

ระบบอบแห้งยางพาราโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อน Rubber Drying System by Using Solar Energy and Thermal Energy Storage System

ณัฐพล รุ่งประแสง¹ ทวีวัฒน์ สุภารส² และพิระ วิจะสิกะ²

Natthaphon Roonprasang¹, Taveewat Suparos² and Phira Vijasika²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบอบแห้งยางพาราโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อน ในการทดลองได้ใช้น้ำมันไฮดรอลิกเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและส่งผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน(แบบน้ำมัน-อากาศ) ในห้องอบแห้ง ความร้อนส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่านเข้าสู่ถังกักเก็บความร้อน จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำมันที่ออกจากตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบมีค่าอยู่ระหว่าง 50 °C- 80°C ซึ่งเพียงพอสำหรับการอบแห้งยางพารา อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งมีค่าระหว่าง 40°C – 70°C , อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังกักเก็บความร้อนมีค่าระหว่าง 40°C – 70°C และค่าความชื้นสุดท้ายของยางพาราที่อบแห้งด้วยระบบนี้มีค่า 10.5 % db. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในการซื้อขาย

คำสำคัญ : พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้ง ระบบกักเก็บพลังงานความร้อน

ABSTRACT

The objective of this research was to study a rubber drying system by using solar energy and thermal energy storage system. In this experiment, hydraulic oil has been used as a working fluid for transferring thermal energy from the solar collector to a heat exchanger (oil-air) in the oven. The remaining thermal energy was then stored in the thermal energy storage tank. From the study, it was found that the oil-out temperature from solar collector is 50 °C- 80°C which enough for use in baking dry the rubber tree, the means temperature within the oven is 40°C – 70°C, 40°C – 70°C in thermal storage and the last moisture content in drying rubber is 10.5 db.% which lies in acceptable trade standard

Keywords : solar energy, the oven, thermal energy storage system

E-mail : Natthaphon.r@rmutr.ac.th

¹ วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จ. นครปฐม 73170

Rattanakosin Sustainable Energy and Environment College, Nakhon Pathom 73170

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

Department of Mechanical Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology, Kingmongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

คำนำ

ปัจจุบันกระบวนการผลิตหรือการสร้างผลิตภัณฑ์สินค้าต่างๆ ต้องอาศัยเชื้อเพลิงเป็นส่วนประกอบของกระบวนการและมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นทำให้ราคาได้ปรับตัวสูง และยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหินและแก๊สต่างๆ ซึ่งนับว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อกระบวนการผลิตและรวมไปถึงกิจกรรมด้านต่างๆ ของมนุษย์ ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ทำให้ไม่สามารถควบคุมการปรับตัวของราคาน้ำมันได้ และยังคงสูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้มลพิษทางอากาศเริ่มเป็นปัญหาหลักของเมืองหลวงและเมืองใหญ่ของประเทศ

ยางพารา นับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งแต่ละปีส่งออกไปขายต่างประเทศและนำเงินตราเข้ามายังประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท ซึ่งยางพาราจะใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทางด้านอุตสาหกรรม เช่น การผลิตรถยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เครื่องอุปโภคฯ อย่างไรก็ตามถึงแม้ประเทศไทยจะเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์ที่สำคัญลำดับต้นๆ ของโลกแต่ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์ยางแผ่นดิบแห้งที่ผ่านกระบวนการไล่ความชื้นในแผ่นยางดิบที่มีกระบวนการที่ใช้พลังงานรูปแบบต่างๆ และทำให้มีการใช้พลังงานมากขึ้นทุกขณะโดยเฉพาะพลังงานที่เกิดจากฟอสซิล (Fossil) ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดการขาดแคลนขึ้นได้ในอนาคต

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ [1],[2],[3],[4],[5],[6] การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการลดความชื้นออกจากยางพาราแผ่นดิบ โดยวิธีการตากแดดกลางแจ้งมีการทำมานานแล้ว ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการตากแห้งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณความชื้นในวัสดุที่นำมาตากแห้ง ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ รวมทั้งองค์ประกอบของสภาพดินฟ้าอากาศอากาศทำให้ไม่สามารถควบคุมได้ และการไล่ความชื้นโดยวิธีการตากแห้งนั้นทำได้เฉพาะในช่วงเวลาที่มีแสงแดดเท่านั้น

จากปัญหาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการอบแห้งหรือการตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถทำงานได้ในช่วงที่มีรังสีอาทิตย์ตกกระทบเท่านั้นในช่วงกลางคืนไม่สามารถใช้งานได้

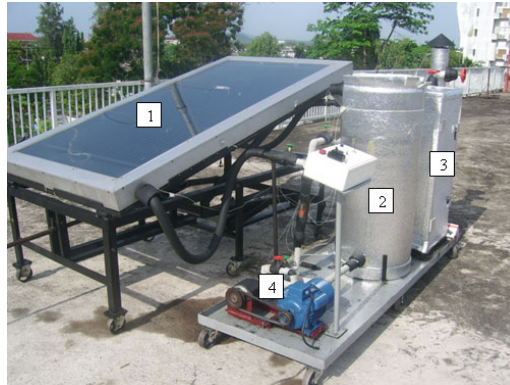
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อนในการอบแห้งยางพารา ซึ่งข้อดีของระบบกักเก็บพลังงานความร้อนคือสามารถทำการอบแห้งในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ได้ [7],[8],[9]

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์ในการวิจัย

ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ ชุดรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ (Flat Plate Solar Collector) มีพื้นที่รับแสง 1.5 m^2 ตู้อบแห้งต้นแบบมีขนาดเท่ากับ กว้าง x ยาว x สูง = $0.40 \times 0.45 \times 0.75 \text{ m}^3$ สามารถบรรจุยางพาราแผ่นดิบได้สูงสุดจำนวน 5 แผ่นหนักแผ่นละ 0.2 kg. ถังกักเก็บพลังงานความร้อนรูปทรงกระบอกทำจากโลหะบรรจุสารทำงานคือน้ำมันไฮดรอลิกส์เบอร์ 60-68 จำนวน 180 ลิตร สารทำงานหมุนเวียนโดยใช้ปั๊มน้ำมันเป็นตัวขับเคลื่อน สามารถควบคุมอัตราการไหลที่ 1 ถึง 10 ลิตรต่ออนาที, ภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อนทำเป็นรูปทรงกระบอกบรรจุก้อนหินขนาดเฉลี่ย 2 ถึง 3 เซนติเมตรโดยอัตราส่วนระหว่างปริมาณของก้อนหินกับปริมาณบรรจุ

ของถึงเป็นสัดส่วน 50:50 อัตราการไหลของอากาศร้อนเมื่อไหลผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อน 500 ลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อน 1) ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ 2) ถังกักเก็บพลังงานความร้อน 3) ตู้อบแห้ง 4) ปั๊มควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน

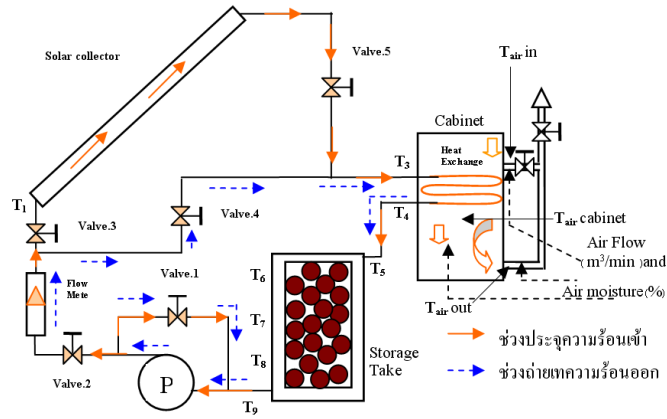
ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ใช้เป็นยางพาราแผ่นดิบที่จัดทำขึ้นเป็นกรณีพิเศษเพื่อใช้ในการทดลอง ที่ผ่านการทำแผ่นรีดน้ำและขึ้นลายดอกสม่่าเสมอทั้งแผ่นมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 20 x 30 cm.หนาตลอดทั้งแผ่นไม่เกิน 3 mm. มีน้ำหนักไม่เกิน 0.20 kg. ค่ามาตรฐานความชื้นยางพาราแผ่นดิบ 30 % db ติดตั้งในตู้อบโดยใช้ตัวหนีบให้ห้อยทั้งแผ่นในแนวตั้ง เรียงเป็นแถวเดียวตามความกว้างของตู้อบจำนวน 5 แผ่น ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างยางพาราที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการวิจัย

1. จัดเตรียมแผ่นยางพาราแผ่นดิบที่จะใช้ในการอบโดยการนำไปทำความสะอาดหรือล้างน้ำแล้วผึ่งลมไว้ให้เสด็จน้ำก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้งจำนวน 5 แผ่นแต่ละแผ่นมีขนาด 20x30 เซนติเมตรน้ำหนักแผ่นละ 200 กรัม
2. นำแผ่นยางพาราที่ใส่อบแห้งไปชั่งน้ำหนักทุกแผ่นแล้วนำเข้าตู้อบโดยจัดวางให้ห้อยตามความกว้างของตู้อบห่างกันอย่างสม่ำเสมอ
3. ทำการเดินเครื่องอบแห้ง
4. ขณะทำการทดลอง ทำการบันทึกค่า อัตราการไหลของน้ำมันในระบบ ที่อัตราการไหล 4 LPM 6 LPM และ 8 LPM ตามลำดับ, อัตราการไหลของอากาศในตู้อบแห้งและอุณหภูมิของระบบจุดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3
5. นำแผ่นยางพารามาทำการชั่งทุกๆ ชั่วโมง
6. ทำการทดลองไปจนกระทั่งค่าความชื้นของแผ่นยางพาราได้ค่าตามที่ต้องการ



รูปที่ 3 ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อน

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้ง

การทำงานของเครื่องอบแห้งจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงเวลากลางวัน และ ช่วงเวลากลางคืน สำหรับช่วงเวลากลางวัน ระบบจะใช้ น้ำมันไฮดรอลิกส์เป็นสารทำงานไหลผ่านตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้น้ำมันมีอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากนั้นน้ำมันจะไหลเข้าสู่ตู้อบแห้งแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในตู้อบแห้ง พลังงานความร้อนส่วนที่เหลือในน้ำมันจะถูกส่งไปยังถังกักเก็บพลังงานความร้อนโดยจะแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนเพิ่มให้กับก้อนกรวดที่อยู่ภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อนก็จะสูงขึ้น ซึ่งสามารถเก็บนำไปใช้ใน ช่วงเวลากลางคืนได้

สำหรับช่วงเวลากลางคืนจะทำการดึงความร้อนจากถังกักเก็บพลังงานความร้อนมาใช้ในการอบแห้งแทนพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยจะใช้ น้ำมันไฮดรอลิกส์ไปแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากถังกักเก็บพลังงานความร้อนมาใช้งาน ซึ่งจะทำให้ระบบสามารถอบแห้ง Error! Bookmark not defined. ได้ในช่วงเวลากลางคืนได้

ทฤษฎีและการคำนวณ

- การคำนวณหาปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้งในยางพาราหาได้จากสมการ

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

- สมการสมดุลพลังงานของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

$$Q_{\text{Collector}} = Q_{\text{oil}} \quad (2)$$

$$\eta \times I_b \times A_a = \dot{m}_{\text{oil}} \times C_{\text{poil}} \times (T_{\text{oil,out}} - T_{\text{oil,in}}) \quad (3)$$

เมื่อ η คือความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อพลังงานแสงที่ตกกระทบ ซึ่งได้จากการทดลอง

- สมการสมดุลพลังงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในตู้อบแห้ง

$$Q_{\text{oil}} = Q_{\text{air}} = UAF\Delta T_m \quad (4)$$

$$Q_{\text{oil}} = \dot{m}_{\text{oil}} \times C_{\text{poil}} \times (T_{\text{oil,in}} - T_{\text{oil,out}}) \quad (5)$$

