วัสดุเปลี่ยนเฟสเพื่อช่วยรักษาความร้อนในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์

Phase Change Materials for Retaining Heat Energy in Solar Dryer

กันยรัตน์ โหละสุต* ประสงค์ วงศ์วิชา ถาวร ศรีชมภู ทิพวรรณ์ ม่วงสำเภา อาทิตย์ ไชยอำนาจ
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002
โทร 0-894165167 โทรสาร 0-43362240 *อีเมล์ kanyarat@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความจุ 2.5 ลูกบาศก์เมตร ให้สามารถเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บความร้อนเพื่อใช้ในการอบในเวลาที่ไม่มีแสงแดด โดยการเลือกใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสที่เหมาะสม จำนวน 40 กิโลกรัมบรรจุไว้ภายในของม่านรับแสง เพื่อช่วยในการเก็บรักษาความร้อนในเครื่องอบสมุนไพรพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นควบคู่กับการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการศึกษาถึงคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเปลี่ยนเฟสที่ทำจากพาราฟินกับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก มีจุดหลอมเหลว 40±2 องศาเซลเซียส ทำให้เครื่องอบสามารถรักษาอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ได้จนถึง 20.00 น. พบว่าการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบโดยลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้ร้อยละ 8.02

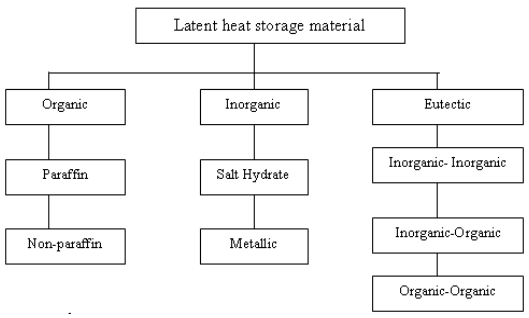
Abstract

The paper study aimed at developing a 2.5 m^3 solar dryer in order to increase the period of heat retained when solar energy is inadequate by incorporating a suitability phase change material (PCM). 40 kg of phase change material (PCM) was placed under the solar collector panel to supplement the electricity when necessary. The result of investigation was found that the mixture of 2:1 by weight paraffin wax and kerosene could be achieved a melting temperature of 40±2 $^{\circ}C$ of PCM as required. PCM could help to maintain the temperature inside the solar dryer to be above 40$^{\circ}C$ up to 8.00 pm. It was found that the PCM could improve the efficiency of the dryer by reducing the electricity energy used by 8.02%.

1. คำนำ

ในปัจจุบันมีความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่แหล่งพลังงานหลักมาจากฟอสซิลที่ยังใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยใช้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงในการขนส่งและการผลิตไฟฟ้า แต่การใช้ฟอสซิลมีผลต่อมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ในขณะเดียวกันปริมาณการใช้ได้มีการเพิ่มขึ้น ในขณะที่แหล่งเชื้อเพลิงมีจำนวนจำกัด เป็นผลให้เกิดปัญหาด้านพลังงาน เช่น ราคาน้ำมัน ค่าไฟฟ้าแพงขึ้น ตลอดจนสาธารณูปโภคต่าง ๆ ก็แพงขึ้นเป็นลำดับ ส่งผลให้ผู้คนสนใจในการที่จะแสวงหาพลังงานหรือพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ ที่ได้เปล่าจากธรรมชาติ พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่นำมาเป็นพลังงานหลักในเครื่องอบสมุนไพรพลังงานแสงอาทิตย์ [1] หรือเครื่องอบที่ใช้สำหรับผลผลิตทางการเกษตร [2] แต่เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องแสงแดดมีเฉพาะในตอนกลางวัน ทำให้ต้องใช้พลังงานอื่นมาช่วยเสริมในการที่จะทำให้มีความร้อนในช่วงตอนเย็น โดยได้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาช่วยในการควบคุมให้มีความร้อนในเครื่องอบสูงกว่า 40 องศาในเวลากลางคืน ซึ่งในกรณีนี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ให้ดีขึ้นโดยใช้วัสดุกักเก็บความร้อน (PCM; Phase Change Material) ซึ่งทำหน้าที่กักเก็บความร้อนในเวลากลางวันและคายความร้อนออกมาใช้ในการอบในเวลากลางคืนหรือเมื่อไม่มีแดด

ปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเรื่อง PCM จำนวนมากเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆด้าน แต่ปัจจัยหลักที่ควรมีการศึกษาคือ ชนิดของ PCM และช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวของ PCM เพื่อจะได้นำมาใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการใช้ PCM สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ สารอินทรีย์ (organic) สารอนินทรีย์ (inorganic) และสารยูเทกติก (eutectic) หรือสารหลายองค์ประกอบชนิดอื่น ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ประเภทของ PCM [5]

PCM นั้นมีหลากหลายประเภท เช่น ฟาราฟิน นอนพาราฟิน และสารยูเทคิก เป็นต้น [3,4] ฉะนั้นการเลือกใช้ PCM จึงจำเป็นต้องมี

คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่เหมาะสมกับงานที่ใช้ เช่น คุณสมบัติในการกักเก็บปริมาณความร้อนที่เหมาะสม มีช่วงของการหลอมเหลวที่เหมาะสมกับงานที่จะนำไปใช้ ไม่เป็นพิษ ใช้งานง่ายในสภาพความดันบรรยากาศ มีความเสถียรและทนทานต่อการเสื่อมสภาพ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและระบบที่ใช้งาน และสามารถเปลี่ยนสถานะได้โดยไม่มีการเสื่อมสภาพเมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานาน [6,7] เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือก PCM ที่เป็นพาราฟิน เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่ายและราคาไม่แพงในการนำมาใช้กับงาน

สำหรับพาราฟินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสูตรโมเลกุล C_nH_{2n+2} เช่น n-Triacontane n - Octadecane และ Paraffin wax เป็นต้นโดยพาราฟินที่มี C_5-C_{15} จะมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ถ้าจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลมากกว่า 15 จะมีเฟสเป็นของแข็ง (wax) พาราฟินเป็น PCM ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน พาราฟินมีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 23-67 องศาเซลเซียส เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม [5] อย่างไรก็ตาม PCM ที่ดีและนิยมนำมาใช้งานนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อยเมื่อมีการเปลี่ยนเฟส และไม่เป็นพิษ โดยเฉพาะการนำมาใช้กับการอบแห้งเม็ดยาสมุนไพรในโรงงานผลิตยาสมุนไพรแผนโบราณ

ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบภาชนะบรรจุ จากตัวแปรของอุณหภูมิ ณ เวลาหนึ่ง ๆ สามารถนำมาคำนวณหาค่าอัตราการให้พลังงานของ PCM โดยเปรียบเทียบเป็นค่าพลังงาน [7] ดังสมการ (1) ดังนี้

$$Q = mC_p\Delta T \qquad (1)$$

เมื่อ Q คือค่าความร้อนที่ได้ (จูล), m คือ มวล (กิโลกรัม), C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (จูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส) และ ΔT คืออุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส) ซึ่ง PCM ที่ใช้ 1 กิโลกรัมจะมีความร้อนแฝง (Latent Heat of fusion) 196 กิโลจูลต่อกิโลกรัม [8]

2. การนำ PCM ที่เหมาะสม มาใช้ในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 ลักษณะเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์รูปที่ 2 ประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนเครื่องอบ และส่วนม่านรับแสง (รูปที่ 3) ดังจะแสดงรายละเอียดดังนี้

ส่วนแรก คือส่วนเครื่องอบ ความกว้าง 1 เมตร ยาว 1.4 เมตร สูง 2.5 เมตร บริเวณผนังของตัวเครื่องอบทำจากสังกะสีโดยใช้โพลี่ยูริเทนโฟมเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ด้านบนปิดด้วยกระจกใสสองชั้น [3]

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเครื่องอบ ชั้นวาง และอุปกรณ์ที่ติดตั้งในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ [3]

