

ความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมสำหรับระบบเก็บกักความร้อน แบบเปลี่ยนสถานะ

Optimal Heat Exchanger Pipe Length for a Phase Change Heat Storage System

ฉันทมาส กาศสนุก^{1*}, ตามร บัณชรัตน์² และคงเดช พะสินาม³

^{1,3} สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

156 หมู่ 5 ต.พลาชุมพล อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000 โทร 0-5526-7080

โทรสาร 0-5526-7081 E-mail: phasinam@psru.ac.th

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมสำหรับระบบเก็บกักความร้อนที่ใช้พาราฟินเป็นสารเก็บกักความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะ มีวัตถุประสงค์เพื่อชดเชยผลกระทบจากพาราฟินที่แข็งตัวเป็นฉนวนรอบ ๆ ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อให้สามารถผลิตอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดตลอดช่วงการใช้งานที่กำหนด ระบบเก็บกักความร้อนประกอบด้วยถังขนาด $35 \times 35 \times 150$ เซนติเมตร บรรจุพาราฟินเหลว 150 กิโลกรัม และติดตั้งท่ออากาศสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทำจากท่อทองแดงอยู่ภายในถังทำการทดลองโดยใช้ท่อ 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร และ 1.50 เซนติเมตร ทำการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 75 ลิตรต่อวินาที อุณหภูมิของพาราฟินเหลวเริ่มต้นที่ 60 องศาเซลเซียส กำหนดระยะเวลาการทดสอบการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 4 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า ในช่วงเวลา 4 ชั่วโมง ของการผลิตอากาศร้อน พาราฟินจะเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งหุ้มรอบท่อทองแดงโดยเริ่มจากปลายท่อด้านขาเข้าของอากาศทำให้เกิดเป็นฉนวนความร้อนและทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง ดังนั้นจึงต้องใช้ความยาวท่อที่ยาวขึ้นในการถ่ายเทความร้อน จากผลการทดลองพบว่า ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร และ 1.50 เซนติเมตร ต้องการความยาวท่อ 900 เซนติเมตร และ 700 เซนติเมตร ตามลำดับ เพื่อให้ได้อุณหภูมิของอากาศที่ทางออกสูงที่สุดตลอดระยะเวลา 4 ชั่วโมง และสามารถผลิตอากาศร้อนอุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของอากาศ 75 ลิตรต่อวินาที ผลจากพาราฟินที่เกิดการแข็งตัวเคลือบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลงร้อยละ 15 และร้อยละ 13.4 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับท่อเปล่า

คำสำคัญ: ระบบเก็บกักความร้อนชนิดพาราฟินเหลว, ความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, การถ่ายเทความร้อน

Abstract

The objective of this research was to find an optimal length of heat-exchanged pipe used within a heat storage system that used paraffin as its phase change material. The objective was to compensate for the effects of hardening paraffin which acted as insulation around the pipe in order to produce the highest temperature of hot air

throughout the usage. The thermal storage system consists of a tank measuring 35×35×150 cm which contains 150 kg of liquid paraffin and which has internal copper piping installed as a heat exchanger. The study used 2 sizes of pipe with diameters of 1.25 cm and 1.5 cm. The experiments were conducted with an air flow rate of 75 LPM through the copper piping. The starting temperature of the liquid paraffin was 60°C. The period of the heat transfer test was 4 hours. From the experiment, during the four hours of hot air production, the paraffin would become solid and coat around the copper tubing, starting with the air inlet side, which caused thermal insulation and decreased the heat transfer rate. Therefore, a longer pipe length was required in order to transfer the heat. The results show that in order to obtain highest air temperature at the exit point, the heat exchange tubes with a diameter of 1.25 cm and 1.50 cm needed to be 900 cm and 700 cm long respectively. It could produce hot air with a temperature of 58°C at a rate of 75 LPM. When compared to an empty tube, the tube with a hardened paraffin coating had a reduced efficiency of heat transfer by 15% and 13.4% respectively.

