

การเปรียบเทียบคุณสมบัติการกักเก็บความร้อนของวัสดุระหว่างของผสมกรดสเตียริก/พาราฟิน และกรดสเตียริก/กรดอะซิติก

Comparative Study of Phase Change Material of Mixed Stearic Acid/Paraffin and Stearic Acid/Acetic Acid

วิรัชรอง แสงอรุณเลิศ* ยศวดี หนูทอง สุวนันท์ กริสดี และ จิราภรณ์ ยศธแสน

Wirungrong Sangarunlert* Yotsawadee Noothong Suwanan Kridsadee and Jiraporn Yottasae

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University

*Email: wirungrongs@gmail.com

Received: Jan 30, 2018

Revised: May 22, 2018

Accepted: Oct 10, 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติการกักเก็บความร้อนของวัสดุเปลี่ยนสถานะระหว่างของผสมกรดสเตียริก/พาราฟินและกรดสเตียริก/กรดอะซิติก ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาในการกักเก็บความร้อนของกรดสเตียริกผสมกับพาราฟิน และกรด สเตียริกผสมกับกรดอะซิติก ที่อัตราส่วนโดยมวลต่างๆ จากนั้นทดสอบสมบัติทางความร้อนของวัสดุเปลี่ยนสถานะ วิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุเปลี่ยนสถานะ และทดสอบความเสถียรภาพของวัสดุเปลี่ยนสถานะ ผลการทดลองพบว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมจากกรดสเตียริกผสมกับพาราฟิน ที่อัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 3:1 มีการคายความร้อนช้าหรือสามารถรักษาอุณหภูมิได้นาน เป็นเวลา 300 นาที โดยมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 120 นาทีแรกจนกระทั่งคงที่ที่ 47 °C มีอุณหภูมิการหลอมเหลวเท่ากับ 53.02 °C อุณหภูมิการกลายเป็นของแข็งเท่ากับ 48.07 °C ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวเท่ากับ 189.29 J/g และความร้อนแฝงของการกลายเป็นของแข็งเท่ากับ 187.59 J/g ไม่มีการเกิดพันธะใหม่ในโครงสร้างของกรดสเตียริกผสมกับพาราฟิน ที่อัตราส่วนโดยมวล 3:1 นอกจากนี้วัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมขึ้นยังมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีอีกด้วย จากผลการทดลองข้างต้น วัสดุเปลี่ยนสถานะระหว่างกรดสเตียริกผสมกับพาราฟินที่อัตราส่วนโดยมวล 3:1 จึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้รักษาความร้อนในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์และประยุกต์ใช้สำหรับระบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน

คำสำคัญ: วัสดุเปลี่ยนสถานะ กรดสเตียริก กรดอะซิติก พาราฟิน

Abstract

The objective studied the properties of thermal energy storage of phase change materials (PCM) between mixed stearic acid:paraffin and stearic acid:acetic acid. The factor studied the thermal energy storage time at different mass ratio. Thermal and physical characteristics were determined by DSC, FTIR and TGA. The results showed that the mixed stearic acid:paraffin at mass ratio of 3:1 gave slowly heat exothermic and maintained temperature for a period of 300 minutes. The temperature rapidly dropped in firstly 120 minutes and stopped at 47 °C. Melting and solidification temperatures were 53.02 and 48.07 °C whereas latent heat of melting and solidification were about 189.29 and 187.59 J/g, respectively. Mixed stearic acid:paraffin at mass ratio of 3:1 PCM has no new bonding in the structure. Besides, mixed stearic acid:paraffin at mass ratio of 3:1 PCM has good thermal stability. Based on all results, mixed stearic acid:paraffin at mass ratio of 3:1 PCM has great potential in the application of solar heating and building energy conservation systems.