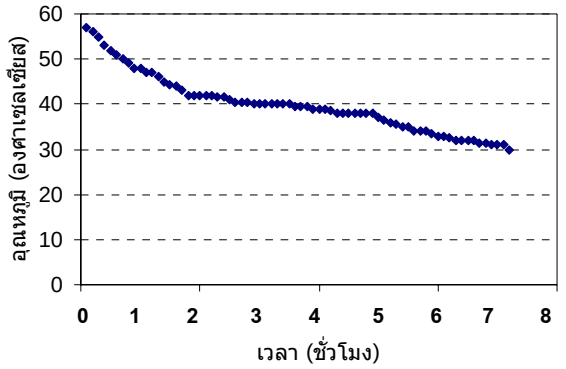
รูปที่ 3 แสดงการบรรจุ PCM ในม่านรับแสง [3]

ภายในเครื่องอบถูกออกแบบเพื่อให้สามารถอบผลผลิตได้หลากหลาย โดยมีชั้นวางทั้งหมด 6 ชั้น ภายในมีแผงควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่อง โดยมีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพื่อเป่าเอาลมร้อนและความชื้นออกจากตู้อบในกรณีที่อุณหภูมิภายในตู้อบสูงเกินที่กำหนดไว้ และติดตั้งเครื่องทำความร้อน (Heater) เพื่อให้ความร้อนเมื่ออุณหภูมิในตู้อบต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้

ส่วนที่สอง คือม่านรับแสงทำจากสังกะสีลอนทาสีดำเอียงทำมุม 14 องศากับแนวระดับ ด้านบนปิดด้วยแผ่นกระจกใสสองชั้นเพื่อช่วยในการกักเก็บความร้อน ด้านบนจะวางท่อสังกะสีทาสีดำบรรจุ PCM ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาว 2 เมตร จำนวน 11 ท่อไว้บนร่องของแผ่นสังกะสี ด้านล่างของแผ่นสังกะสีจะมีช่องสำหรับวางกระป๋องน้ำอัดลมที่บรรจุ PCM จำนวน 90 กระป๋อง ดังรูปที่ 3 โดยน้ำหนักรวมของ PCM ทั้งหมดเท่ากับ 40 กิโลกรัม โดยใช้สมการที่ (1) ในการคำนวณจะสามารถเก็บพลังงานความร้อนแฝงได้ทั้งหมด 7,840 กิโลจูล

2.2 ส่วนผสมของ PCM ที่นำมาใช้

จากผลการทดลองการหาวัสดุที่เหมาะสมและหาง่ายในการทำหน้าที่เป็น PCM ในห้องปฏิบัติการ พบว่าในการทดลองของผสมระหว่างพาราฟินกับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก หลังจากให้ความร้อนจน PCM ละลายหมด จากนั้นวัดอุณหภูมิของ PCM ที่เย็นตัวลง จะได้ผลดังรูปที่ 4 พบว่า ในช่วงสองชั่วโมงแรกอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเกือบคงที่ที่ ที่ 40$\pm$2 องศาเซลเซียส ถึงชั่วโมงที่ 5 หลังจากนั้นอุณหภูมิก็จะลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง ดังนั้นจึงเลือกใช้ PCM ที่อัตราส่วนนี้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บความร้อนในวันที่มีแสงแดดมากน้อยแตกต่างกัน



รูปที่ 4 การลดอุณหภูมิของของผสมระหว่างพาราฟินกับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก

ภาชนะบรรจุ PCM ในการทดลองมี 2 แบบ ดังรูปที่ 5 ซึ่ง ได้แก่ แบบท่อสังกะสีเส้นผ่าศูนย์กลาง2.5 เซนติเมตร และ แบบกระป๋อง (ใช้กระป๋องเครื่องดื่มน้ำอัดลมทั่วไป) สำหรับ PCM แบบกระป๋องจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้างกว่าแบบท่อเป็นผลให้เกิดปัญหาเรื่องการถ่ายเทความร้อนออกมาได้ไม่สมบูรณ์ จึงเติมฝอยลวดลงไปผสมใน PCM ให้ได้ 28±1 กรัมต่อลิตร เพื่อเพิ่มการกระจายความร้อน หลังจากเสร็จสิ้นการบรรจุ PCM ทั้งแบบกระป๋อง และแบบท่อแล้ว PCM ทั้งสองแบบจะถูกบรรจุอยู่ในม่านรับแสงของเครื่องอบดังแสดงไว้แล้วในรูปที่ 3

แบบท่อ แบบกระป๋อง

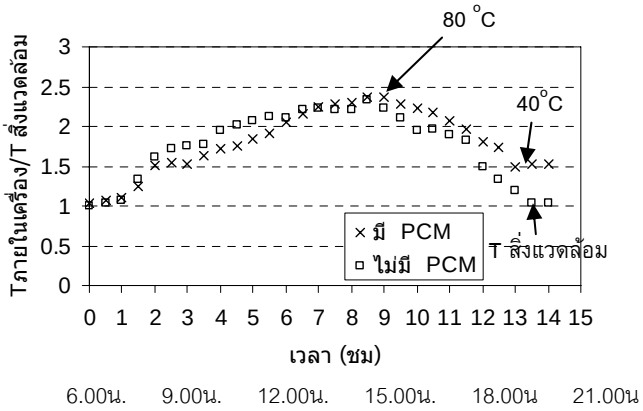
รูปที่ 5 แสดงลักษณะภาชนะบรรจุ PCM ทั้งสองแบบ

3. การทดลองเปรียบเทียบ

การทดลองแบ่งเป็นสองสภาวะ ได้แก่ การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอบโดยไม่ใช้ PCM ช่วยในการกักเก็บความร้อนและการทดลองที่ใช้ PCM ช่วยในการกักเก็บความร้อน โดย นำเครื่องอบที่ประกอบติดกันทั้งสองส่วนแล้วในรูปที่ 2 ไปตากแดดโดยหันด้านที่มีม่านรับแสงไปทางทิศใต้ แล้วเก็บข้อมูลของอุณหภูมิภายในเครื่องอบ และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยเริ่มวัดที่เวลา 6.00 ถึง 20.00 นาฬิกา หลังจากได้ผลการทดลองแล้วทำการปรับมาตรฐานข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ กัน และคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องอบทั้งที่มีและที่ไม่มี PCM และคำนวณหาค่าการให้ความร้อนของ PCM ที่ใช้ในการทดลอง

4. ผลการทดลอง

เนื่องจากการทดลองได้ใช้เครื่องอบตัวเดียวในการทดลองเปรียบเทียบ โดยที่ทราบดีว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในแต่ละวันจะแตกต่างกัน ดังนั้นการทดลองจะเลือกเก็บข้อมูลเฉพาะวันที่มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน และจากสมมติฐานความเป็นจริงที่ว่าเมื่ออุณหภูมิของแสงแดดสูงขึ้นจะมีผลโดยตรงให้อุณหภูมิของเครื่องอบมีอุณหภูมิสูงขึ้นตาม ดังนั้นข้อมูลที่ก่อนนำมาเปรียบเทียบจึงจำเป็นต้องปรับมาตรฐานโดยเทียบกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่ต่างกันก่อนที่จะนำมาเทียบกันในแต่ละสภาวะ จากรูปที่ 6 พบว่าเมื่อมีความร้อนจากแสงแดด อุณหภูมิภายในเครื่องอบเริ่มสูงขึ้นจนถึงเที่ยงวันอุณหภูมิจะสูงที่สุด จากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 20.00 น. พบว่าเครื่องอบที่บรรจุ PCM จะคายพลังงานออกมา ผลทำให้มีอุณหภูมิภายในเครื่องอบที่สูงกว่า เครื่องอบที่ไม่ได้บรรจุ PCM เนื่องมาจาก PCM มีผลทำให้อุณหภูมิภายในของเครื่องอบคงที่ที่ 40 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิของเครื่องอบที่ไม่ได้บรรจุ PCM นั้นลดลงตามอุณหภูมิภายนอก



รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบเครื่องอบที่มี PCM และที่ไม่มี PCM

เนื่องจากที่สภาวะคงตัวความร้อนที่ได้รับจาก PCM ที่คายออกมาให้แปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิเครื่องอบที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจะสามารถหาค่าพลังงานความร้อนที่ได้รับของเครื่องอบที่มี PCM ซึ่งทำหน้าที่รักษาความร้อน โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ (1) ในการหาค่าพลังงานความร้อนสะสม เมื่อสมมติว่า อัตราการไหลโดยมวลและความจุความร้อนจำเพาะของอากาศคงที่ ดังนั้นพลังงานที่ได้แปรผันตรงกับพื้นที่ใต้กราฟ ดังรูปที่ 6 เมื่อเทียบเป็นร้อยละพบว่าในช่วง 6.00-20.00 น. เครื่องอบที่มี PCM มีพลังงานความร้อนที่ได้ เพิ่มขึ้นมาจากเครื่องอบที่ไม่มี PCM 8.02 %

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองพบว่า วัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) จะทำหน้าที่เก็บความร้อนในช่วงเช้าถึงบ่าย 2 โมง หลังจากนั้นเมื่อ 5 โมงเย็นขึ้นไปจะ

มีพลังงานที่ PCM คายความร้อนออกมาให้กับเครื่องอบ เพื่อรักษาอุณหภูมิภายใน ทำให้อุณหภูมิไม่ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลดีต่อการใช้ไฟฟ้า (Heater) ที่ระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอบ เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องอบในช่วง 06.00-20.00 น. พบว่าเครื่องอบที่มี PCM สามารถประหยัดพลังงานการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 8.02 อย่างไรก็ดี การพัฒนา PCM ยังคงต้องมีการวิจัยต่อไปโดยจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติของ PCM ที่เหมาะสม รูปร่างของ PCM การวางตำแหน่งให้สัมพันธ์กับการดูดซับความร้อน การจัดเรียงและการไหลเวียนของอากาศทั้งในม่านรับแสงและตัวเครื่องอบ อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วยเช่น การเพิ่มม่านรับแสงเป็นกระจกสองชั้นมีผลทำให้เครื่องอบมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกว่า 2 เท่า การทำให้เครื่องอบมีระบบการไหลเวียนความร้อนที่สมบูรณ์ การเพิ่มฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนในเครื่องอบจะเป็นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นที่ต้องพิจารณาประกอบกันไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้สนับสนุนเงินทุนจาก IRPUS สกว. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ร้านพัฒนาสังฆภัณฑ์ที่อนุเคราะห์พาราฟิน และ โรงงานพระธรรมขันธ์ โอสถ จ. ขอนแก่น สำหรับการทดลองอบเม็ดยาสมุนไพร

7. เอกสารอ้างอิง

[1] นายจอมเทียน คีมทอง, นายชญาศักดิ์ รุ่งเจริญสิน และ กันยรัตน์ คมวัชระ. 2546. การพัฒนาเครื่องอบสมุนไพร: กรณีโรงงานพระธรรมขัณฑ์, ผลงานวิจัยโครงการทุน IRPUS หมายเลข FE0105/46 ปี 2546 ด้านอุตสาหกรรม การเกษตร และการปรับปรุงการผลิต.

[2] วิรศักดิ์ โสน้ำเที่ยง, อภิสิทธิ์ เจริญไวย์ และ อรรถพร พิสุทธิ์. 2548. เครื่องอบผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. ผลงานวิจัยโครงการทุน IRPUS หมายเลข I4813012/48 ด้านพลังงาน.

[3] ถาวร ศรีชมภู ทิพวรรณ์ ม่วงสำเภา อาทิตย์ ไชยอำนาจ. 2550. การเพิ่มเวลาเก็บกักความร้อนในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์โดยการเปลี่ยนเฟสของวัสดุที่เหมาะสม. ผลงานวิจัยโครงการทุน IRPUS หมายเลข I250C13007 ด้าน พลังงาน.

[4] Eman-Bellah, S. Mettaweea, G. and Assasa, M. R. 2006. Experimental study of a compact PCM solar collector. Journal of Energy. Vol. 31, pp 2958-2968.

[5] Sharma, S.D. and Kazunobu, S. 2005. Latent heat storage material and systems: A review, International Journal of Green Energy, Vol. 2, pp 1-56.

[6] Janjai, S. and Tang, P. 2005. Performance of solar dryer using hot air on roof –integrated solar collector for drying herbs and spice. Renewable energy. pp 1-11.

[7] Mumba, J. 1996. Design and development of solar grain dryer incorporating photovoltaic power. Energy Power Mgmt, Vol. 37. No.5. pp 15-621.

[8] Devahastin, S. and Pitaksuriyarat, S. 2006. Use of latent heat storage to conserve energy during drying and its effect on drying kinetics of a food product. Applied thermal Engineering. Vol.26. pp1705-1703.