Keywords: liquid paraffin of heat storage system, length of heat exchanger pipe, heat transfer

1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานสำหรับมนุษย์ แหล่งพลังงานส่วนใหญ่ที่ถูกนำมาใช้กันคือ แหล่งพลังงานจากฟอสซิล ซึ่งมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดปัญหาตามมา เช่น ราคาน้ำมันแพง และราคาสินค้าเพิ่มสูงขึ้น รวมไปถึงภาวะโลกร้อน อันเนื่องมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ผลกระทบดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวคิดนำวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM; Phase Change Material) มาใช้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้พลังงานในการเปลี่ยนสถานะ คุณสมบัติของ PCM สามารถสะสมพลังงานความร้อนได้ในปริมาณมากขณะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว และคายพลังงานที่สะสมออกมาในขณะที่เปลี่ยนสถานะกลับเป็นสถานะเริ่มต้น PCM จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ (Holasut et al., 2008; Malasai, S. & Holasut, 2017)

ปัจจุบัน PCM ถูกนำมาประยุกต์ใช้ เช่น การประยุกต์ใช้กับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากธรรมชาติที่ได้เปล่า และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่มีวันหมด แต่เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องแสงแดดมีเฉพาะในตอนกลางวัน ทำให้ต้องใช้พลังงานจากส่วนอื่นมาช่วยเสริมในการผลิตความร้อนในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดด จึงมีแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบเก็บกักความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะ เพราะจะทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบบเก็บกักความร้อนจะทำหน้าที่เก็บความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และคายความร้อนออกมาใช้ในการอบแห้งเมื่อไม่มีแสงแดด (Holasut & K. Kumwachara, 2010) เป็นการช่วยลดข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการอบแห้ง และสามารถใช้ความร้อนจากระบบเก็บกักความร้อนได้ต่อเนื่องเพิ่มขึ้น 4 ชั่วโมง (Sanchum, T. 2013) นอกจากนี้ความ

ยาวของท่อที่นำมาบรรจุอยู่ในระบบเก็บกักความร้อนจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้ท่อตรงในการทดสอบ ซึ่งข้อจำกัดในการใช้งานจริงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือมีพื้นที่จำกัด (Nakkaew, S. et al., 2013) จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ท่อตรงในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบเก็บกักความร้อน โดยการศึกษาความยาวของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมสำหรับระบบเก็บกักความร้อนแบบใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ ซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อวัสดุดังกล่าวเกิดการแข็งตัวจะเป็นฉนวน ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง ซึ่งการเก็บรักษาความร้อนจะได้พลังงานความร้อนในรูปของความร้อนแฝงไปใช้ประโยชน์ในการผลิตอากาศร้อน และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบเก็บกักความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะ เพราะจะทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบบเก็บกักความร้อนจะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และคายความร้อนออกมาใช้ในการอบแห้งเมื่อไม่มีแสงแดด เป็นการช่วยลดข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการอบแห้ง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

หาความยาวท่อที่เหมาะสมสำหรับระบบเก็บกักความร้อนเพื่อชดเชยผลกระทบจากพาราฟินที่แข็งตัวเป็นฉนวนรอบ ๆ ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้สามารถผลิตอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดตลอดช่วงการใช้งานที่กำหนด เมื่อใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 และ 1.50 เซนติเมตร ตามลำดับ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

ระบบเก็บกักความร้อนของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ถังบรรจุพาราฟินรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $35 \times 35 \times 150$ เซนติเมตร ถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน ฝาด้านบนถูกปิดด้วยแผ่นอะคริลิกหนา 0.2 เซนติเมตร ภายในระบบเก็บกักความร้อนบรรจุพาราฟิน 150 กิโลกรัม และท่อแลกเปลี่ยนความร้อนทำจากท่อทองแดงขัดเป็นวงกลมคล้ายสปริง 2 ขนาด คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร และ 1.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1

