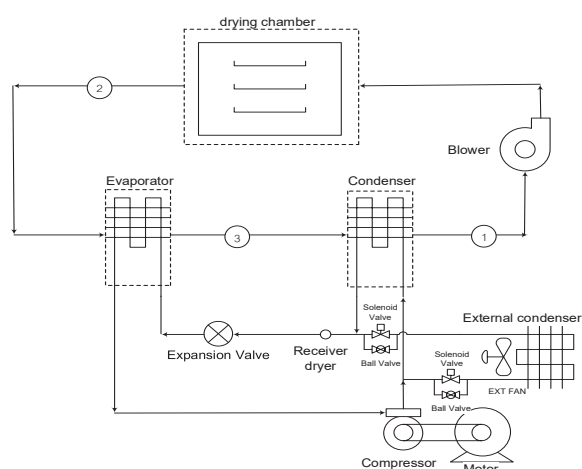
ภาพที่ 1 ส่วนประกอบและวัฏจักรของระบบปั๊มความร้อน [4]

เนื่องจากความเร็วของอากาศส่งผลอย่างมากกับอัตราการอบแห้ง [5] งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงผลกระทบของความเร็วลมหน้าห้องอบแห้งในการอบแห้งวัสดุเกษตรด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยตัวอย่างวัสดุเกษตรที่นำมาอบแห้งคือ กลั้วน้ำว้าแผ่น (Banana Slices) เปรียบเทียบระหว่างความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 0.35 และ 0.25 m/s ว่าแบบใดมีผลต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนดีที่สุด

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้ใช้กลั้วน้ำว้า 2.4 – 3.3 kg หั่นแนวขวางหนาประมาณ 55 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 30 mm ความชื้นเริ่มต้น 166.07 – 194.15 % db. วางเรียงในถาดอบแห้งขนาด 500 x 425 mm จำนวน 6 ถาด บรรจุในห้องอบแห้งขนาด 6000 x 9000 x 4000 mm ที่ทำงานเป็นระบบปิด ใช้ความร้อนจากปั๊มความร้อนในการอบแห้ง โดยปั๊มความร้อนประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์แบบเปิด ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ความดันที่เครื่องควบแน่น 2.00 MPa ความดันที่เครื่องทำระเหย 0.20 MPa. ควบคุมเวลาในการอบแห้งที่ 10 hr. อุณหภูมิหน้าห้องอบแห้ง 70°C ทำการทดสอบที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 0.35 และ 0.45 m/s โดยในการวัดค่าอุณหภูมิอากาศในตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องอบแห้งจะทำการบันทึกจากเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K บันทึกค่าทุกๆ 10 นาที จากนั้นนำค่าเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง

การทำงานของระบบอบแห้งปั๊มความร้อนแสดงดังภาพที่ 2.1 โดยตำแหน่งที่ 1 คือลมร้อนก่อนเข้าห้องอบแห้ง เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลไปยังตำแหน่ง 2 อุณหภูมิลมร้อนจะต่ำลง แต่ความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้น จากนั้นจะไหลผ่านเครื่องทำระเหย ทำให้สัดส่วนความชื้นและอุณหภูมิลดลงจนถึงตำแหน่งที่ 3 เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับเครื่องควบแน่น ทำให้อุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น และวนกลับเข้าห้องอบแห้งเป็นวัฏจักร โดยการควบคุมอุณหภูมิปั๊มความร้อนใช้วิธีการแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Control) ของโซลินอยด์วาล์ว เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งยังไม่ถึงค่าที่กำหนด (Set Point) สารทำความเย็นจะไม่สามารถไหลผ่านไปยังเครื่องควบแน่นตัวนอกได้ เพื่อให้สารทำความเย็นไหลเข้าเครื่องควบแน่นตัวใน (Internal Condenser) เพียงตัวเดียว ในทางกลับกันหากอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงกว่าค่าที่กำหนด สารทำความเย็นจะไปยังเครื่องควบแน่นตัวนอกได้ เพื่อระบายความร้อนส่วนเกินออกนอกระบบ โดยที่ยังมีสารทำความเย็นส่วนหนึ่งไหลผ่านเครื่องควบแน่นตัวใน เครื่องอบแห้งที่ได้พัฒนาขึ้นแสดงดังภาพที่ 2.2



2.1 ฟังแสดงการทำงานของระบบอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน

2.2 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนและฟังแสดงการทำงานของระบบ

หาค่าความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ โดยนำกล้วยน้ำว้าแผ่นหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนไปอบต่อในตู้อบลมร้อนอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักหลังการอบ ซึ่งถือว่าเป็นน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความชื้น (M_d) จากสมการ (1) [6]

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

เมื่อ	M_d	คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, % dry-basis
	w	คือ มวลของวัสดุ, kg
	d	คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) เป็นความสามารถในระเหยน้ำออกจากวัสดุเกษตร โดยกำหนดให้อัตราการอบแห้งคือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อเวลาการอบแห้ง ดังสมการที่ (2)

$$DR = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ}}{\text{เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง}} \quad (2)$$

การประเมินสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน สามารถพิจารณาได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) ในเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน ดังสมการที่ (3)

$$Q_c = m_r (h_2 - h_3) \quad (3)$$

เมื่อ	m_r	คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น, kg/s
	h_2	คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าเครื่องควบแน่น, kJ/kg
	h_3	คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นขณะออกจากเครื่องควบแน่น, kJ/kg

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อน (COP) คำนวณจากอัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นต่อกำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอ [1] ที่ได้จากการใช้งานจริงของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน แสดงดังสมการที่ (4) ดังนี้

$$COP = \frac{Q_c}{W_{\text{comp.}}} \quad (4)$$

เมื่อ $W_{\text{comp.}}$ คือ กำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอ, kW

สำหรับประสิทธิภาพพลังงานในการอบแห้ง กำหนดด้วย อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (Specific Moisture Extraction Rate, SMER) มีหน่วยเป็น $\text{kg}_{\text{water}}/\text{kW.h}$ แสดงดังสมการ (5) ตามลำดับ

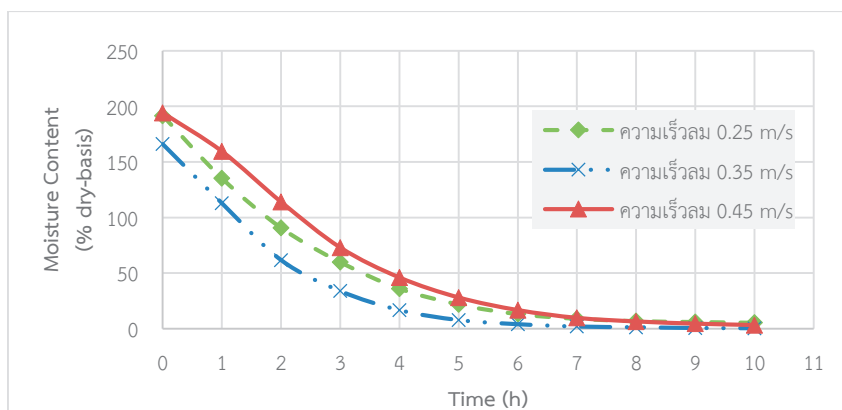
$$SMER = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ}}{\text{พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}} \quad (5)$$

ผลการทดลองและการอภิปราย

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเร็วลมหน้าห้องอบแห้งที่มีต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน โดยศึกษาความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 3 ระดับ คือ 0.25 m/s, 0.35 m/s และ 0.45 m/s ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

อัตราส่วนความชื้น (Moisture Content)

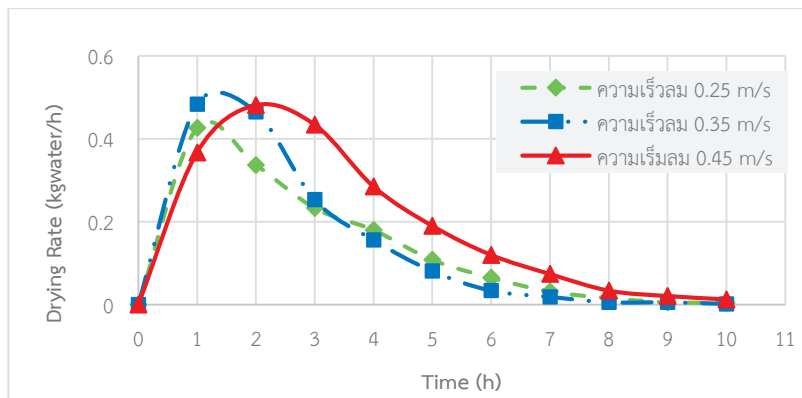
จากการทดลองพบว่า ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง ทั้ง 3 ระดับ มีอัตราส่วนความชื้น ไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยเส้นแนวโน้มจะมีความชันในช่วงต้น เนื่องจากปริมาณความชื้นของกล้วยน้ำว้าแผ่นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปความชื้นของกราฟจะลดลงจน เข้าใกล้ศูนย์นั้นคืออัตราส่วนความชื้น ของกล้วยน้ำว้าแผ่นจะเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง จนแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความชื้นที่ผิวออกถูกระเหยออกไปจนหมด คงเหลือแต่ความชื้นภายในซึ่งระเหยออกมาได้ยากกว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงแรกความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกและภายในวัสดุพูนต่างกันจะมากขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในวัสดุพูนเพิ่มขึ้น ทำให้ความดันแตกต่างระหว่างความดันในภายในวัสดุพูนกับอากาศโดยรอบภายนอก ส่งผลให้การแพร่ความชื้นจากภายในวัสดุพูนเคลื่อนที่มายังผิวนอกได้เร็วขึ้นทำให้ความชื้นลดลงเร็วในช่วงแรก [7] จากกราฟ ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.35 m/s มีอัตราส่วนความชื้น ต่ำกว่าทุกความเร็วลมตลอดการทดลอง เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นของความเร็วมนี้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งหากสามารถควบคุมความชื้นเริ่มต้นให้เท่ากันได้ทุกการทดลอง เส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น อาจจะแนวโน้มใกล้เคียงกันทุกความเร็วลม