Keywords: phase change material, stearic acid, acetic acid, paraffin

1. บทนำ

พลังงานความร้อนมีศักยภาพในการผลิตพลังงานมากกว่าการบริโภคพลังงานของโลกในปัจจุบันหลายเท่าหากใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม และได้นำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่นได้ง่าย สามารถควบคุมและใช้งานได้อย่างสะดวก จึงมีการนำวัสดุที่กักเก็บความร้อน (phase change material; PCM) มาใช้เพื่อการกักเก็บปริมาณความร้อนที่เหมาะสมกับงานที่จะนำไปใช้ PCM คือวัสดุที่สามารถดูดพลังงานความร้อนได้ในปริมาณมากขณะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว และสามารถปล่อยพลังงาน

ความร้อนที่สะสมออกมาได้ขณะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลับเป็นสถานะเริ่มต้น PCM จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ PCM เปลี่ยนสถานะ ตัวอย่างเช่น การนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ [1] โดย PCM จะทำหน้าที่กักเก็บความร้อนในเวลากลางวันและคายความร้อนออกมาใช้ในเวลากลางคืนหรือเมื่อไม่มีแสง และการนำไปประยุกต์ใช้ในการกักเก็บความร้อนภายในอาคาร [2] และการนำไปประยุกต์ใช้ในการกักเก็บ

ความร้อนในแผ่นบานเกล็ดหน้าต่าง [3] ซึ่ง PCM จะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับความร้อนที่ดี ทำให้ป้องกันความร้อนไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคารได้ ซึ่งประเทศที่มีอากาศร้อนอย่างประเทศไทย ถือว่าเป็นเรื่องที่ดี เพราะจะทำให้สามารถเลื่อนการใช้พลังงานจากช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงสุดมาเป็นช่วงเวลาที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดได้ จึงทำให้ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้สำหรับการผลิตพลังงานลดลงได้ และนอกจากนี้ยังมีการนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น การทำแก้วสำหรับดื่มกาแฟหรือเครื่องดื่มร้อน โดย PCM จะช่วยลดอุณหภูมิเครื่องดื่มให้เข้าสู่ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการดื่มเครื่องดื่มอย่างรวดเร็ว โดยดูพลังงานและเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ทั้งนี้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดื่มเครื่องดื่มร้อนจะเป็นช่วงอุณหภูมิที่ PCM หลอมเหลว และอุณหภูมิของเครื่องดื่มจะสามารถอยู่ในช่วงที่ต้องการไปได้นานขึ้น โดย PCM จะคายความร้อนกลับคืนสู่เครื่องดื่ม และเปลี่ยนสถานะกลับไปเป็นของแข็ง [1]

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมจากกรดสเตียริกผสมกับพาราฟิน เปรียบเทียบกับกรดสเตียริกผสมกับกรดอะซิติก เนื่องจากกรดสเตียริกอยู่ในกลุ่มกรดไขมันที่มีราคาไม่แพงมาก มีความร้อนแฝงสูงและมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี [4], [5] พาราฟินมีความร้อนแฝงสูง ไม่เกิดการเย็นตัวลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (supercooling) และยังมีเสถียรภาพทางความร้อนและทางเคมีที่ดี [6] และกรดอะซิติกมีความร้อนแฝงสูงและมีราคาไม่แพงมาก [7] โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ การเปรียบเทียบระยะเวลาในการกักเก็บความร้อนโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะระหว่างกรดสเตียริกผสมกับพาราฟิน และกรดสเตียริกผสมกับกรดอะซิติกที่อัตราส่วนโดยมวลต่างๆ และสมบัติทางความร้อนและทางกายภาพของวัสดุที่กักเก็บความร้อนที่มีระยะเวลาในการกักเก็บความร้อนที่ดีที่สุด

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัสดุเปลี่ยนสถานะ

เตรียมกรดสเตียริก (SA) ผสมกับกรดอะซิติก (AA) และกรด สเตียริก ผสมกับพาราฟิน (PA) ที่อัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ 5:1 ตามลำดับ โดยชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด ทศนิยม 3 ตำแหน่ง โดยนำกรดสเตียริกไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิจนกรดสเตียริกหลอมละลายกลายเป็นของเหลว แล้วเติมกรดอะซิติก (หรือพาราฟิน) คนสารให้เข้ากัน แล้วนำวัสดุ PCM ที่เตรียมได้เทลงในขวดแก้ว และรอให้แข็งตัว