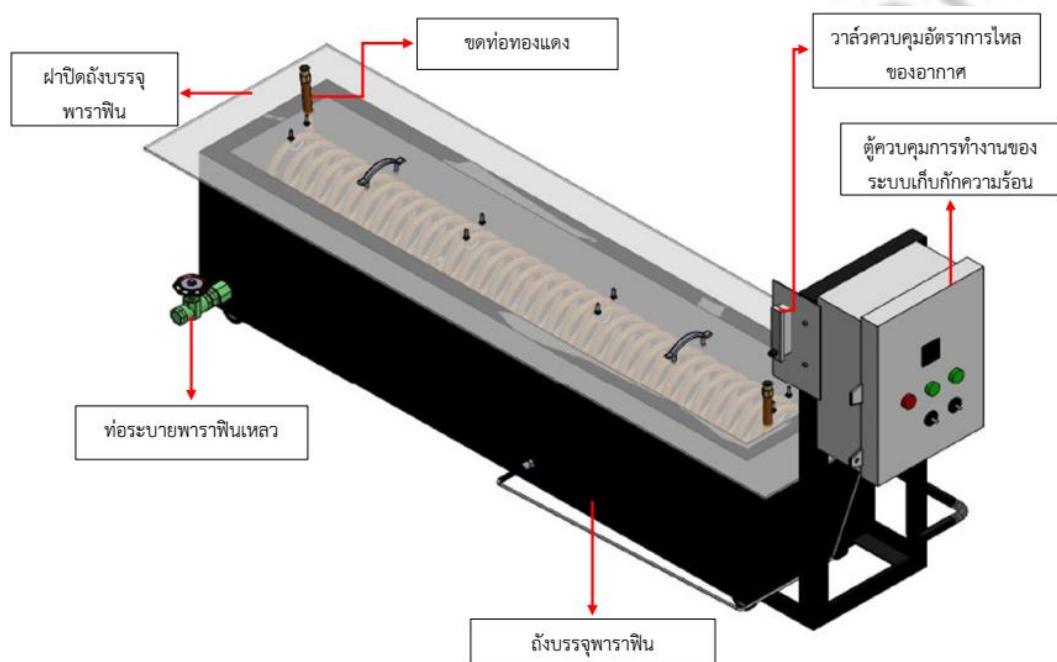
3.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดสอบกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนถูกพัฒนามาจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบเก็บกักความร้อนสำหรับการอบพริก (T. Sanchum, 2013) โดยออกแบบการทดลองให้มีความสอดคล้องตามขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 2 และภาพที่ 3)

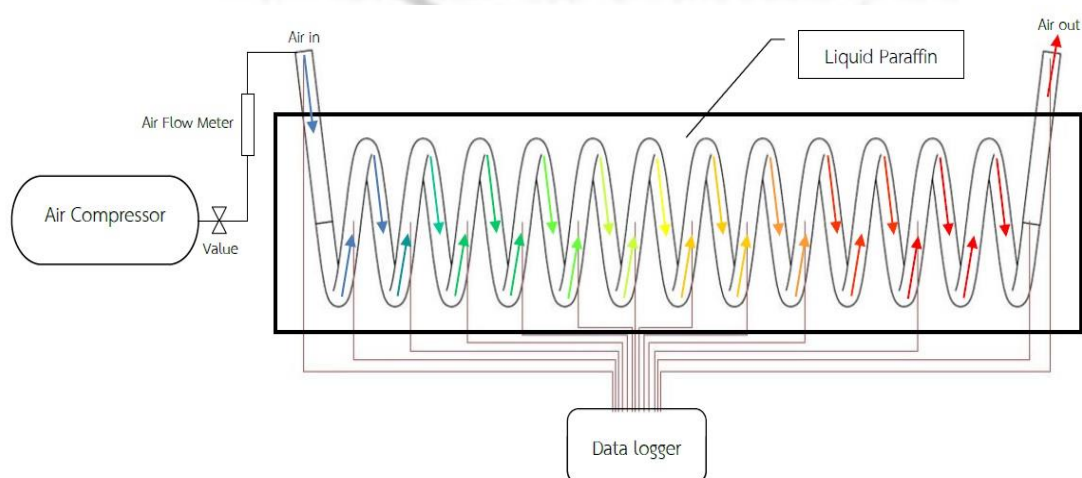
- 1) บรรจุพาราฟิน 150 กิโลกรัม ลงในถังและละลายพาราฟินด้วยความร้อนจากฮีตเตอร์ขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 3 ตัว
- 2) เมื่ออุณหภูมิของพาราฟินเหลือถึง 60 องศาเซลเซียส จึงเริ่มต้นการทดลอง
- 3) ป้อนอากาศภายนอกด้วยปั๊มลม (Air Compressor) เข้าในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยอัตราการไหล 75 ลิตรต่อนาที

4) วัดอุณหภูมิภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และบันทึกข้อมูลด้วย Data Logger โดยแบ่งการวัดออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกจำนวน 10 จุด มีระยะห่างจุดละ 100 เซนติเมตร และช่วงที่สองจำนวน 3 จุด มีระยะห่างจุดละ 165 เซนติเมตร ทุก 10 นาที ตลอดการทดลอง 4 ชั่วโมง

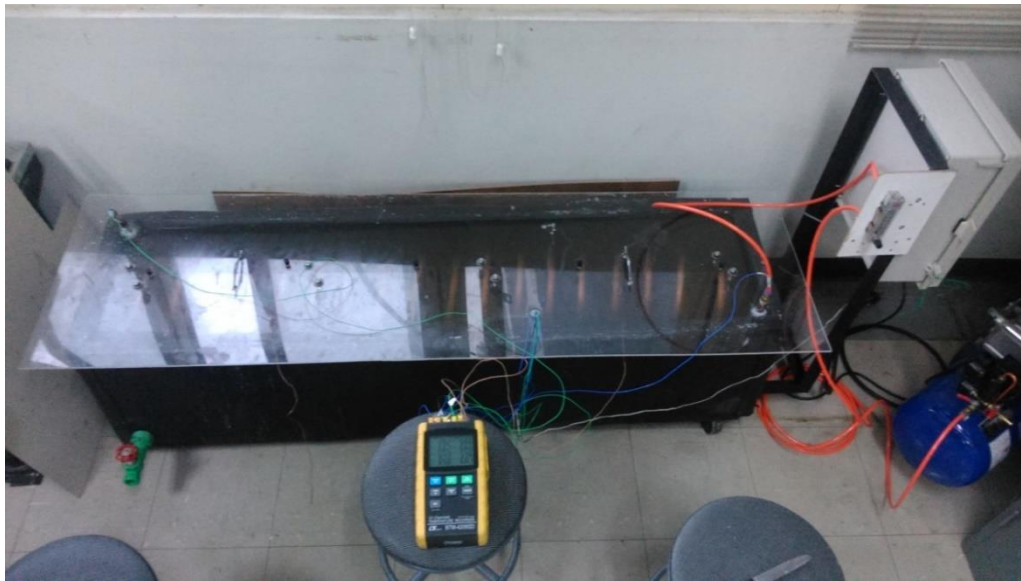
5) วัดความหนาและบันทึกค่าของพาราฟินที่เกิดการแข็งตัวเคลือบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนทุก 10 นาที ตลอดการทดลอง 4 ชั่วโมง



ภาพที่ 1 ระบบเก็บกักความร้อนโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ



ภาพที่ 2 แผนผังแสดงการทำงานของระบบเก็บกักความร้อนโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ



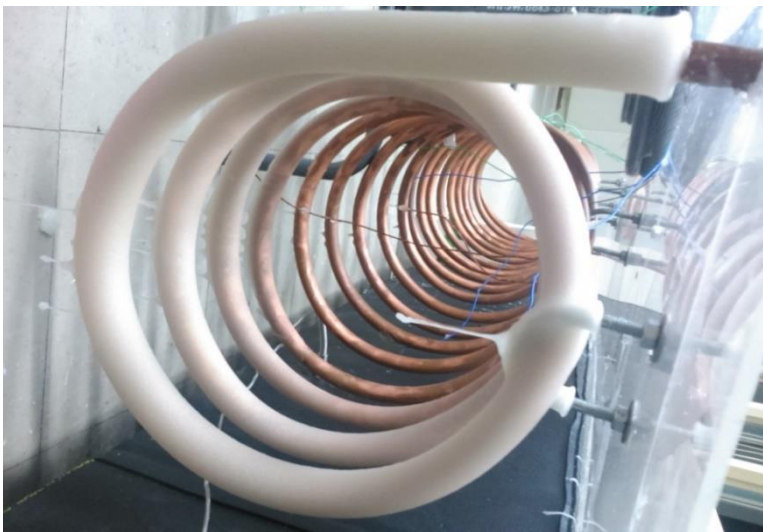
ภาพที่ 3 การติดตั้งการทดสอบระบบเก็บกักความร้อนโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ

4. ผลการวิจัย

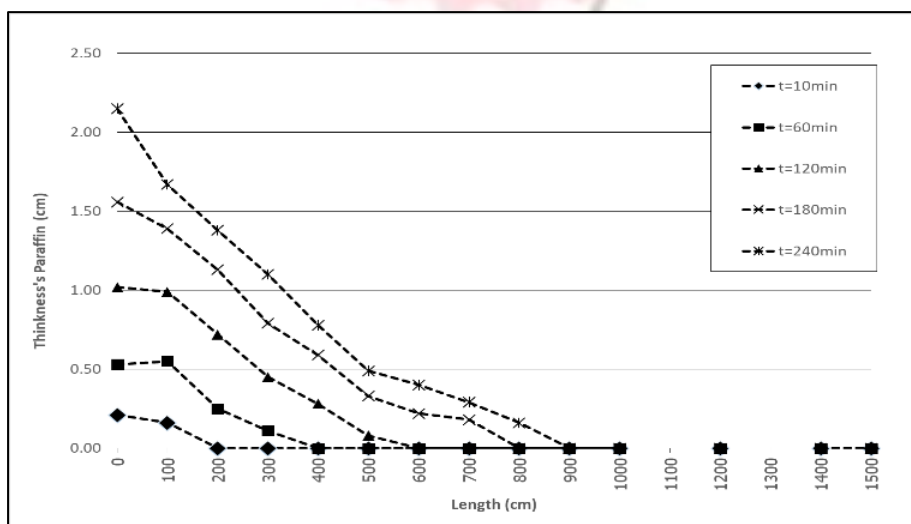
จากผลการศึกษาหาความยาวท่อที่เหมาะสมสำหรับระบบเก็บกักความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะในการผลิตอากาศร้อน พบว่าความหนาของพาราฟินที่เกิดการแข็งตัวเคลือบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงตามความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4 ภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และอัตราการถ่ายเทความร้อนค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความยาวท่อจนกระทั่งอุณหภูมิของอากาศภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนคงที่ โดยบริเวณความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อนช่วงแรก พาราฟินจะเกิดการแข็งตัวค่อนข้างหนา ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศและอัตราการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างต่ำ และความหนาของพาราฟินจะลดลงตามความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน จนกระทั่งไม่มีพาราฟินที่แข็งตัวบริเวณผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบสัมผัส (Suparos et al., 2005) ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศและอัตราการถ่ายเทความร้อนคงที่ที่ 58 องศาเซลเซียส และ 30 วัตต์ ตามลำดับ ดังภาพที่ 7 และภาพที่ 8 โดยท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร และ 1.50 เซนติเมตร พาราฟินที่เกิดการแข็งตัวเคลือบท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ในช่วงเวลา 10 - 120 นาที ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 15 และร้อยละ 13.4 ที่ความยาวท่อ 900 เซนติเมตร และ 700 เซนติเมตร ตามลำดับ

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม พบว่ามีค่าเฉลี่ยลดลงตามความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ดังภาพที่ 9 ซึ่งท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 เซนติเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมต่ำกว่าท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร เนื่องจากสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในการแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อผลต่างของอุณหภูมิระหว่างพาราฟินเหลวกับอากาศภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และพื้นที่ผิวท่อในการแลกเปลี่ยนความร้อน