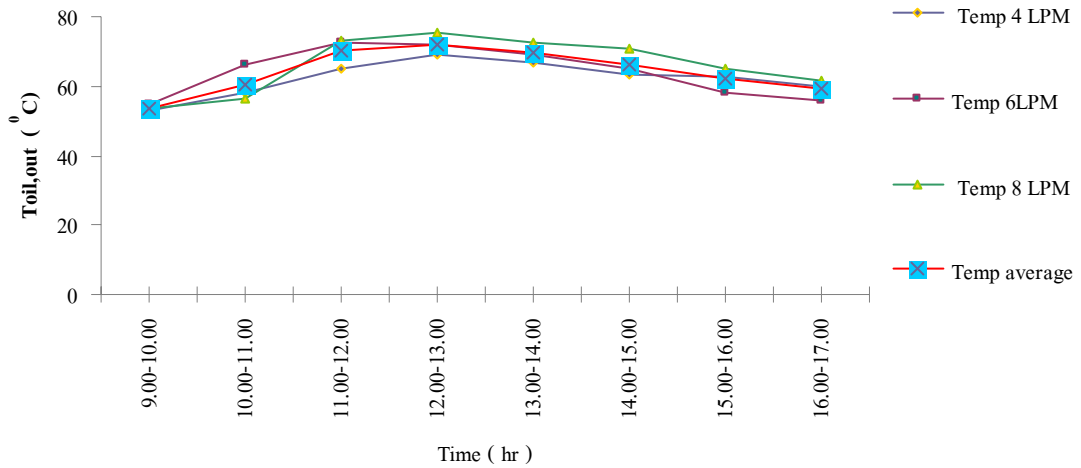
$$Q_{\text{air}} = \dot{m}_a \times \left\{ \left[(C_{\text{pa}} \times T_{\text{a,out}}) + W(h_{\text{fg}} + C_{\text{pv}} \times T_{\text{a,out}}) \right] - \left[(C_{\text{pa}} \times T_{\text{a,in}}) + W(h_{\text{fg}} + C_{\text{pv}} \times T_{\text{a,in}}) \right] \right\} \quad (6)$$

$$\Delta T_m = \frac{(T_{oil,out} - T_{a,in}) - (T_{oil,in} - T_{a,out})}{\ln \left[\frac{(T_{oil,out} - T_{a,in})}{(T_{oil,in} - T_{a,out})} \right]} \quad (7)$$

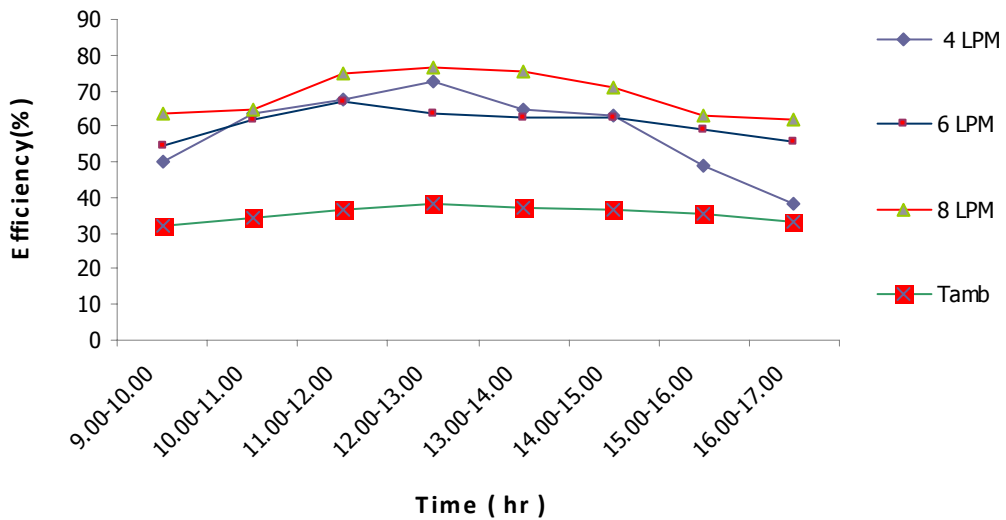
เมื่อ

A_a	คือ พื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ, m^2
C_{pa}	คือ ค่าความจุความร้อนของอากาศ, $kJ/kg.K$
C_{poil}	คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำมัน, $kJ/kg.K$
C_{pv}	คือ ค่าความจุความร้อนของไอน้ำ, $kJ/kg.K$
d	คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg
h_{fg}	คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ, $kJ/kg-H_2O$
I_b	คือ รังสีอาทิตย์ตรงที่ตกกระทบผิวรับรังสี, W/m^2
M_d	คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง
\dot{m}_a	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s
\dot{m}_{oil}	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมัน, kg/s
Q_{air}	คือ พลังงานความร้อนที่อากาศได้รับจากการแลกเปลี่ยนความร้อน, kW
$Q_{collector}$	คือ พลังงานความร้อนที่ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถผลิตได้, kW
Q_{oil}	คือ พลังงานความร้อนที่น้ำมันได้รับจากการแลกเปลี่ยนความร้อน, kW
$T_{a,in}$	คือ อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, K
$T_{a,out}$	คือ อุณหภูมิของอากาศที่ทางออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, K
$T_{oil,in}$	คือ อุณหภูมิของน้ำมันที่ทางเข้าของระบบ, K
$T_{oil,out}$	คือ อุณหภูมิของน้ำมันที่ทางออกของระบบ, K
UAF	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่พื้นผิวหนึ่งๆของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Cross-Flow, kW/K
w	คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศ, $kg-H_2O/kg-dry\ air$
w	คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุขึ้น, kg
ΔT_m	คือ ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยลอการิทึม, K
η	คือ ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

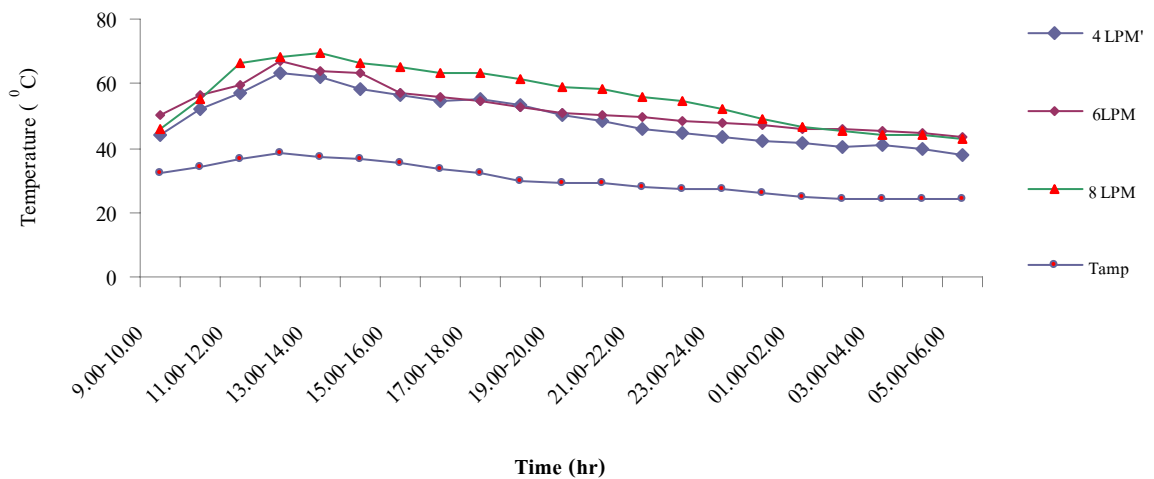
ผลการทดลองและวิจารณ์



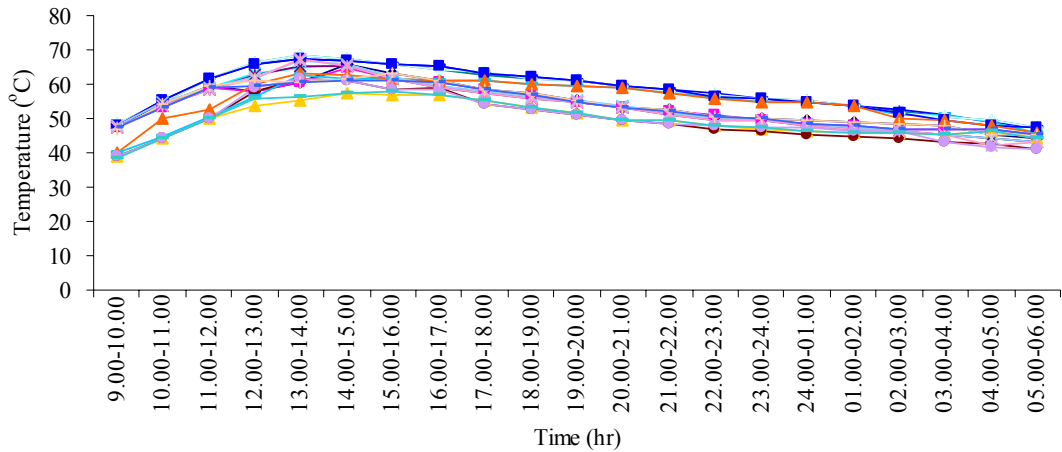
รูปที่ 4 คุณหมุมิของสารทำงาน (น้ำมันไฮดรอลิค) ที่ออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



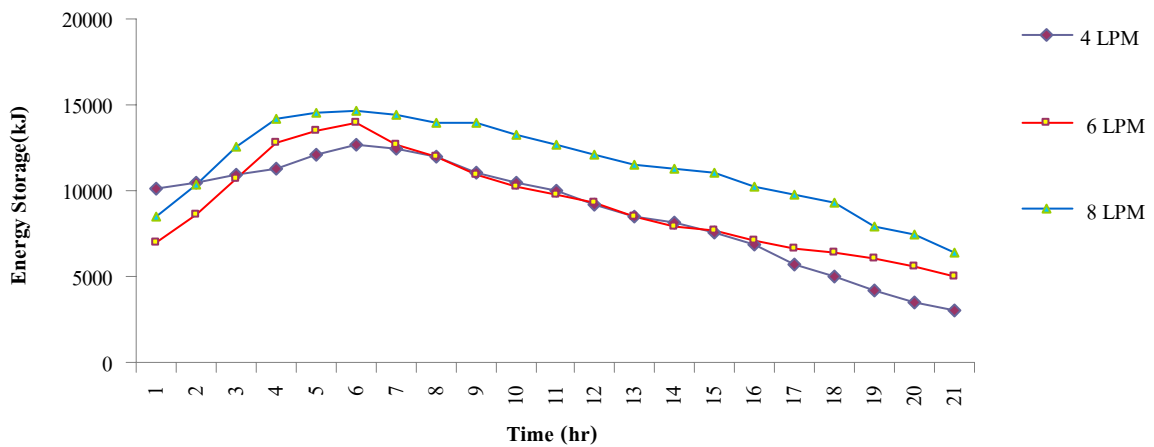
รูปที่ 5 ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่อัตราการไหลของน้ำมันต่างๆกัน



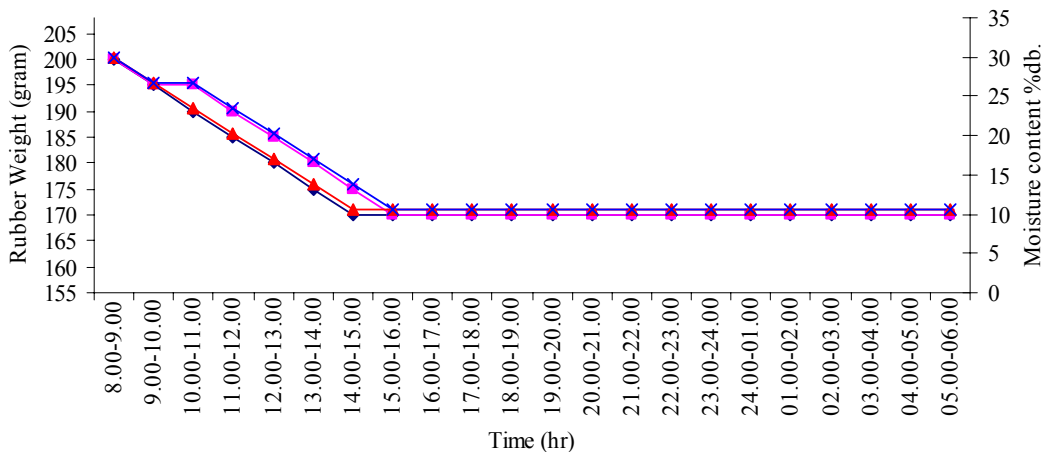
รูปที่ 6 คุณหมุมิเฉลี่ยของอากาศภายในตู้อบแห้งที่อัตราการไหลของน้ำมันต่างๆกัน



รูปที่ 7 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อน



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่สะสมภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อน



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและความชื้นมาตรฐานแห้งในแผ่นยางพารา

จากรูปที่ 4 ผลการศึกษาอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่ออกจากตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบในช่วงเวลา 9.00 น.-17.00 น. จากกราฟ(รูปที่ 4)จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำมันที่ออกจากตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบมีค่าอยู่ระหว่าง 50 °C- 80 °C ซึ่งเพียงพอสำหรับใช้ในการอบแห้งยางพาราโดยในช่วงเช้าจะมีอุณหภูมิต่ำและจะมีค่า

สูงในช่วงเที่ยงวันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่ารังสีที่ตกกระทบแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีค่าสูงในช่วงเวลาเที่ยงวัน และจากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ให้มีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนที่แผงรับรังสีอาทิตย์จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

จากรูปที่ 6 ผลการศึกษาอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งยางพาราพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งมีค่าระหว่าง $40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ โดยในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิภายในตู้อบมีค่าสูงและจะลดลงในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากไม่มีแหล่งพลังงานภายนอกป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งเมื่อพิจารณาอุณหภูมิภายในถังกักเก็บความร้อนในรูปที่ 7 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังกักเก็บความร้อนมีค่าระหว่าง $40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในตู้อบ เนื่องจากตู้อบจะทำการดึงความร้อนจากถังกักเก็บพลังงานความร้อนไปใช้งาน และเมื่อพิจารณารูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่สะสมภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อน จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลากลางวัน ถังกักเก็บพลังงานความร้อนจะรับพลังงานความร้อนมาสะสมเก็บไว้และในช่วงเวลากลางคืนมีการดึงนำไปใช้งาน จากการทดลองพบว่าที่อัตราการไหล 8 LPM จะมีอัตราการสะสมพลังงานสูงสุด

ผลการทดลองอบแห้งยางพาราโดยใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อน ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 9-10 ผลที่ได้จากการทดลองความชื้นของยางพารามีค่าสุดท้ายเท่ากับ 10.5 % db.



รูปที่ 10 แผ่นยางพาราหลังจากอบแห้ง (Moisture content, 10.5 % db)

สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาระบบอบแห้งยางพาราโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อน พบว่าอุณหภูมิของน้ำมันที่ออกจากตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบมีค่าอยู่ระหว่าง $50^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเพียงพอสำหรับใช้ในการอบแห้งยางพารา อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งมีค่าระหว่าง $40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$, อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังกักเก็บความร้อนมีค่าระหว่าง $40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ และค่าความชื้นสุดท้ายของยางพาราที่อบแห้งด้วยระบบนี้มีค่า 10.5 % db. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในการซื้อขาย ระบบการอบแห้งประเภทนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิการอบแห้งอยู่ในช่วง $40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ และข้อดีของระบบนี้คือสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่ต้องอาศัยเชื้อเพลิงภายนอก และ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ให้มีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Turhan Koyuncu, 2005, "An Investigation on the performance Improvement of greenhouse-type agricultural dryers," J. Renewable Energy, pp. 1-17.

2. Lyes Bennamoun and Azeddind Belhamri, 2003, "Design and simulation of a solar dryer for agriculture products," Journal of Food Engineering, 59, pp. 259-266.
3. M.A. Karim and M.N.A. Hawlader, 2004, "Development of solar air collectors for drying applications," J. Energy Conversion and Management, 45, pp. 329-344.
4. Saber Chemkhi, Fethi Zagrouba and Ahmed Bellagi, 2004, "Drying of agricultural crops by solar energy," J. Desalination, 168, pp.101-109.
5. P. Schirmer, S. Janjai, A. Esper, R. Smittabhindu and W. Muhlbauer, 1996, "Experimental investigation of the performance of the solar tunnel dryer for drying bananas," J. Renewable Energy, Vol. 7, No.2, pp. 119-129.
6. Jaishree Prasad, V.K. Vijay, 2005, "Experimental studies on drying of *Zingiber officinale*, *Curcuma longa* L. and *Tinospora cordifolia* in solar-biomass hybrid drier," J. Renewable Energy, Vol. 30, pp. 2097-2109.
7. Mohammed M. Farid, Amar M. Khudhair, Siddique Ali K. Razack and Said Al-Hallaj, 2004, "A review on phase change energy storage: materials and applications," J. Energy Conversion and Management, 45, pp. 1597-1615.
8. Dymond, D.M. and Garzoil K.V., 1993, "Performance Characteristics of PCM Heat Storage Bank for Greenhouse," Anzsas'93 Forth Australia, pp. 221-225.
9. Fouda, A.E., Despault, G.J.G., Taylor, J.B. and Copes, C.E., 1980, "Solar storage systems using salt hydrate latent heat and direct contact heat exchange I," Solar Energy, Vol. 25, pp. 437-444.