ภาพที่ 3 อัตราส่วนความชื้น ของกล้วยน้ำว้าแผ่นที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate) ของกล้วยน้ำว้าแผ่น

อัตราการอบแห้งของกล้วยน้ำว้าแผ่นในระหว่างการอบแห้งทั้งสามความเร็วลม มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงที่ 1 และ 2 จากนั้นจึงลดลงจนคงที่ สอดคล้องกับอัตราส่วนความชื้น จากการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 0.35 และ 0.25 m/s มีฐานกว้างและลดน้อยลงตามลำดับ ดังภาพที่ 4 หากความเร็วลมร้อนมีค่าสูง การระเหยของน้ำที่ผิวหน้าวัสดุก็จะสูงขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น [8] ความเร็วอากาศส่งผลอย่างมากกับอัตราการอบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งที่ความเร็วลมสูง อากาศสามารถพาความชื้นออกจากห้องอบแห้งได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mustafa Aktas, *et al.* [5]

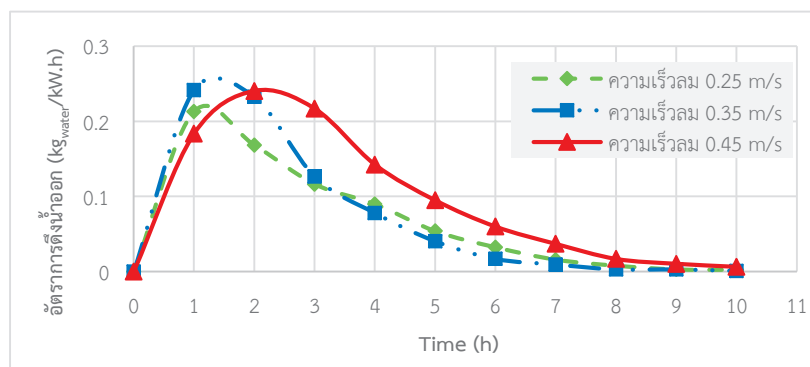


ภาพที่ 4 อัตราการอบแห้งในแต่ละชั่วโมงของเครื่องอบแห้ง

อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (Specific Moisture Extraction Rate, SMER)

อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย เป็นการเปรียบเทียบความชื้นที่สามารถดึงออกจากกล้วยน้ำว้าแผ่นต่อพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง พลังงานรวมที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละความเร็วลมมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการทำงานของปั๊มความร้อนเท่ากันทั้งสามความเร็วลม ต่างกันเพียงพลังงานที่ใช้หมุนพัดลม การอบแห้งที่ความเร็วลมสูงใช้พลังงานสูง ความชื้นที่ออกจากกล้วยน้ำว้าสัมพันธ์กับอัตราการอบแห้ง ส่งผลให้กราฟแสดงอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย ในแต่ละชั่วโมง ดังภาพที่ 5 มีแนวโน้มใกล้เคียงกับกราฟแสดงอัตราการอบแห้ง ในแต่ละชั่วโมง ดังภาพที่ 4

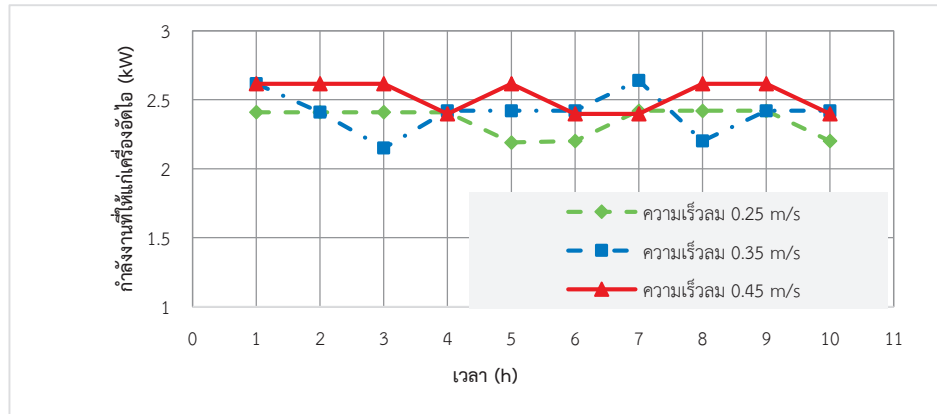
จากภาพที่ 5 ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 m/s จะมีอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 1-2 แต่ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.35 และ 0.25 m/s มีอัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 1 เท่านั้น เนื่องจากที่ความเร็วลมเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทมวลบริเวณผิวของกล้วยเกิดขึ้นได้ดีขึ้น



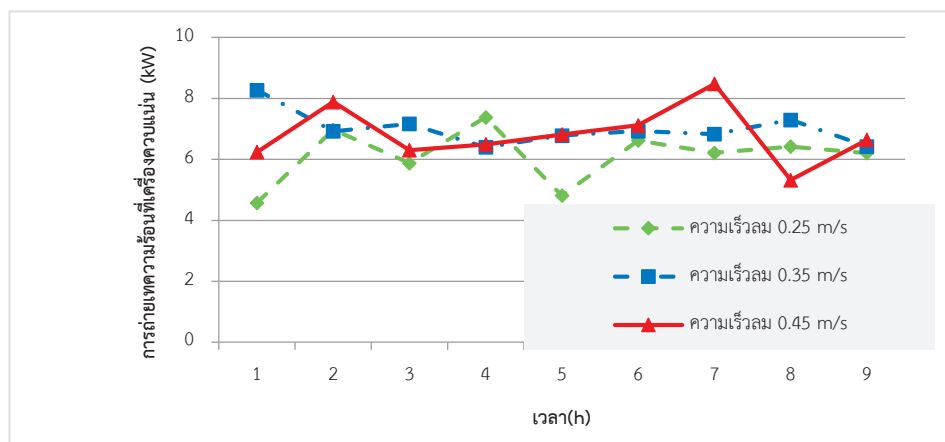
ภาพที่ 5 อัตราการดึงน้ำออกจำเพาะเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงของเครื่องอบแห้ง

ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง

พลังงานที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ได้แก่ พัดลมที่ใช้ในการหมุนเวียนอากาศ และมอเตอร์ขับเคลื่อนอัดไอ ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่ถูกใช้ไปกับมอเตอร์ขับเคลื่อนอัดไอ จากภาพที่ 6.1 อัตราการใช้พลังงานรวมของเครื่องอบแห้งตลอดช่วงเวลาอบแห้งเท่ากับ 26.79 24.12 และ 21.99 kWh ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 0.35 และ 0.25 m/s ตามลำดับหากเทียบภาพที่ 6.1 และ 6.2 กำลังงานที่เราต้องป้อนให้แก่เครื่องอัดไอจะมีค่าต่ำกว่าการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) ซึ่งเป็นพลังงานที่ปั๊มความร้อนผลิตได้ อันเนื่องมาจากความได้เปรียบเชิงกลทางความร้อนของปั๊มความร้อนซึ่งนับเป็นข้อดีทางด้านพลังงานของระบบดังกล่าวหากเทียบกันอุปกรณ์ทางความร้อนชนิดอื่น



6.1 กำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอแต่ละชั่วโมง

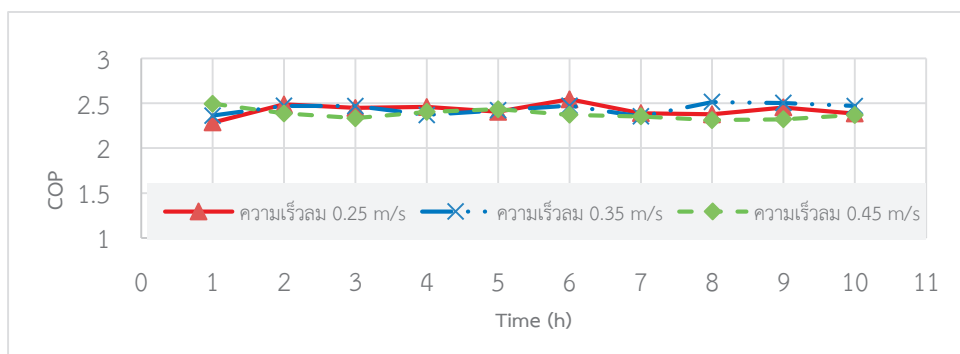


6.2 การถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) แต่ละชั่วโมง

ภาพที่ 6 กำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอและการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น ในแต่ละชั่วโมงของการอบแห้ง

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน (COP)

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน คำนวณจากอัตราส่วนระหว่าง อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) กับกำลังงานที่ให้แก่เครื่องอัดไอแสดงดังสมการ (4) การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนในแต่ละเวลาแสดงดังภาพที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ยที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 m/s เท่ากับ 2.424 ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.35 m/s เท่ากับ 2.441 และที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 m/s เท่ากับ 2.379 และตลอดเวลาการอบแห้ง ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามความเร็วลม ซึ่งเป็นผลมาจากความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง และอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนในแต่ละชั่วโมงของการอบแห้ง

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนแบบระบบปิด ซึ่งทำการทดลองโดยควบคุมอัตราการไหลของความเร็วลมหน้าห้องอบแห้งที่ 0.25 0.35 และ 0.45 m/s สรุปผลได้ดังนี้

ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 m/s ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่น จำนวน 2.204 kg ความชื้นเริ่มต้น 191.60 % อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C ใช้เวลาอบแห้ง 10 ชั่วโมง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) 2.38 อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR) 0.202 kg_{water, evap}/h อัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) 0.071 kg_{water cond}/kWh

ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.35 m/s ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่น จำนวน 2.416 kg ความชื้นเริ่มต้น 166.07 % อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C ใช้เวลาอบแห้ง 10 ชั่วโมง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) 2.44 อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR) 0.151 kg_{water, evap}/h อัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) 0.053 kg_{water cond}/kWh

ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 m/s ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าแผ่นจำนวน 3.310 kg ความชื้นเริ่มต้น 194.15 % อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C ใช้เวลาอบแห้ง 10 ชั่วโมง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) 2.62 อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR) 0.141 kg_{water, evap}/h อัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) 0.056 kg_{water cond}/kWh

จากการทดลองพบว่า การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.45 m/s จะมีค่าอัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) สูงสุด แต่จะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) น้อยที่สุด ส่วนทดลองการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้ง 0.25 m/s จะมีค่าอัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) น้อยที่สุด แต่จะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) สูงสุด ซึ่งหากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP) ของทั้งสามความเร็วลมมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่ความเร็วลมหน้าห้องอบแห้งที่ 0.45 m/s มีค่าอัตราการคังน้ำออกจำเพาะเฉลี่ย (SMER) สูงสุด จึงเป็นเงื่อนไขที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cengel, Y. A. and Boles, M. (2002). **Thermodynamics an Engineering Approach**. 7th ed., New York: McGraw-Hill.
- [2] Soponronnarit, S. and Achariyaviriya, S. (2000). "Drying of Vegetable and Fruits with Heat Pump Dyer", **The Journal of the Royal Society of Thailand**. 25(2), 182-196.

- [3] Tipyavimol, T. (2010) “Maintaining Quality of Instant Dried Vegetable by Heat Pump Drying Technique”, **Research Report**. Suranaree University
- [4] Sadchang, A. (2006). “Design and Construction of Heat Pump Dryer Prototype for Small Industry”, **Master Thesis in Energy Engineering**. Chiang Mai University.
- [5] Aktas, M., Khanlari, A., Amini, A. and Sevik, S. (2017). “Performance Analysis of Heat Pump and Infrared-Heat Pump Drying of Grated Carrot using Energy-Exergy Methodology”, **Energy Conversion and Management**. 132, 327-338.
- [6] Soponronnarit, S. (1997). **Drying of Food and Cereal Grains**. 7th ed. King Mongkut’s University of Technology Thonburi.
- [7] Wannathon, I. (2011). “A Study of Temperatures and Moist Characteristics Porous Media in ht Air Dryer Chamber using Computational Fluid Dynamics”, **Master Thesis in Mechanical Engineering**. Srinakharinwirot University.
- [8] Duangsrise, W. (2012). “A Study of Drying Cassava Pulp using a Rotary Screen Dryer”, **Master Thesis in Agricultural and Food Engineering**. Suranaree University of Technology.