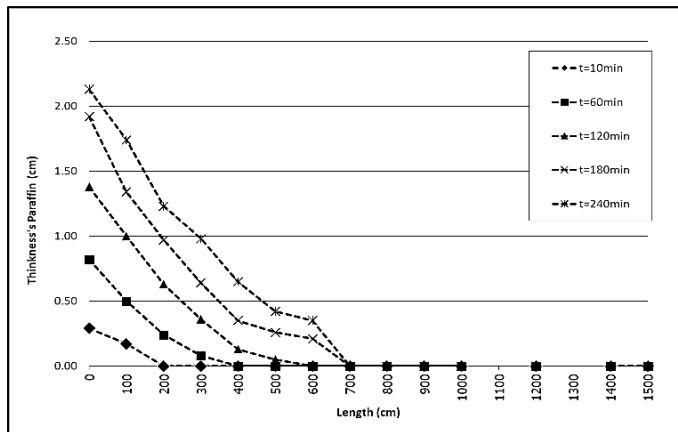
การวิเคราะห์หาความยาวท่อที่เหมาะสมสำหรับระบบเก็บกักความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะ มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนโดยมีอุณหภูมิของอากาศขาออกท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสูงสุด 58 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนสูงสุด 30 วัตต์ เมื่อนำมาพิจารณาหาความยาวท่อที่เหมาะสมจากค่าความร้อนตลอดการทดสอบระหว่างช่วงที่มีพาราฟินและไม่มีพาราฟินแข็งเคลือบท่อ พบว่าความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมของท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร และ 1.50 เซนติเมตร มีค่า 900 เซนติเมตร และ 700 เซนติเมตร ดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11 ตามลำดับ



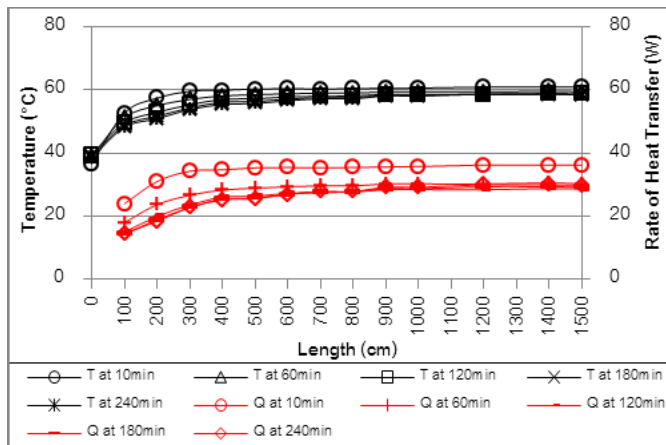
ภาพที่ 4 ลักษณะของพาราฟินที่เกิดการแข็งตัวเคลือบท่อแลกเปลี่ยนความร้อน



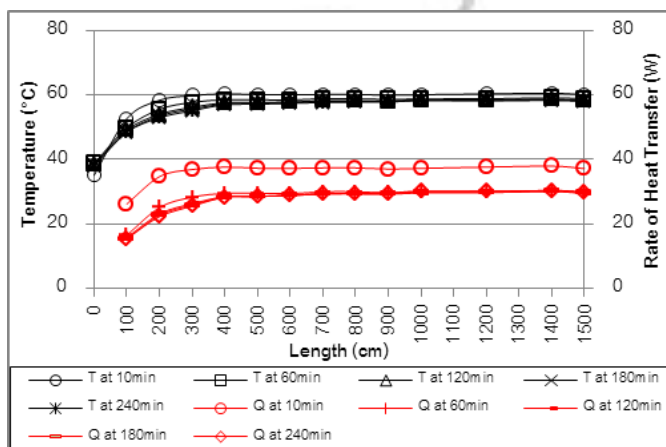
ภาพที่ 5 ความหนาของพาราฟินที่เกิดการแข็งตัวเคลือบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร



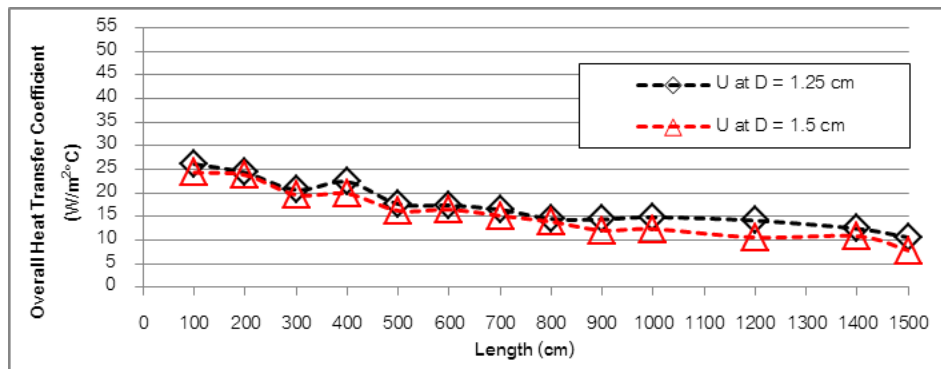
ภาพที่ 6 ความหนาของพาราฟินที่เกิดการแข็งตัวเคลือบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 เซนติเมตร



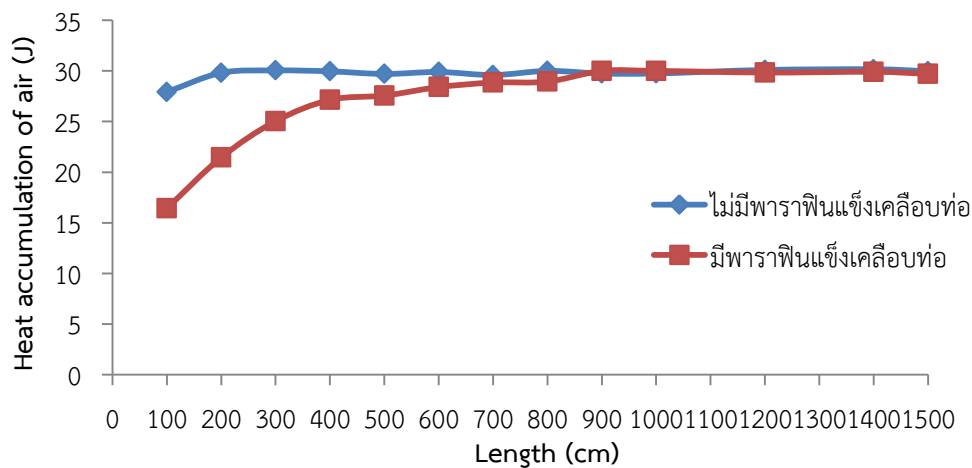
ภาพที่ 7 อุณหภูมิและอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร



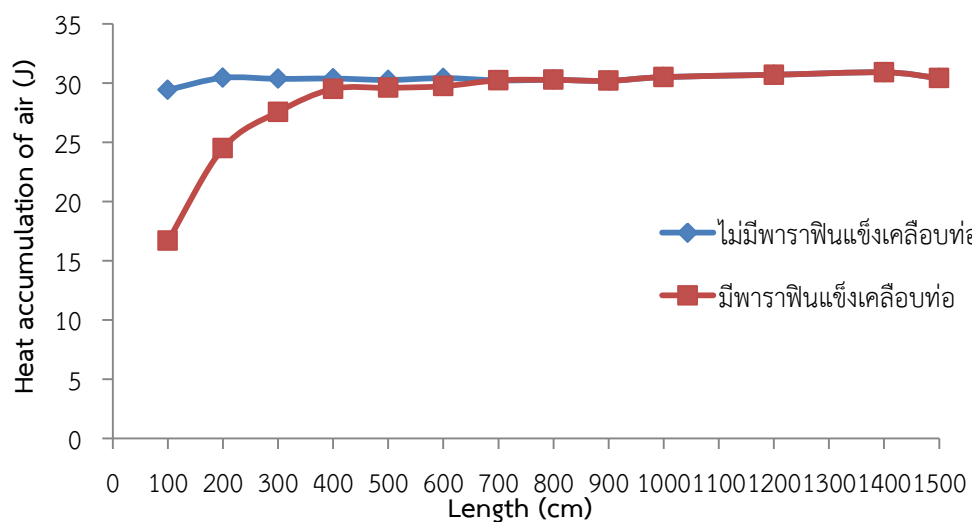
ภาพที่ 8 อุณหภูมิและอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 เซนติเมตร



