

การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อน

Performance Analysis of Solar Dryer Hybrid with Thermal energy Storage System

จำรัส กิ่งสวัสดิ์¹ ชินรักษ์ เขียวพงษ์²

¹สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างและวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะตู้อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้ออกแบบเป็นแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ซึ่งมีค่าดูดกลืนความร้อนสูงสุด 76.23 % ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อน โดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อนชนิด 3GS ปริมาณ 180 ลิตร และก้อนหินแกรนิตทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20-30 มิลลิเมตร จำนวน 80 กิโลกรัม บรรจุภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อนรูปทรงกระบอกหุ้มฉนวนป้องกันความร้อนอย่างดี การทดลองอบแห้งเนื้อวัวผ่านการปรุงรสแล้ว น้ำหนัก 1,000 กรัม ในตู้อบจำนวน 2 ชั้น จัดวางกระจายสม่ำเสมอ ทำการอบแห้งทั้งกลางวันและกลางคืน ตลอด 24 ชั่วโมง บันทึกค่าน้ำหนัก และปริมาณความชื้นของเนื้อวัวทุกๆ 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบของการอบเนื้อวัวทั้งกลางวันและกลางคืน 40 - 65.5 °C ระยะเวลาในการอบแห้ง 24 ชั่วโมง ตู้อบแห้งมีประสิทธิภาพสูงสุด 68.36 % ที่อัตราการไหลของน้ำมันแลกเปลี่ยนความร้อน 8 ลิตร ต่อนาที เนื้อวัวเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 6.25 % wb. เมื่อเปรียบเทียบกับระบบซึ่งไม่มีการเก็บกักความร้อนที่สามารถอบแห้งได้เพียงระยะเวลาที่มีแสงอาทิตย์ส่งผ่านความร้อนมายังแผงรับความร้อนเท่านั้น ส่วนที่มีระบบกักเก็บความร้อนสามารถอบแห้งได้ตลอด 24 ชั่วโมง และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าจุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้ง แบบพลังงานความร้อนร่วม สามารถคืนทุนในระยะเวลา 2.9 ปี

คำสำคัญ : การวิเคราะห์สมรรถนะ, พลังงานแสงอาทิตย์, ความชื้น, การสะสมความร้อน, เครื่องอบแห้งเนื้อ

Abstract

This research has purposes to design and analyze for comparing performance of sun-drying oven by using a sun thermal collector having 76.23% heat absorption. We use 180 Lt. of a 3GS hot oil and 80 kg of Ø20-30 mm ball granite filled in an insulated cylindrical tank for our heat storage system.

To evaluate our system, 1000 kg of seasoning beef was put in 2-storey drying oven for 24 hrs. Temperature was recorded every 1 hr. and found that it is approximately 40-65.5°C. The highest performance is 68.36% whereas the flow rate of the old is 8Lt/min. At the end of drying process, we found

that humidity of the beef is only 6.25% wb. Comparing to non-storage drying system which only working during the day, our system can be used as dryer for 24 hrs. From economical point of view, the investment return point is around 2.9 years.

Keyword : Performance analysis, solar energy, humidity, Thermal storage, food-grade dryer

1. บทนำ

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการลดความชื้นออกจากอาหารโดยวิธีการตากแดดกลางแจ้งนั้นมีการทำมานานแล้ว ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการตากแห้งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ เช่น ความชื้นในวัสดุที่นำมาตากแห้ง ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์รวมทั้งองค์ประกอบภายนอกของอากาศในขณะนั้น จะเห็นได้ว่าการถนอมอาหารโดยวิธีการตากแห้ง นั้นจะทำให้เฉพาะในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์เท่านั้น และยังมีปัญหาอันเนื่องจากฝนตก และสิ่งสกปรกจากสภาพแวดล้อมอีกด้วย การที่จะทำให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องต้องอาศัย ระบบการกักเก็บพลังงานความร้อน แสงอาทิตย์ เพื่อนำพลังงานความร้อนที่กักเก็บไว้ไปใช้ในช่วงเวลาที่ไม่สามารถนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้งานได้ [1] ได้ทดลองอบปลาในเครื่องอบแห้งแบบกล่องและแบบเดินท่อ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับการตากกลางแจ้ง ผลการทดลองพบว่าปลาที่อบในเครื่องอบแห้ง จะมีอัตราการอบแห้ง และสีผิว ดีกว่าการตากกลางแจ้งและสามารถเก็บปลาได้นาน 4-5 สัปดาห์ ในขณะที่ปลาตากกลางแจ้งจะเก็บปลาได้นาน 1-2 สัปดาห์ [2] ได้ทำการวิจัย สมรรถนะทางความร้อนของระบบกักเก็บพลังงานในรูปความร้อนสัมผัสเพื่อใช้เป็นพลังงานเสริมในการอบแห้งระหว่างกระบวนการประจุความร้อนและกระบวนการดึงความร้อนโดยใช้กรวดเป็นวัสดุสะสมพลังงาน พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดของระบบเท่ากับ 65°C สำหรับกระบวนการประจุความร้อนใช้เวลา 7 ชั่วโมง และอุณหภูมิต่ำสุดของระบบ 35°C สำหรับกระบวนการดึงความร้อน 10 ชั่วโมง ปริมาณพลังงานความร้อนสัมผัส สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ขึ้นอยู่กับอัตรา การไหล อุณหภูมิ ของน้ำมันถ่ายเทความร้อน โดยที่ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดตามกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ คือ 60 % [3] การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสารเปลี่ยนสถานะ เป็นการอบแห้งที่ใช้ 2 ช่วงเวลา คือช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน เป็นการวิจัยที่คล้ายคลึงกัน คือสามารถอบแห้งได้ 24 ชั่วโมงเช่นกัน แตกต่างกันตรงการสะสมพลังงาน โดยใช้พาราฟิน เป็นตัวเก็บและคายความร้อน ในรูปแบบความร้อนแฝง จากนั้นนำความร้อนมาใช้ในการอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยนี้ที่ใช้ หินแกรนิตเป็นตัวสะสมพลังงานความร้อนในรูปแบบความร้อนสัมผัส ข้อเสียแบบพาราฟินคือ ราคาแพง และสามารถติดไฟได้ง่าย ประสิทธิภาพในการคายความร้อนจะต่ำกว่า การเก็บความร้อนด้วยหินแกรนิต เพราะแบบพาราฟิน จะสูญเสียความร้อนบางส่วนไปกับความร้อนแฝงเมื่อเปลี่ยนสถานะ

2. ทฤษฎีการวิจัย

2.1 ความชื้นในวัสดุ

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basic) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุขึ้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ แสดงดังสมการที่ 1 และปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basic) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง สามารถหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์แสดงดังสมการที่ 2

$$M_w = \frac{(w - d)}{w} \times 100 \quad (1)$$

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} \times 100 \quad (2)$$

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก % wb.

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง % db.

w คือ มวลเปียกของวัสดุ

d คือ มวลแห้งของวัสดุ

2.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

$$\eta_{\text{cabinet}} = \frac{M_w \times h_{fg}}{m C_p (T_o - T_i)} \times 100 \quad (3)$$

η_{cabinet} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง (%), M_w คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ (kg), h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg), $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s), C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C), T_o คือ อุณหภูมิของน้ำมันที่ไหลออกจากแผงรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ (°C), T_i คือ อุณหภูมิของน้ำมันที่ไหลเข้าแผงรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ (°C)

2.3 ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

(Collector efficiency)

ค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะเป็นดัชนีที่ใช้บอกความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานจากแสงอาทิตย์คำนวณได้จาก

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{I_T A_c} \quad (4)$$

การวิเคราะห์ค่าอัตราความร้อนแผงรับพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นจะอยู่ในรูปสมการ Hottel-Willier-bliss

เมื่อ

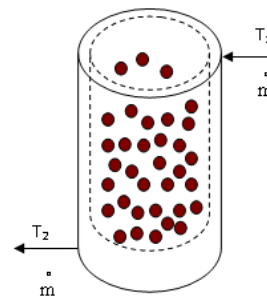
$$Q_u = A_c F_R [(\tau \alpha)_e - U_L (T_f - T_a)]$$

Q_u คือ ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (W), A_c คือ พื้นที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (m²), U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับพลังงาน

จากแสงอาทิตย์ (W/m² °C), T_f คือ อุณหภูมิของน้ำมันที่ไหลเข้าแผงรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ (°C), T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C), F_R คือ รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ (W/m²), $(\tau \alpha)_e$ คือ ผลคูณประสิทธิภาพของค่าส่งผ่านและดูดกลืนรังสี, F_R คือ แฟกเตอร์ดึงความร้อน (heat removal factor)

2.4 ระบบกักเก็บสะสมพลังงานความร้อน

การแลกเปลี่ยนความร้อนภายในถังกักเก็บพลังงานระหว่างกรวดกับน้ำมันถ่ายเทความร้อนทำให้อุณหภูมิของหินแกรนิตมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาการประจุความร้อนสามารถพิจารณาสมการประจุพลังงานความร้อนโดยพิจารณาตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 การไหลเชิงมวลของสารทำงาน

ถ้าให้สารทำงานเป็นน้ำมันที่ไหลเข้า-ออกภาชนะสะสมพลังงานความร้อนสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการ

$$Q_{\text{storage}} = m_{\text{oil}} C_{p_{\text{oil}}} (T_1 - T_2) t \quad (5)$$

เมื่อ

Q_{storage} คือ ปริมาณความร้อนที่สะสมในถังกักเก็บ kJ

m_{oil} คือ อัตราไหลเชิงมวลของน้ำมัน kg/s

$C_{p_{\text{oil}}}$ คือ ความจุความร้อนจำเพาะน้ำมัน kJ/kg °C

T_1 คือ อุณหภูมิน้ำมันเข้าถังกักเก็บพลังงาน °C

T_2 คือ อุณหภูมิน้ำมันออกถังกักเก็บพลังงาน °C

t คือ เวลาของการประจุ s

2.5 ประสิทธิภาพของการสะสมพลังงานได้จากสมการ

$$\eta_{\text{storage}} = \frac{((m_{\text{granite}} C_{p_{\text{granite}}}) + (m_{\text{oil}} C_{p_{\text{oil}}}) (T_{\text{average}+1} - T_{\text{average}}))}{\sum (m_{\text{oil}} C_{p_{\text{oil}}} (T_{\text{oil, in}} - T_{\text{oil, out}}))} \times 100\% \quad (6)$$

เมื่อ m_{granite} คือ มวลก้อนหินแกรนิต kg, m_{oil} คือ มวลน้ำมัน kg, $C_{p_{\text{granite}}}$ คือ ความจุความร้อนจำเพาะก้อนหินแกรนิต kJ/kg °C, $C_{p_{\text{oil}}}$ คือ ความจุความร้อนจำเพาะน้ำมัน kJ/kg °C, T_{average} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอก °C, $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมัน kg/s

2.6 การคำนวณหาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ได้จากสมการ

$$(A/P, I\%, n) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7)$$

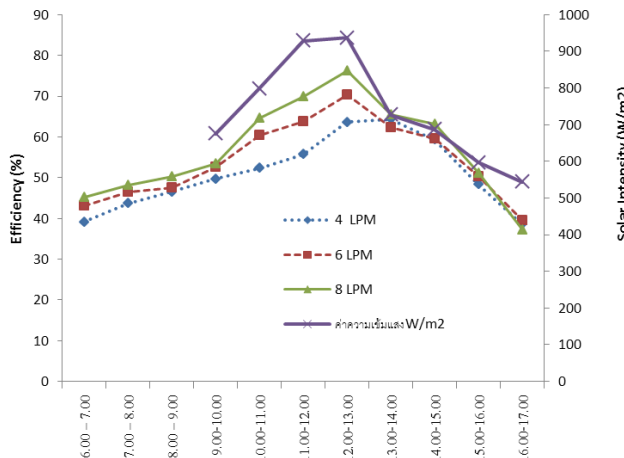
P คือ มูลค่าเงินในปัจจุบัน, A คือ มูลค่าเงินเท่ากันทุกปี n คือ จำนวนปี, i คือ อัตราดอกเบี้ยทบต้น

3. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์การวิจัยประกอบด้วยแผงรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ มีขนาด ความกว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 1,200 x 2,200 x 150 มิลลิเมตร ดังในรูปที่ 2 แผงรับแสงอาทิตย์วางทำมุม 15 องศา กับแนวราบ และหันแผงด้านหน้ารับแสงลงไปทางทิศใต้ได้รับแสงได้ตลอดทั้งวัน วัสดุตัวโครงทำจากอะลูมิเนียม ท่อการไหลผ่านของน้ำมันถ่ายเทความร้อน ใช้ท่อทองแดง โดยท่อหลักมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 มิลลิเมตร ส่วนท่อย่อยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.87 มิลลิเมตร จัดวางท่อให้ท่อหลักอยู่ในแนวขวาง ท่อย่อยวางตามความยาวของแผงห่างกันประมาณ 50 มิลลิเมตร แล้วต่อเชื่อมถึงกันโดยมีท่อทางสารเข้าและออกด้านบนและด้านล่างของแผง พื้นภายในแผงรองรับท่อเป็นแผ่นทองแดงถูกเคลือบด้วยสีดำด้านสามารถดูดกลืนความร้อนได้ดี ภายในแผงหุ้มฉนวนกันความร้อนทั้งด้านล่างและด้านข้างทั้งหมด ส่วนด้านบนถูกปิดกั้นด้วยกระจก

ใสหนา ประมาณ 5 มิลลิเมตร ให้แสงสามารถผ่านลงมาได้ สำหรับถังเก็บพลังงานความร้อนโดยออกแบบเป็นรูปทรงกระบอก กลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 500 มิลลิเมตร สูง 1,200 มิลลิเมตร ภายในบรรจุก้อนหินแกรนิตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ย 20-30 มิลลิเมตร น้ำหนักของมวลก้อนหินแกรนิตทั้งหมด 80 กิโลกรัม ที่ใช้หินแกรนิตเนื่องจากหาง่าย ราคาไม่แพง ขึ้นรูปให้กลมง่าย มีคุณสมบัติสามารถสะสมและคายความร้อนได้ดี ไม่ยุ่ยหรือละลายในน้ำมัน เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้กับชาวบ้านและท้องถิ่น และใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อนชนิด 3 GS ปริมาณ 180 ลิตร เป็นน้ำมันถ่ายเทความร้อนที่หาง่ายในท้องตลาด ราคาไม่แพง สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี มีจุดเดือดสูง มีความสามารถในการต้านทานการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนสูง ป้องกันการเกิดฟองคราบวุ้นและยางเหนียวในน้ำมัน การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K วัดตามจุดต่างๆ เช่น อุณหภูมิบรรยากาศ อุณหภูมิทางเข้า-ออก แผงรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิทางเข้า-ออกชุดแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิทางเข้า-ออกและภายในถังเก็บพลังงานความร้อน เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ โรตารีมิเตอร์ เครื่องวัดความเร็วอากาศและความชื้นแบบดิจิตอล และไพโรมิเตอร์ เป็นการวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ บนพื้นที่ราบ ในช่วงสเปกตรัม 0.3 μm to 3 μm ใช้เก็บผลในขณะที่ทำการอบแห้งและเมื่อมีแสงดวงอาทิตย์ การเก็บผลที่ ต.หนองบัว อ.เมือง จ.กาญจนบุรี ที่ละติจูด 14° 03' 40.0" เหนือ ลองจิจูด 99° 25' 21.6" ตะวันออก ป้อนน้ำมัน เป็นอุปกรณ์สร้างแรงดันให้น้ำมันเกิดการเคลื่อนที่ โดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ขับปั๊มไฮดรอลิกส่งผ่านกำลังโดยใช้สายพาน และมีการควบคุมอุณหภูมิน้ำมันทางเข้า-ออก ไม่ให้มีความแตกต่างกัน ปั๊มสามารถสร้างอัตราการไหลได้ 10 ลิตรต่อนาที การทดลองใช้เนื้อวัสดุจำนวน 1,000 กรัมที่ผ่านการปรุงรสเรียบร้อยแล้ว ช่วงเวลากลางวันเป็นช่วงที่ประจุพลังงานความร้อนและอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยปิดวาล์วตัวที่ 4 และเปิดวาล์วตัวที่ 3,5 ดังแสดงรูปที่ 3 เปิด

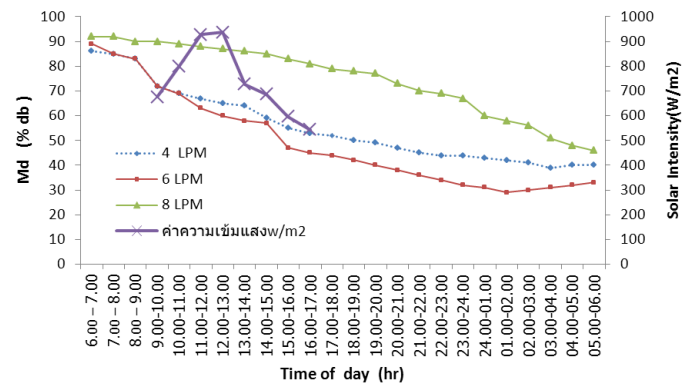
ที่มีก้อนหินแกรนิตเป็นตัวประจุและคายความร้อนให้กับน้ำมันถ่ายเทความร้อน โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองคือเนื้อวัวสดจำนวน 1,000 กรัมที่ผ่านการปรุงรสเรียบร้อยแล้ว ดังข้อมูลที่แสดงในรูปของกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพแผงรับรังสีดวงอาทิตย์เทียบกับเวลา

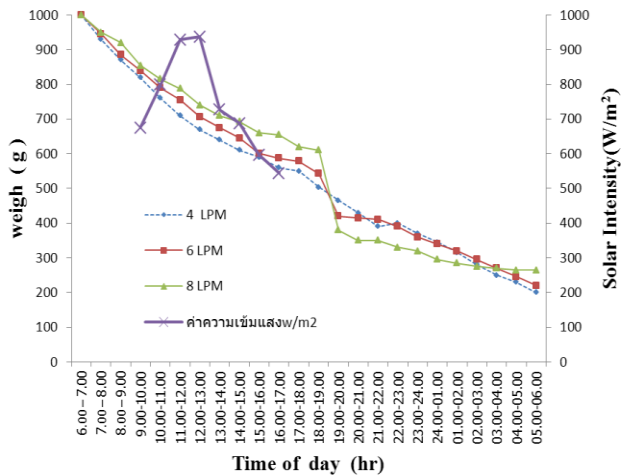
จากรูปที่ 5 เป็นกราฟที่แสดงผลจากการทดลองและวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีที่อัตราการไหลผ่านของน้ำมันที่ 4, 6 และ 8 ลิตรต่อนาที เป็นการเทียบกับช่วงเวลารับรังสีจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่ 09.00 - 17.00 น. โดยการนำเนื้อวัวสดผ่านการปรุงรสใช้ในการทดสอบอบแห้งไปซึ่งน้ำหนัก จำนวน 1,000 กรัม และจัดวางเรียงเนื้อเป็น 2 ถาด ถาดละ 500 กรัม จัดวางให้เนื้อวัวกระจายอย่างสม่ำเสมอ ก่อนนำเข้าตู้อบแห้งบันทึกค่าอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีทั้ง 3 อัตราไหลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือประสิทธิภาพต่ำในช่วงเช้าแรกเนื่องจากความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ยังมีน้อยและค่อยๆ สูงขึ้น สูงสุดในช่วงเวลากลางวัน(12.00 - 13.00 น.) เป็นเพราะดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับแผงรับรังสีและค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าสูงสุด จึงทำให้การถ่ายเทความร้อน มีประสิทธิภาพสูงด้วย เมื่อพิจารณาจากอัตราการไหลของน้ำมันถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 ค่าคืออัตราการไหล 8 ลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพสูงสุดและลดลำดับลงคือ 6 ลิตรต่อนาที และ 4 ลิตรต่อนาที ตามลำดับการที่เป็นเช่นนี้

เกิดจาก การไหลเชิงมวลที่มากกว่าทำให้ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้น นั่นคือ ในช่วงอัตราการไหล 8 ลิตรต่อนาที ผลทำให้ดูดกลืนพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้มาก และมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด 76.23% ช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น.



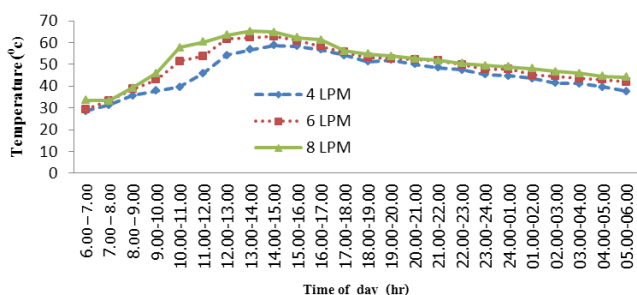
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้นภายในตู้อบแห้งเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 6 เป็นการศึกษาปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นในตู้อบแห้ง ขณะที่ทำการอบในช่วงเวลาต่างๆ ด้วยอัตราการไหลของน้ำมันที่ 4 , 6 และ 8 ลิตรต่อนาที พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกัน คือในช่วงช่วงแรกของ การอบแห้งปริมาณความชื้นในตู้อบแห้ง จะมีปริมาณสูงและค่อยๆ ลดลงจนถึงสิ้นสุดช่วงของการอบแห้ง จะพบว่าอัตราการไหลน้ำมัน 8 ลิตรต่อนาที มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมากที่สุดคือ 89 % สำหรับอัตราการไหลน้ำมัน 6 และ 4 ลิตรต่อนาที เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเท่ากับ 70 % และ 58 % ตามลำดับ และพบได้ว่าช่วงที่มีปริมาณความชื้นสูงเนื่องจากเนื้อวัวได้รับความร้อน ทำให้ปริมาณน้ำในเนื้อวัวระเหยออกมามาก มีผลทำให้ปริมาณความชื้นในตู้อบมากขึ้นด้วย และความชื้นลดลงเนื่องจากปริมาณน้ำของเนื้อวัวระเหยออกน้อยลง



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและความชื้นมาตรฐาน
แห้งในการอบแห้งเนื้อวัวเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเนื้อวัวและความชื้นมาตรฐานแห้งเทียบกับเวลา ซึ่งเนื้อวัวมีค่าน้ำหนักเริ่มต้นการอบแห้งที่ 1,000 กรัม และตัวอย่างเนื้อวัวที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการอบแห้งประมาณ 400 % db มาตรฐานแห้ง เมื่อทำการอบแห้งให้มีความชื้นสุดท้ายหลังการประมาณ 6.67% มาตรฐานแห้ง เนื่องจากการได้รับความร้อนของเนื้อวัวทำให้ปริมาณความชื้นในเนื้อวัวมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นที่มีมากในช่วงแรกแล้วค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อเสร็จสิ้นการอบแห้งได้ค่าน้ำหนักของเนื้อวัวเหลือเท่ากับ 785 กรัม



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังกักเก็บ
พลังงานความร้อนเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 8 เป็นกราฟที่แสดงผลของอุณหภูมิภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อน ตลอด 24 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลของน้ำมันถ่ายเทความร้อน 4, 6 และ 8 ลิตรต่อนาที่ จะพบว่าในช่วงเวลา 06.00-09.00 น. มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากเริ่มต้นการถ่ายเทความร้อน และช่วงเวลาดังแต่เวลา 17.00-06.00 น. (ช่วงที่หมดแสงแดด) มีอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมาก แต่ในช่วงเวลา 09.00-17.00 น. อุณหภูมิจะมีความแตกต่างกัน คือในอัตราการไหลของน้ำมันถ่ายเทความร้อนที่ 8 ลิตรต่อนาที่ สามารถถ่ายเทความร้อนได้สูงเฉลี่ย 65.16°C เป็นช่วงเวลาที่มิแสงแดด และเวลาที่หมดแสงแดดสามารถคายความร้อนได้สูงสุดเฉลี่ย 49.7°C



รูปที่ 9

รูปที่ 10

จากรูปที่ 9 เป็นการแสดงให้เห็นลักษณะของเนื้อก่อนทำการอบแห้ง และจากรูปที่ 10 เป็นการแสดงให้เห็นลักษณะของเนื้อหลังทำการอบแห้ง

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้คือ ผลการศึกษาอุณหภูมิของน้ำมันถ่ายเทความร้อน ที่ออกจากรังรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ในช่วงเวลา 06.00-17.00 น. ของช่วงวันที่ทำการทดลอง 10 ม.ค.-25 ก.พ. 2556 (ที่จังหวัดกาญจนบุรี) มีความเข้มแสงเฉลี่ย $19.49-20 \text{ MJ/m}^2\text{-d}$ รังรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถทำให้น้ำมันถ่ายเทความร้อนมีอุณหภูมิ $40-80^{\circ}\text{C}$ โดยในช่วงเช้าจะมีอุณหภูมิต่ำและจะมีค่าอุณหภูมิสูงในช่วงเที่ยงวันนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ รังรับพลังงาน

ความร้อนแบบแผ่นเรียบนี้มีประสิทธิภาพการดูดกลืนความร้อนสูงสุด 76.23 % ช่วงเวลา 12.00-13.00 น. ภายในตู้อบมีอุณหภูมิเฉลี่ย 40-65.5 °C ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 68.36 % ที่อัตราการไหลของน้ำมันถ่ายเทความร้อน 8 ลิตรต่อนาที เนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้นทำให้สามารถพาความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปใช้ในการระเหยความชื้นในเนื้อข้าวได้ทั้ง 2 ชั้น ขณะเดียวกันพลังงานความร้อนที่เหลือจากการอบแห้งจะประจุเก็บไว้ในกักเก็บพลังงานความร้อนเพื่อใช้อบแห้งในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ โดยเริ่มต้นการอบแห้งเนื้อข้าว ที่ความชื้นของเนื้อข้าวที่นำเข้าตู้อบนั้นประมาณ 80 % wb. จนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ใช้ในการอบประมาณ 6.25 % wb. และจากความชื้นของเนื้อข้าวที่นำเข้าตู้อบนั้นประมาณ 400 % db.จนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ใช้ในการอบประมาณ 6.67 % db. ทุกสภาวะใช้เวลาในการอบแห้งเนื้อให้แห้งมากกว่านี้จะแห้งมากเกินกว่าที่จะรับประทาน มีระยะเวลาคืนทุน 2.9 ปี โดยคิดจากค่าการลงทุน ค่าวัตถุดิบ ระยะเวลาการใช้งาน ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าการเสื่อมราคา และมีข้อดีของการอบแห้งนี้คือ ถูกสุขอนามัยไม่มีสิ่งปนเปื้อน และแมลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ทวีวัฒน์ สุภารัตน์ ที่ให้คำแนะนำวิธีการแก้ปัญหา และขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pablo,I.S."The Practicality of Solar Drying of Tropical Fruits and Marine Produces for Income Generation in Rural Area,The Solar Drying Work Shop, Ministry of Energy, Fort", Bonifacio Manila. Philippines.,pp18-21.,1978.
- [2] T.Suparoa,"Thermal Performance of Solar Dryer and Sensible Heat Energy Storage System," Conference Proceeding, Maejo University, 2547.
- [3] J.Kingsawat and Team,"Solar Drying of Agricultural Using Phase Change Material (PCM), " Journal of Science and Technology,Vol.4., pp.359-366, Mahasarakham University, 2551.
- [4] Meteorological Staions in Kanchanaburi, "Measurement of the intensity of light," Department of Meteorological Sciences, Kanchanaburi, 2546.
- [5] Bala, B.K., " Drying and Storage of Cereal Grains", Science Publishers, Inc., USA. 1997.
- [6] L.Heller and P.Gauche., " Modeling of the rock bed thermal energy storage system of a combined cycle solar thermal power plant in South Africa," Solar energy,Vol.93, pp.345-356, April, 2013.
- [7] N.Mertens, F.Alobaid, L.Frigge and B.Eppel, "Dynamic simulation of integrated rock-bed thermocline storage for concentrated solar power," Solar energy,Vol.110, pp.830-842, November, 2014.