2.2 การทดสอบระยะเวลาในการกักเก็บความร้อนของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมขึ้น

นำ PCM ที่เตรียมไว้มาวางใส่ในกล่องโฟมขนาด $20 \times 33 \times 20$ cm³ ปิดด้านบนกล่องด้วยแผ่นกระจก (Figure 1) จากนั้นให้ความร้อนด้วยหลอดไฟขนาด 200 วัตต์ จำนวน 2 หลอด เป็นเวลา 240 นาที แล้วปิดหลอดไฟ โดยวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล type J (APPA 55 series, Thermo-Electra) ทุก 30 นาที จนกระทั่งครบ 540 นาที ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

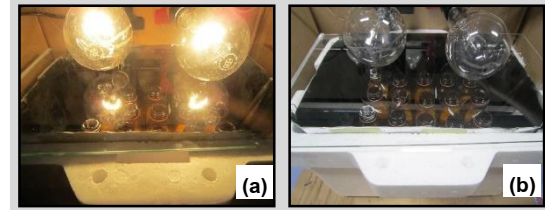


Figure 1 Homemade-black-painted-interior foam box with dimension of $20 \times 33 \times 20$ cm³ (a) light on and (b) light off [8].

2.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อนและทางเคมีของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีระยะเวลาในการกักเก็บความร้อนที่ดีที่สุด

วิเคราะห์อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะและค่าความร้อนในการเปลี่ยนสถานะของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีระยะเวลาในการกักเก็บความร้อนดีที่สุดด้วยเทคนิค DSC (DSC3, Mettler Toledo) สภาวะที่ทำการทดสอบ คือ อัตราในการให้ความร้อน 5 K/min ภายใต้บรรยากาศ แก๊สไนโตรเจน ตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของวัสดุเปลี่ยนสถานะก่อนและหลังผสมกันด้วยเทคนิค FTIR (Spectrum GX, Perkin-Elmer) สภาวะที่ทำการทดสอบ คือ ช่วงเลขคลื่น (wavenumber) $4000-400$ cm⁻¹ resolution 4 cm⁻¹ และศึกษาอุณหภูมิในการสลายตัวของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีระยะเวลาในการกักเก็บความร้อนดีที่สุดด้วยเทคนิค TGA-DSC (TGA/DSC3+, Mettler Toledo) สภาวะที่ทำการทดสอบ คือ ช่วงอุณหภูมิ 50-650 °C อัตราในการให้ความร้อน 50 K/min

3. ผลการวิจัย

3.1 ระยะเวลาในการกักเก็บความร้อนของวัสดุเปลี่ยนสถานะระหว่างกรดสเตียริกกับพาราฟินและกรดสเตียริกกับกรดอะซิติก

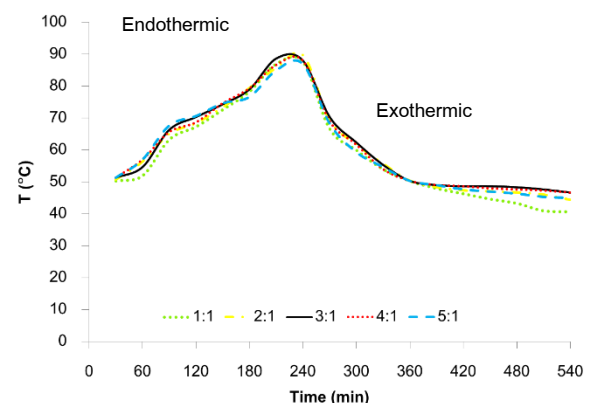


Figure 2 Temperature versus exposure time in light (on/off) for stearic acid-paraffin at various mass ratios

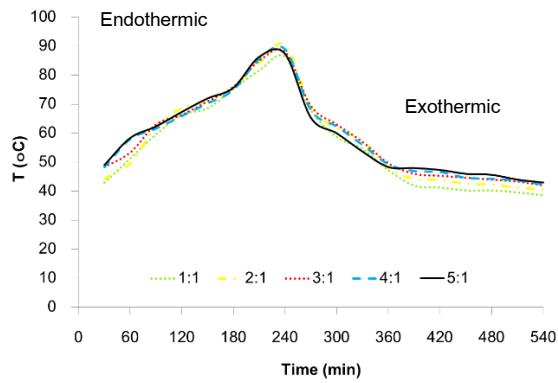


Figure 3 Temperature versus exposure time in light (on/off) for stearic acid-acetic acid at various mass ratios

Figure 2 และ 3 พบว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมจากกรดสเตียริกผสมกับพาราฟินที่อัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 3:1 และวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมจากกรดสเตียริกผสมกับกรดอะซิติกที่อัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 5:1 มีการคายความร้อนช้าที่สุดหรือสามารถรักษาอุณหภูมิได้นานที่สุด เป็นเวลา 300 นาที (ตั้งแต่เวลาที่ 240-540) และมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 120 นาทีแรก (เวลาที่ 240-360) จนกระทั่งคงที่ที่ 47 °C และ 43 °C ตามลำดับ จึงเป็นสภาวะที่ดีที่สุดที่สามารถกักเก็บความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

Figure 4 จะเห็นได้ว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมจากกรดสเตียริกผสมกับพาราฟินที่อัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 3:1 มีการคายความร้อนช้ากว่ากรดสเตียริกผสมกับกรดอะซิติกที่อัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 5:1 พาราฟิน กรดอะซิติก และกรดสเตียริก ตามลำดับ โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 120 นาทีแรกของการคายความร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ที่ 47 °C ถึงแม้ว่าสามารถดูดความร้อนได้น้อยกว่ากรดสเตียริกแต่สามารถรักษาอุณหภูมิได้นานกว่าจึงเป็นสภาวะที่ดีที่สุด จึงนำไปศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกายภาพต่อไป

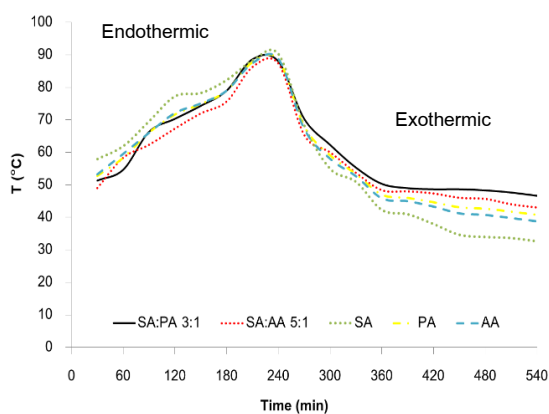


Figure 4 Temperature versus exposure time in light (on/off) for SA:PA 3:1 W/W, SA:AA 5:1 W/W, SA, PA, and AA

3.2 สมบัติทางความร้อนและทางกายภาพของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีระยะเวลาในการกักเก็บความร้อนดีที่สุด

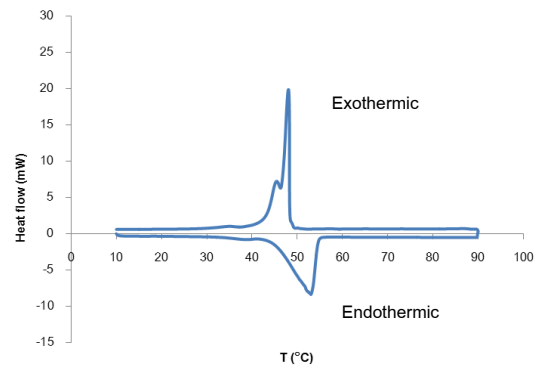


Figure 5 DSC curves of SA:PA 3:1 W/W

Table 1 DSC curves of SA, PA and SA:PA 3:1 W/W

Mass ratio (W/W)		Fusion		Solidify		Reference
SA	PA	T_m (°C)	Latent heat (J/g)	T_s (°C)	Latent heat (J/g)	
1	0	68.70	221.10	66.40	-219.20	[9]
0	1	59.26	189.24	54.75	-193.73	[6]
3	1	53.02	189.29	48.07	-187.59	Present Work

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ดังแสดงใน Figure 5 และ Table 1 พบว่า วัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมจากกรดสเตียริกผสมกับพาราฟินที่อัตราส่วนโดยมวล 3:1 มีอุณหภูมิการหลอมเหลวเท่ากับ 53.02 °C ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว เท่ากับ 189.29 J/g อุณหภูมิการกลายเป็นของแข็งเท่ากับ 48.07 °C และความร้อนแฝงของการกลายเป็นของแข็งเท่ากับ 187.59 J/g จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการกลายเป็นของแข็งจะต่ำกว่ากรดสเตียริกและพาราฟินที่เป็นสารบริสุทธิ์ แต่ยังคงมีค่าความร้อนแฝงลดลงไม่มากเมื่อเทียบกับสารบริสุทธิ์ ทำให้ยังสามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้นาน สอดคล้องกับผลการทดลองดังแสดงใน Figure 4

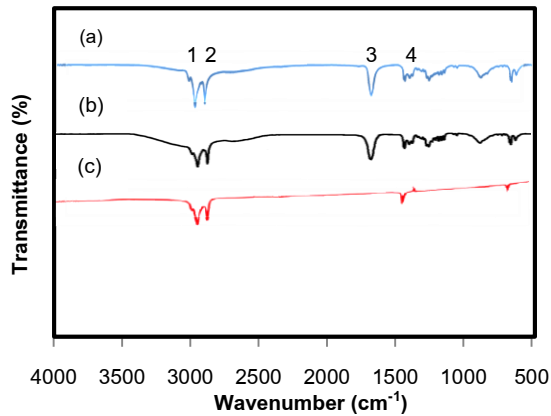


Figure 6 FTIR spectra of the PCMs (a) SA:PA 3:1 (b) SA and (c) PA

Figure 6 จะเห็นได้ว่ากรดสเดียริกผสมกับพาราฟิน ที่อัตราส่วนโดยมวล 3:1 มีหมู่ฟังก์ชันเดียวกับกรดสเดียริกที่ตำแหน่ง 1-4 คือหมู่ฟังก์ชัน Asymmetric $-CH_2$ stretching ที่ 2914 cm^{-1} , Symmetric $-CH_2$ stretching ที่ 2847 cm^{-1} , $C=O$ stretching ที่ 1697 cm^{-1} และ $-CH_3$ bending ที่ 1471 cm^{-1} และมีหมู่ฟังก์ชันเดียวกับพาราฟินที่ตำแหน่ง 1, 2, 4 คือหมู่ฟังก์ชัน Asymmetric $-CH_2$ stretching ที่ 2914 cm^{-1} , Symmetric $-CH_2$ stretching ที่ 2847 cm^{-1} และ $-CH_3$ bending ที่ 1471 cm^{-1} ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีการเกิดพันธะใหม่ขึ้นมาในโครงสร้างของกรดสเดียริกผสมกับพาราฟิน

Figure 7 พบว่าน้ำหนักของวัสดุเปลี่ยนสถานะลดลงอย่างรวดเร็วและเหลือน้อยกว่า 1.2% แสดงให้เห็นว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะระหว่างกรดสเดียริกผสมกับพาราฟินมีการสูญเสียน้ำหนักในช่วงเริ่มต้น ที่อุณหภูมิ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นการสลายตัวของสายโซ่ของโมเลกุลพาราฟิน และสูญเสียน้ำหนักสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากผลการทดลอง จึงสรุปได้ว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะระหว่างกรดสเดียริกผสมกับพาราฟินที่อัตราส่วนโดยมวล 3:1 มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีในช่วงอุณหภูมิ $50\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$

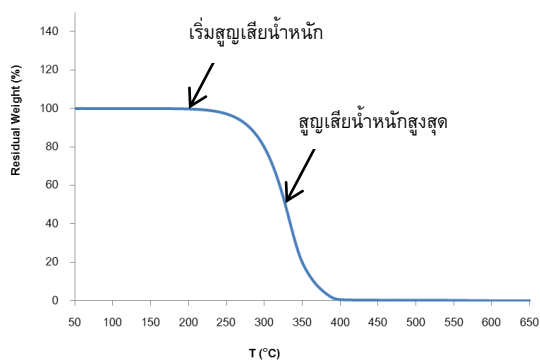


Figure 7 TGA curve of SA:PA 3:1

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาระยะเวลาในการกักเก็บความร้อน พบว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมจากกรดสเดียริกผสมกับพาราฟิน ที่อัตราส่วนโดยมวล 3:1 มีการคายความร้อนช้าหรือสามารถรักษาอุณหภูมิได้นานเป็นเวลา 300 นาที โดยมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 120 นาทีแรก จนกระทั่งคงที่ที่ $47\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงเป็นสภาวะที่ดีที่สุด

และเมื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนและทางกายภาพของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมจากกรดสเดียริกผสมกับพาราฟินที่อัตราส่วนโดยมวล 3:1 พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการกลายเป็นของแข็งจะต่ำกว่ากรดสเดียริกและพาราฟินที่เป็นสารบริสุทธิ์ แต่ยังคงมีค่าความร้อนแฝงลดลงไม่มากเมื่อเทียบกับสารบริสุทธิ์ นอกจากนี้การวิเคราะห์โครงสร้างของกรดสเดียริกผสมกับพาราฟิน ที่อัตราส่วนโดยมวล 3:1 ยังพบว่าไม่มีการเกิดพันธะใหม่ในโครงสร้างของกรดสเดียริกผสมกับพาราฟินที่อัตราส่วนโดยมวล 3:1 และในการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนพบว่าวัสดุเปลี่ยนสถานะระหว่างกรดสเดียริกผสมกับพาราฟินมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีจากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น วัสดุเปลี่ยนสถานะระหว่างกรดสเดียริกผสมกับพาราฟินที่อัตราส่วนโดยมวล 3:1 จึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้รักษาความร้อนในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์และประยุกต์ใช้สำหรับระบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากอุณหภูมิการหลอมเหลวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

References

- [1] Kanyarat Holasut, et al. 2008. "Phase change materials for retaining heat energy in solar dryer". *The 22th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand*. 258-261. (In Thai)
- [2] Siritouch Asavakosri. 2008. "Study and comparison in properties of innovative production of shape stabilized phase change materials for energy conservation". Master Thesis in Engineering: *Kasetsart University*. (In Thai)
- [3] Xu, B. and Z. Li. 2013. "Paraffin/diatomite composite phase change material incorporated cement-based composite for thermal energy storage". *Applied Energy*. 105: 229-237.
- [4] H. Fauzi, and et al. 2014. "Thermo-physical stability of fatty acid eutectic mixtures subjected to accelerated aging for thermal energy storage (TES) application". *Applied Thermal Engineering*. 66: 328-334.
- [5] S.K. Song, and et al. 2014. "Stearic-capric acid eutectic /activated-attapulgate composite as form-stable phase change material for thermal energy storage". *Energy Conversion Management*. 81: 306-311.

- [6] G. Fang, Z. Chen and H. Li. 2010. "Synthesis and properties of microencapsulated paraffin composites with SiO₂ shell as thermal energy storage materials". **Chemical Engineering Journal**. 163: 154-159.
- [7] J.P. da Cunha and P. Eames. 2016. "Thermal energy storage for low and medium temperature applications using phase change materials – A review". **Applied Energy**. 177: 227-238.
- [8] Supapad Malasai and Kanyarat Holasut. 2016. "The application of phase change material in solar dryer prototype". **The National and International Graduate Research Conference 2016**. 61-65. (In Thai)
- [9] S. Song, L. Dong, Z. Qu, J. Ren and C. Xiong. 2014. "Microencapsulated capric-stearic acid with silica shell as a novel phase change material for thermal energy storage". **Applied Thermal Engineering**. 70: 546-551.