ภาพที่ 9 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม



ภาพที่ 10 ค่าความร้อนของอากาศในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 1.25 ซม. ระหว่างช่วงที่ไม่มีพาราฟินแข็งเคลือบท่อที่เวลา 1 นาที กับช่วงที่มีพาราฟินแข็งเคลือบท่อที่เวลา 240 นาที



ภาพที่ 11 ค่าความร้อนของอากาศในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 1.50 เซนติเมตร ระหว่างช่วงที่ไม่มีพาราฟินแข็งเคลือบท่อที่เวลา 1 นาที กับช่วงที่มีพาราฟินแข็งเคลือบท่อที่เวลา 24 นาที

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การศึกษาลักษณะของวัสดุเปลี่ยนสถานะภายในระบบเก็บกักความร้อนในช่วงเวลา 4 ชั่วโมง ของการผลิตอากาศร้อนพบว่า ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร และ 1.50 เซนติเมตร ต้องการความยาวท่อ 900 เซนติเมตร และ 700 เซนติเมตร ตามลำดับ เพื่อให้ได้อุณหภูมิของอากาศที่ทางออกสูงที่สุดตลอดระยะเวลา 4 ชั่วโมง และสามารถผลิตอากาศร้อนอุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของอากาศ 75 ลิตรต่อนาที และผลจากพารามิเตอร์ที่เกิดการแข็งตัวเคลือบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลงร้อยละ 15 และร้อยละ 13.4 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับท่อเปล่า ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบเก็บกักความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบเก็บกักความร้อนสำหรับการอบพริก และยังสามารถทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่องอีกด้วย

6. ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน เช่น การติดครีป หรือการเพิ่มจำนวนท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น ซึ่งจะสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศได้มากขึ้น เนื่องจากยังคงมีความร้อนที่สะสมอยู่ภายในพารามิเตอร์เหลืออีกปริมาณมาก

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- Holasut and Kumwachara, K. (2010). Using PCM as Thermal Storage in Solar Dryer. **Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2010)**; March 4-6, 2010, Nongkai, Thailand.
- Holasut, P. Wongvicha, T. Srichompu, T. Mongsumpaw, A. Chaiamnart. (2008). Phase Change Materials for Retaining Heat Energy in Solar Dryer. **The 22nd Thailand Mechanical Engineering Conference; October 15-17, 2008**, Thummasart University Rungsit, Thailand.
- Malasai, S. and Holasut. (2017), Mathematical Modeling for Phase Change Materials in a Small Scale Solar Dryer. **International Journal of Engineering Research and Reviews**, Vol. 5 (1), January–March 2017, pp. 50-57.
- Nakkaew, S., Binmud, R. and Kaew-On, J. (2013). Single-Phase Heat Transfer Characteristics in the Straight and Helical Minichannel Tubes. **Thaksin University Journal**, Vol. 16 (3), pp. 65-73.

- Sanchum, T. (2013). **Design and Performance Evaluation of Solar Dryer with Heat Storage System for Chilli Drying**. Master Thesis, Chiangmai University, Thailand.
- Suparos, T., Hemwat, B., and Ratsame. (2005). Thermal and Heat Transfer Characteristics of a PCM Storage System. **International Conference on Recent Advances in Mechanical and Material Engineering (ICRAMME'05)**; May 30-31, 2005, Kaula Lumpur, Malaysia.

Industrial Technology
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง