

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์

สัญญาเลขที่ R25608075



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระบบสะสมความร้อนที่ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

Thermal Storage System combined with Phase Change Material for Small
Medium Large (SML) Business

คณะผู้วิจัย สังกัดวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ทกริดเทคโนโลยี

1. ดร.สุขฤดี สุขใจ
2. นายยอดธง เม่นสิน
3. นายไพฑูรย์ เหล่าดี
4. นายวิกานต์ วันสูงเนิน

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์
วันลงทะเบียน 15 ส.ย. 2564
เลขทะเบียน 1039419
เลขเรียกหนังสือ ๖๑๑๐

3
๗๔๖
2560



สนับสนุนโดยงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2560 มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะผู้ดำเนินการวิจัยใคร่ขอขอบคุณอย่างยิ่งที่มหาวิทยาลัยนเรศวรได้มีนโยบายในการสนับสนุนให้บุคลากรทำการวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านพลังงานทดแทนและอื่นๆ รวมทั้งขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่วิทยาลัยพลังงานทดแทนที่มีส่วนช่วยเหลือทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย
กันยายน 2560



สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทคัดย่อ.....	a
ABSTRACT.....	b
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย.....	2
1.6 สถานที่ทำการทดลอง.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	3
2.2 พลังงานความร้อนที่ถึงเก็บสะสมความร้อน.....	4
2.3 การสะสมพลังงานความร้อนและวัสดุสะสมพลังงานความร้อน.....	4
2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน.....	10
2.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง.....	11
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการ.....	14
3.2 ออกแบบและสร้างระบบสะสมความร้อนที่ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ.....	14
3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	15
4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาในระบบ SWH.....	17
4.2 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการชาร์จในชุด PPH.....	18
4.3 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการดิสชาร์จในชุด PPH.....	18
5 สรุปผลการวิจัย	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	20

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	21
ภาคผนวก.....	23
ก. ตัวอย่างข้อมูลถึงน้ำร้อนชนิดแบ่งชั้นอุณหภูมิ	
ข. บทความเผยแพร่งานวิจัย	



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1 แสดงตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat – Plate Solar Collector).....	3
2 แสดงตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated Tube Solar Collector)	3
3 แสดงชุดอุ่นน้ำร้อนจากพาราฟิน (PPH).....	14
4 แสดงระบบ SWH และชุด PPH.....	15
5 แสดงค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาในระบบ SWH.....	17
6 แสดงอุณหภูมิในกระบวนการชาร์จในชุด PPH.....	18
7 แสดงอุณหภูมิในกระบวนการดิสชาร์จในชุด PPH.....	19



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 คุณสมบัติของสารผสมพลังงานความร้อน.....	8
2 แสดงค่าต่างๆ ที่มีการเก็บข้อมูลในระบบ.....	16
3 แสดงค่ากำลังงานและประสิทธิภาพของชุด PPH.....	19



บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาถังน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชุดอุ่นน้ำร้อนจาก พาราฟิน (PPH) ซึ่งพาราฟินเป็นวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และเป็นตัวให้ความร้อนในชุด PPH มีปริมาตร 0.012 ลูกบาศก์เมตร ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนทำจากทองแดงใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนหรือน้ำเย็นกับพาราฟิน กระบวนการชาร์จหรือละลายของพาราฟินในชุด PPH จะเกิดขึ้นในเวลากลางวัน อุณหภูมิน้ำร้อนประมาณ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งผลิตจากตัวรับรังสีแบบหลอดสุญญากาศขนาด 2 ตารางเมตร ใช้สำหรับกระบวนการชาร์จทำให้อุณหภูมิของชุด PPH เพิ่มขึ้นจนกระทั่งพาราฟินเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว กระบวนการดิสชาร์จของชุด PPH จะเริ่มขึ้นเมื่อมีการใช้น้ำร้อนในช่วงเวลากลางวัน น้ำเย็นที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจากถังเก็บจะไหลผ่านชุด PPH ซึ่งจะเป็นการเริ่มต้นกระบวนการดิสชาร์จ มีอัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที กระบวนการดิสชาร์จนี้จะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าพาราฟินจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของชุด PPH พบว่าระยะเวลาของกระบวนการดิสชาร์จประมาณ 2 ชั่วโมง และในขณะเดียวกันอุณหภูมิของน้ำเย็นจะเพิ่มขึ้นจาก 31.1 เป็น 35.7 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพระหว่างกระบวนการชาร์จและกระบวนการดิสชาร์จเป็น 60% และ 76% ตามลำดับสรุปได้ว่าชุด PPH สามารถเพิ่มสมรรถนะของถังน้ำร้อนและสามารถลดอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างน้ำร้อนและเย็นได้ และสามารถใช้เพื่ออุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำและกระบวนการให้ความร้อนอื่น ๆ ในธุรกิจขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ (SML) ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตน้ำร้อนในธุรกิจอุตสาหกรรมได้

คำสำคัญ : พาราฟิน, ถังสะสมพลังงานความร้อน, วัสดุเปลี่ยนสถานะ และการถ่ายเทความร้อน

ABSTRACT

This paper presents the development of solar hot water storage tank combined with paraffin pre-heating (PPH) unit. Paraffin is a phase change material (PCM) and is used as a heat storage medium in this PPH unit. The volume of PPH unit is about 0.012 m³. The heat exchanger tubes made up of copper are used to exchange the heat between hot or cold water and paraffin. The charging or melting process of the PCM in PPH unit happens in the day time. The hot water of temperature about 70 °C which is produced from 2 m² vacuum tube solar collector is used for charging process. The temperature of PPH unit was increased until the PCM reaches to liquid state. The discharging process of Paraffin PCM will starts when the hot water is used during off sun shine hours. The cold water at ambient temperature will be allowed to the storage tank through the PPH unit which automatically initiates the discharging process of paraffin. This discharging process is continued until the paraffin turns to solid state. The flow rate of the PPH unit was about 0.005 kg/s. From the results of performance analysis of PPH unit, it is observed that the time taken for discharging process is about 2 h and in the meantime the temperature of the cold water is increased from 31.1 °C to 35.7 °C. The efficiencies of PPH unit during charging and discharging processes are 60% and 76% respectively. It can be concluded that the PPH unit can increase the performance of the hot water storage tank and it can also reduce the difference temperature mixing between hot and cold water. The PPH unit can be used to preheat the boiler feed water and for other heat requirement processes in small, medium and large (SML) business sectors. This concept can promisingly reduce the cost of hot water production in the SML industries.

KEYWORDS: Paraffin, thermal energy storage, phase change material (PCM) and heat transfer

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

พลังงานแสงอาทิตย์นับเป็นพลังงานที่น่าสนใจและมีความเหมาะสมเป็นอย่างมากต่อลักษณะและสภาพแวดล้อมของประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนมีพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเพียงพอในการผลิตความร้อน โดยการใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งนิยมทำกันทั้งระดับชาวบ้านและอุตสาหกรรมมาช้านานแล้ว ซึ่งการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีที่มีความสะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่ได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย โดยทั่วไปการผลิตความร้อนที่ออกแบบและใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้นเป็นเครื่องที่สร้างขึ้นโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับการตากแห้งแบบธรรมชาติอันเนื่องจากเหตุผลความสะอาดเป็นหลัก อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพโดยทั่วไปโดยเฉลี่ยอาจสูงต่ำต่างกันในการให้ความร้อนโดยแสงแดด ซึ่งวิธีนี้อาจจะเหมาะในตอนกลางวัน แต่ในตอนกลางคืนตั้งแต่ 5 โมงเย็นจนถึง 9 โมงเช้าของวันถัดไป หากไม่มีพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ อาจทำให้ผลผลิตบางอย่างเสียหายได้ และปัจจุบันเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แต่มีข้อจำกัดในกรณีที่รังสีดวงอาทิตย์มีความเข้มแสงไม่เพียงพอส่งผลให้อุณหภูมิน้ำในถังสะสมมีค่าสูงไม่เพียงพอ จึงทำให้ต้องเพิ่มอุปกรณ์ทำความร้อนเสริม (Auxiliary Heat) เพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ตามความต้องการการใช้งาน

PCM (PCM; Phase Change Material) เป็นวัสดุที่ใช้พลังงานในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้ PCM สามารถดูดสะสมพลังงานความร้อน ได้ในปริมาณมากขณะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว และคายพลังงานที่สะสมออกมาในขณะที่เปลี่ยน สถานะกลับไปเป็นสถานะเริ่มต้น PCM จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับควบคุมอุณหภูมิ ให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ PCM ซึ่งในปัจจุบัน PCM มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายเช่น การนำไปประยุกต์ใช้กับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่เราสามารถนำไปใช้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ การนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยให้สามารถอบต่อเนื่องได้ยาวนาน เนื่องจาก PCM จะทำหน้าที่สะสมความร้อนในเวลากลางวัน และคายความร้อนออกมาในเวลากลางคืนหรือเมื่อไม่มีแสง จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างระบบสะสมความร้อนที่ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เพื่อนำความร้อนมาใช้กับวัสดุเปลี่ยนเฟส ซึ่งเป็นตัวเก็บกักความร้อนสำหรับผลิตความร้อนนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการอบแห้งผลิตภัณฑ์หรือนำมาใช้อุ่นน้ำ (Preheat) ก่อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ และยังเป็นการผลิตค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบสะสมความร้อนที่ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

1.2.2 ศึกษาสมรรถนะของระบบสะสมความร้อนที่ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ใช้พาราฟินเป็นวัสดุเปลี่ยนเฟสเพื่อผลิตความร้อนให้กับระบบสะสมพลังงานต้นแบบ

1.3.2 ทดสอบสมรรถนะของวัสดุเปลี่ยนเฟส โดยนำไปประยุกต์ใช้กับระบบสะสมพลังงานต้นแบบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ระบบสะสมพลังงานความร้อนแบบเปลี่ยนเฟสเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ทำน้ำร้อน เป็นต้น

1.4.2 ได้ผลงานวิจัยสำหรับตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการในระดับประเทศหรือต่างประเทศอย่างน้อย 1 ฉบับ

1.5 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

1.5.1 ตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการในระดับประเทศ

1.6 สถานที่ทำการทดลอง

สวนพลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก

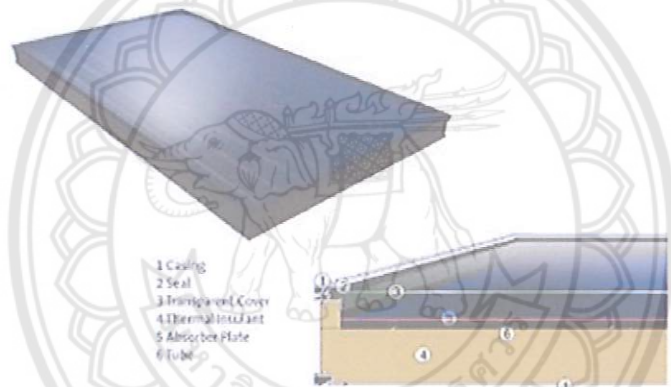
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ [1]

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนรังสีอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อน คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collectors) ซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นความร้อนถ่ายเทให้กับของไหลทำงานให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ก่อนที่จะถูกดึงนำไปใช้งานต่อไป ทั้งนี้สามารถแบ่งชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้เป็น 2 แบบ คือ

(1) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat – Plate Solar Collector) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้จะสามารถผลิตน้ำร้อนอยู่ในช่วงอุณหภูมิต่ำถึงปานกลาง ($40 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat – Plate Solar Collector)

(2) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated Tube Solar Collector) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้สามารถผลิตน้ำร้อนอยู่ในช่วงอุณหภูมิสูง (อุณหภูมิมากกว่า $80\text{ }^{\circ}\text{C}$) แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated Tube Solar Collector)

2.2 พลังงานความร้อนที่ถึงเก็บสะสมความร้อน [1]

เนื่องจากถังเก็บสะสมความร้อนที่ใช้เป็นชนิดที่มีการแบ่งอุณหภูมิ โดยการศึกษาที่ตั้งสมมุติฐานให้น้ำในถังแบ่งออกเป็น 3 โหนด ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ถึงเก็บสะสมความร้อนสามารถผลิตได้ จะขึ้นอยู่กับมวลและอุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลาต่างๆ

$$Q_{storage} = m_i C_p (T_{s,i} - T_{s,1}) \quad (1)$$

เมื่อ	$Q_{storage}$ คือ	พลังงานความร้อนที่ได้รับจากถังเก็บสะสมความร้อน (W)
	$T_{s,i}$ คือ	อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อนที่โหนด i ที่เปลี่ยนไป ณ เวลาใดๆ (°C)
	$T_{s,1}$ คือ	อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อนที่เวลาเริ่มต้นของช่วงเวลาที่โหนด i (°C)

2.3 การสะสมพลังงานความร้อนและวัสดุสะสมพลังงานความร้อน [2]

ข้อดีของระบบการสะสมความร้อนโดยการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส (Phase change material; PCM) ถือได้ว่าเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการสะสมพลังงาน เราสามารถใช้ PCM ในการจัดเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ หรือความร้อนที่สามารถหาได้จากแหล่งอื่นๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ และข้อดีอีกประการ คือ สามารถสะสมความร้อนได้ในปริมาณมาก

2.3.1 ทฤษฎีการสะสมความร้อน

ในธรรมชาติเมื่อวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในหรือมีการเปลี่ยนเฟส เช่น เมื่อน้ำแข็งได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลว เป็นต้น เมื่อวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางความร้อน (Thermal Energy) แล้วสะสมพลังงานความร้อนไว้ในรูปของความร้อนแฝง (latent heat) แต่เมื่ออุณหภูมิภายนอกวัสดุหรืออุณหภูมิของสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป วัสดุจะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางความร้อน เมื่อวัสดุได้รับความร้อน วัสดุนั้นจะค่อยๆ ดูดหรือสะสมพลังงานงานความร้อนนั้นไว้โดยการเปลี่ยนเฟส จากนั้นเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดลง วัสดุจะค่อยๆ คายความร้อนหรือพลังงานออกมาจนกระทั่งระบบเข้าสู่สมดุลกับสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิของวัสดุเท่ากับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม) และมีการเปลี่ยนแปลงตามสมการดังต่อไปนี้

$$Q = m C_p (T_f - T_t) \quad (2)$$

เมื่อ	Q = ปริมาณความร้อนที่วัสดุได้รับ
	m = มวลของวัสดุ
	C_p = ค่าความจุความร้อนของวัสดุ
	T_f = อุณหภูมิสุดท้าย
	T_t = อุณหภูมิเริ่มต้น

Latent heat storage มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเฟสของวัสดุสำหรับลักษณะการเปลี่ยนแปลงเฟสที่เกิดขึ้นนั้นมีทั้ง การเปลี่ยนแปลงจากเฟสของแข็งไปเป็นของเหลว จากของเหลวไปเป็นแก๊ส จากของแข็งไปเป็นแก๊ส หรือแม้กระทั่งจากของแข็งในลักษณะโครงสร้างหนึ่งไปเป็นของแข็งเช่นกันแต่เปลี่ยนไปเป็นอีกโครงสร้างหนึ่ง แต่การเปลี่ยนเฟสที่ได้รับความสนใจหรือสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ได้ดี คือ การเปลี่ยนเฟสจากของแข็งเป็นของเหลว และการเปลี่ยนเฟส จากของแข็งไปเป็นของแข็งโดยมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างภายใน แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเฟสจากของแข็งไปเป็นแก๊สนั้น พบว่า จะมีค่าความร้อนสะสม (Latent heat of fusion) สูงมากและการเปลี่ยนแปลงเฟสในลักษณะนี้ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรไปจากเดิมมาก จึงทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการออกแบบวัสดุที่จะนำมาใช้ในการจัดเก็บ PCM เหล่านี้

การเปลี่ยนเฟสจากของแข็งไปเป็นไปเป็นของแข็งคนละโครงสร้างนั้น การสะสมความร้อนนั้นสามารถสะสมไว้ได้โดยการดูดเอาความร้อนหรือพลังงานเข้ามาช่วยให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างจากลักษณะการจัดเรียงผลึกแบบหนึ่งไปเป็นการจัดเรียงผลึกอีกแบบที่มีความเสถียร ณ อุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งค่าความร้อน (Latent heat) ที่ได้จากกรณีนี้ ยังเป็นพลังงานที่น้อยกว่าพลังงานจากการเปลี่ยนเฟสจากของแข็งไปเป็นของเหลว แต่สำหรับกรณีของการเปลี่ยนแปลงจากของแข็งไปเป็นของแข็งนั้นมีการออกแบบวัสดุที่ใช้ในการจัดเก็บง่ายกว่า

2.3.2 ประเภทของ PCM

ปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเรื่อง PCM จำนวนมากเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้าน แต่ปัจจัยหลักที่ควรมีการศึกษาคือ ช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวของ PCM เพื่อจะได้นำมาใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการใช้ โดยการศึกษาในครั้งนี้จะขออธิบายในรายละเอียดของ PCM เพียงบางชนิดที่เป็นที่รู้จักและมีการนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย

คุณสมบัติพื้นฐานของ PCM ที่จำเป็นต่อการสะสมพลังงาน

1. มีค่าความร้อนของการหลอมเหลวและค่าคงที่ของการเก็บพลังงานสูง
2. ช่วงของจุดหลอมเหลวเหมาะสมกับลักษณะงานที่จะนำไปใช้
3. ใช้งานง่ายในที่สภาพความดันบรรยากาศ
4. มีความเสถียรและทนทานต่อการเสื่อมสภาพ
5. ไม่เป็นพิษทั้งต่อสิ่งแวดล้อมและระบบที่ใช้งาน
6. สามารถหลอมและแข็งตัวได้โดยไม่มีการเสื่อมสภาพเมื่อมีการใช้งานเป็นระยะเวลานาน
7. ความแตกต่างของปริมาตรเมื่อหลอมเหลวและแข็งตัวแตกต่างกันไม่มาก
8. สามารถนำความร้อนได้ดี
9. ราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่น

พาราฟิน (Paraffin)

พาราฟินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสูตรโมเลกุล C_nH_{2n+2} เช่น n-Triacontanen - Octadecane และ Paraffin wax เป็นต้นโดยพาราฟินที่มี C_5-C_{15} จะมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ถ้าจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลมากกว่า 15 จะมีเฟสเป็นของแข็ง (wax) พาราฟินเป็น PCM ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน พาราฟินมีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 23-67 องศาเซลเซียส เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม [3]

เกลือไฮเดรต (Salt Hydrate)

เกลือไฮเดรตเป็น PCM ชนิดแรกที่ได้มีการศึกษาทดลองเพื่อนำมาใช้งานด้านการสะสมความร้อน เกลือไฮเดรตประกอบด้วย โมเลกุลของเกลือกับน้ำในโครงสร้างผลึก เช่น $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ $\text{LiClO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นต้น เกลือไฮเดรตสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดและราคาถูก และมีช่วงของจุดหลอมเหลวชัดเจน (sharp) และมีค่าการนำความร้อนสูงเมื่อเทียบกับ PCM ชนิดอื่น ซึ่งคุณสมบัตินี้ช่วยให้การกระจายตัวหรือการถ่ายเทความร้อนในระบบให้ดีขึ้น มีค่าความร้อนของการหลอมเหลวสูงซึ่งทำให้มีการใช้ PCM ในปริมาณที่น้อยลง เมื่อเกลือไฮเดรตมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยซึ่งทำให้ง่ายต่อการออกแบบวัสดุจกเก็บในระบบ แต่ในขณะเดียวกันเนื่องจากว่าเกลือไฮเดรตนั้นประกอบไปด้วยเกลือและน้ำในโมเลกุล ทำให้เกิดความไม่เสถียรทางเคมี เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดการลดสมรรถนะ (degradation) เนื่องจากการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุล อีกทั้งยังมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา คุณสมบัติทางความร้อน [3]

ยูเทกติก (Eutectics)

สารประกอบยูเทกติก นั้นประกอบด้วยองค์ประกอบที่มีจุดหลอมเหลวต่ำๆ ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เช่น $\text{LiClO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_4\text{Cl} \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{NaCl} \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ เป็นต้นโดยกระบวนการสังเคราะห์วัสดุชนิดนี้ทำได้โดยการนำเอาสารองค์ประกอบมาผสมกันแล้วทำการตกผลึกร่วมกัน สารประกอบยูเทกติกเมื่อที่การนำมาใช้งานโดยการหลอมเหลวแล้วทำให้แข็งตัววัสดุองค์ประกอบก็ไม่แยกจากกัน เนื่องจากผลึกนั้นมีการเกาะกันอย่างเหนียวแน่นซึ่งยากที่จะแยกออกจากกันได้ นอกจากการประยุกต์ใช้สารประกอบยูเทกติกในเรื่องการสะสมความร้อนแล้ว เราก็สามารถอาศัยคุณสมบัติเดียวกันนี้ในการสะสมความเย็นด้วย เช่น ใช้ในรถขนอาหารสด ไอศกรีม หรือวัคซีน เป็นต้น [3]

ครอสลิงค์โพลีเอทิลีน (Cross-linked polyethylene)

ครอสลิงค์โพลีเอทิลีนนั้นคล้ายกันกับโพลีเอทิลีนที่ใช้ทำขวดพลาสติกต่างๆไปเนื่องจากมีครอสลิงค์ เพื่อป้องกันการหลอมกลายเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน เมื่อครอสลิงค์โพลีเอทิลีน ได้รับความร้อนหรือสูญเสียความร้อน จะมีการสลายหรือเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของตัวเอง ซึ่งเป็นผลดีต่อการออกแบบวัสดุจัดเก็บ ครอสลิงค์โพลีเอทิลีน นั้นมีความเสถียรมากกว่า liquid - solid PCM และสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องมีการใส่ในภาชนะบรรจุหรือวัสดุจัดเก็บ ครอสลิงค์โพลีเอทิลีน มีราคาแพงกว่า PCM ชนิดอื่น และการใช้งานนั้นจะต้องใช้งานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 110-140 องศาเซลเซียส ซึ่งยากต่อการนำไปประยุกต์ใช้ จึงส่งผลให้ปัจจุบันไม่ค่อยมีการนำวัสดุชนิดนี้มาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย [3]

โพลีแอลกอฮอล์ (Poly alcohol)

โพลีแอลกอฮอล์นั้นสามารถสะสมพลังงานความร้อนได้โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจาก Heterogeneous state ที่เป็นสภาพที่อุณหภูมิต่ำ ไปเป็น face-center cubic สารประกอบชนิดนี้สามารถใช้ในการสะสมพลังงานได้โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเพียงเล็กน้อยทนทานต่อการเสื่อมสภาพ ซึ่งข้อดีเหล่านี้ก็มาพร้อมกับข้อเสีย คือ มีสภาพการนำความร้อนต่ำมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิค่อนข้างสูงและราคาแพง [3]

2.3.3 ระบบสะสมความร้อน

การเก็บสะสมพลังงาน ในรูปของพลังงานความร้อนแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การเก็บรักษาพลังงานความร้อนแบบสัมผัส (sensible heat) โดยใช้ตัวกลางที่เป็นของแข็ง เช่น ก้อนหิน หรือของเหลว เช่น น้ำ การเก็บรักษาในรูปของความร้อนแฝง (latent heat) โดยความร้อนถูกสะสมในสารตัวกลาง โดยมีการเปลี่ยนเฟส และเก็บรักษาในรูปของพลังงานเคมี (chemical energy) ซึ่งพลังงานความร้อนจะถูกนำมาใช้เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมี

การพิจารณาเลือกประเภทของสารตัวกลางในการเก็บสะสมพลังงาน ประกอบด้วย

- ความจุความร้อน คือความสามารถของสารตัวกลางในการเก็บสะสมพลังงานความร้อน สารใดที่มีความจุความร้อนสูงหรือขนาดปริมาตรของสารตัวกลางมีปริมาตรน้อยทำให้ถึงมีขนาดกะทัดรัด
- อุณหภูมิทำงาน ในบางครั้งเรียกว่าอุณหภูมิของการเก็บรักษาความร้อน การเลือกสารตัวกลางที่เหมาะสม อุณหภูมิในการประจุ (charge) พลังงานความร้อนและอุณหภูมิในการจ่ายพลังงานความร้อนไปใช้ (discharge) ควรต้องอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ
- ความสามารถประจุพลังงานและจ่ายพลังงานออกมาได้เร็วความเสถียรโดยไม่เสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อมีการใช้งานเป็นประจำ และสมรรถนะในการประจุและจ่ายพลังงานออกมาใช้ค่อนข้างคงที่
- มีพลังงานความร้อนสูญเสียสู่สิ่งแวดล้อมต่ำ
- ไม่กัดกร่อน ไม่เป็นพิษ หาง่าย และราคาถูก

1 องค์ประกอบของระบบสะสมความร้อน

- 1.) ตัวกลางที่ใช้ในการเก็บรักษาความร้อน ต้องเลือกตัวกลางให้เหมาะสม ให้มีขนาดกะทัดรัด โดยที่สามารถเก็บรักษาพลังงานความร้อนได้เป็นปริมาณมากและมีการสูญเสียความร้อนต่ำ
- 2.) อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน ซึ่งทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากแหล่งที่มาของความร้อนไปยังตัวกลางที่ใช้เก็บรักษาความร้อน และถ่ายเทออกจากตัวกลางเมื่อต้องการใช้ความร้อนนั้น
- 3.) ภาชนะสำหรับบรรจุและฉนวนป้องกันการใช้ความร้อนสูญเสียสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งจะคอยควบคุมอุณหภูมิของสารตัวกลางที่เก็บให้มีอุณหภูมิคงที่ เพื่อรอการใช้งาน

2 การเก็บสะสมพลังงานความร้อนในรูปความร้อนสัมผัส

พลังงานความร้อนในรูปของความร้อนถูกสะสมในสารตัวกลางโดยอุณหภูมิของสารตัวกลางเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยสารตัวกลางเป็นของแข็งหรือของเหลว โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะเกิดขึ้น และเมื่อต้องการใช้พลังงาน พลังงานความร้อนที่สะสมไว้ถูกจ่ายออกและอุณหภูมิของสารตัวกลางที่ใช้ในการเก็บสะสมพลังงานมีค่าลดลง ในการเลือกสารตัวกลางในรูปความร้อนสัมผัสพิจารณาที่ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat capacity) และช่วงอุณหภูมิใช้งาน ซึ่งมีผลต่อการเลือกขนาดของถังเก็บสะสมความร้อน สารตัวกลางที่นิยมใช้เมื่ออุณหภูมิใช้งานไม่สูงมากนัก (<150°C) ได้แก่ น้ำและก้อนกรวด เนื่องจากมีราคาถูก หาง่าย แต่ที่อุณหภูมิปานกลางหรืออุณหภูมิสูงมักจะใช้ น้ำมันที่ทนอุณหภูมิสูง (heat transfer oil)

3 ตัวเก็บสะสมพลังงานในรูปความร้อนแฝง

การเก็บสะสมพลังงานแบบนี้อยู่ในรูปความร้อนแฝง โดยนำพลังงานความร้อน มาให้สารตัวกลางเปลี่ยนสถานะ ส่วนใหญ่อยู่ในลักษณะเปลี่ยนจากของแข็งเป็นของเหลว และเมื่อต้องการนำพลังงานความร้อนมาใช้งาน มีของไหลดึงความร้อนจากสารตัวกลาง ซึ่งเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลับคืนเป็นของแข็ง สารทำงานที่นิยมใช้กับชุดเก็บสะสมความร้อนแบบนี้ ได้แก่ พาราฟิน และซีดีต่างๆ ข้อดีของ

การเก็บสะสมความร้อนในรูปแบบความร้อนแฝง คือมีขนาดกะทัดรัด เพราะความร้อนแฝงของสารทั่วไป มักมีค่าความร้อนสัมผัสมาก

วิธีการเก็บสะสมพลังงานความร้อนมีหลายรูปแบบและวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ คือ การเปลี่ยนสถานะของสารทำงาน เช่น น้ำ เกลือ ซึ่ผึ้งพาราฟิน การสะสมพลังงานทำได้ด้วยการให้ความร้อนแก่สารทำงานที่มีสถานะเป็นของแข็ง จนถึงจุดที่หลอมเหลวของสารนั้น สารนั้นจะเปลี่ยนเป็นของเหลว และเก็บสะสมพลังงานความร้อนไว้ในรูปของความร้อนแฝง (Latent Heat) เมื่อเราต้องการความร้อน ก็ใช้วิธีการย้อนกลับ คือ การทำให้มีการถ่ายเทความร้อนออกจากสารสู่แหล่งที่เราต้องการพลังงานความร้อนจนสารนั้นกลับมาเป็นสถานะของแข็ง อุณหภูมิของสารขณะเปลี่ยนสถานะคงที่ ทำให้การควบคุมการทำงานง่าย [4, 5] ตัวอย่างของคุณสมบัติของสารสะสมความร้อนแสดงในตารางที่ 1 คุณสมบัติที่ดีของการเลือกสารที่นำมาใช้งาน ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ราคาค่าใช้จ่ายในการสั่งนำมาใช้ไม่สูง
- ในการเปลี่ยนสถานะต้องมีค่าความร้อนแฝง (Latent Heat) สูง คือ มีการเก็บสะสมพลังงานความร้อนไว้ได้มาก
- หาง่ายและมีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการ
- สามารถเกิดกระบวนการย้อนกลับได้หลายๆรอบ โดยที่จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพลดลง
- การเตรียมสารทำได้ง่าย
- เป็นสารที่ไม่เกิดอันตราย เช่น ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟง่าย ไม่เกิดปฏิกิริยากัดกร่อน
- สามารถเก็บไว้ในภาชนะที่ส่งผ่านความร้อนเข้าออกได้

ตาราง 1 คุณสมบัติของสารสะสมพลังงานความร้อน [4]

สารเก็บสะสมพลังงาน	ช่วงอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิลอมเหลว (°C)	ค่าความร้อนแฝง (kJ/kg)
น้ำ	0-100	0	335
ซึ่ผึ้งพาราฟิน	0-100	20-60	140-160
เกลือไฮเดรต	0-100	30-50	170-270

ระบบสะสมพลังงานความร้อนที่ไม่ต้องการอุณหภูมิการทำงานจากระบบสูงมากนักอย่างเช่นเครื่องฟักไข่ ที่ต้องการอุณหภูมิที่ 36-38°C ดังนั้นซึ่ผึ้งพาราฟินจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสารตัวกลางในการสะสมพลังงานความร้อนเพราะ ข้อดีของซึ่ผึ้งพาราฟิน คือ นอกจากจะมีราคาถูกแล้ว ยังมีคุณสมบัติทางเคมีค่อนข้างคงที่ เปลี่ยนสถานะกลับไปกลับมาได้หลายครั้งโดยที่ประสิทธิภาพการสะสมความร้อนยังเท่าเดิม เก็บสะสมพลังงานความร้อนไว้ในปริมาณสูงเนื่องจากค่าความร้อนแฝงในการหลอมละลายสูง และคุณสมบัติอื่นๆอีกมากมาย แต่ข้อเสียคือ มีแนวโน้มที่จะทำปฏิกิริยากับทองแดง แต่สามารถแก้ไขได้โดยการ เพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน คือ การติดครีป (Fin) เพิ่มเข้าไปที่ถังเก็บสะสมความร้อน

การหาปริมาณความร้อนที่สารตัวกลางประจุ โดยมีการเปลี่ยนสถานะของสารตัวกลางจากของแข็งกลายเป็นของเหลว ในกรณีของการพิจารณาหาปริมาณความร้อนที่สารตัวกลางจ่ายได้ สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 3 โดยมีการจ่ายความร้อนเป็น 2 ขั้นตอนคือ ในรูปแบบของความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัส

$$Q_c = m_{parafin} \left(\int_{T_1}^{T_f} C_{ps} dT + \Delta H_f + \int_{T_f}^{T_2} C_{pl} dT \right) \quad (3)$$

เมื่อ Q_c = ความร้อนทั้งหมดที่ประจุได้
 $m_{parafin}$ = มวลของสารตัวกลางที่เก็บความร้อน
 C_{ps}, C_{pl} = ความร้อนจำเพาะของสารตัวกลาง เมื่อเป็นของแข็งและของเหลวตามลำดับ
 ΔH_f = ความร้อนแฝงในการหลอมเหลวของสารตัวกลาง
 T_1, T_2 = อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดของการเปลี่ยนแปลง ตามลำดับ
 T_f = อุณหภูมิหลอมเหลวของสารตัวกลาง

$$Q_d = m_{parafin} \left(\int_{T_f}^{T_2} C_{pl} dT + \Delta H_f + \int_{T_1}^{T_f} C_{ps} dT \right) \quad (4)$$

เมื่อ Q_d = ความร้อนทั้งหมดที่จ่ายได้
 $m_{parafin}$ = มวลของสารตัวกลางที่ใช้เก็บความร้อน
 C_{pl}, C_{ps} = ความร้อนจำเพาะของสารตัวกลาง เมื่อเป็นของเหลวและของแข็ง
 ΔH_f = ความร้อนแฝงในการหลอมเหลวของสารตัวกลาง
 T_1, T_2 = อุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุด (°C)
 T_f = อุณหภูมิหลอมเหลวของสารตัวกลาง (°C)

สำหรับการพิจารณาประสิทธิภาพรวมของระบบสะสมความร้อน คำนวณได้จาก สมการที่ 5

[6]

$$\eta_{storage} = \frac{mC_p(T - T_o)}{mC_p(T_\infty - T_o)} \quad (5)$$

เมื่อ mC_p คือ ความจุความร้อนรวมของสารตัวกลางในระบบสะสมพลังงาน
 T, T_o คือ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของสารตัวกลางในขณะที่มีการจ่ายความร้อน (°C)
 T_∞ คือ อุณหภูมิสูงสุดเมื่อสารตัวกลางได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสุดท้าย (°C)

2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน [7]

หลักการถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบ ได้แก่ การนำความร้อน (conduction heat transfer) การพาความร้อน (convection heat transfer) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation heat transfer) โดยมีรายละเอียดดังนี้

การนำความร้อน

การถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางแบบนำความร้อนคำนวณจากกฎของฟูเรียร์ (Fourier's law) ซึ่งกล่าวว่า การนำความร้อนผ่านตัวกลางในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อน (Q_x) ผ่านตัวกลางในทิศทางนั้นเป็นปริมาณโดยตรงกับพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหลของความร้อน (A) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางในทิศทางดังกล่าว ($\frac{dT}{dx}$) สำหรับการนำความร้อนในทิศทาง x ภายใต้อุณหภูมิคงตัว (steady state) อุณหภูมิในตัวกลาง $T = T(x)$ จากกฎของฟูเรียร์

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (6)$$

โดยที่ k คือ ค่าคงที่สัดส่วน ซึ่งเรียกว่า ค่าสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) ของตัวกลาง มีหน่วยเป็น W/mK

การพาความร้อน

การพาความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิววัสดุกับของไหล ผลการเคลื่อนไหวของของไหลทำให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัมซึ่งจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของวัสดุ นั้น h (W/m^2K) พิจารณาการพาความร้อนจากผิวของแข็งพื้นที่ A_s อุณหภูมิผิว T_s ขณะของไหล ไหลผ่านด้วยความเร็ว U_∞ และอุณหภูมิ T_∞ คงที่ พลิกซ์ความร้อนเฉพาะที่คำนวณเป็นไปตามกฎการทำให้เย็นตัวของนิวตัน (Newton's law cooling)

$$q''_{conv} = h(T_a - T_\infty) \quad (7)$$

โดยที่ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่ W/mK ดังนั้นจำคำนวณอัตราการพาความร้อนทั้งหมดบนพื้นผิว A_s จาก

$$Q_{conv} = h_m A_s (T_a - T_\infty) \quad (8)$$

โดยที่ h_m คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (average convection coefficient) สำหรับแผ่นระนาบ (flat plate) ยาว L จะพบว่า

$$h_m = 1/L \quad (9)$$

การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากผิวตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกผิวตัวกลางหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน พลังงานของการแผ่รังสีถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) หรือในรูปของโฟตอนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถเกิดในสุญญากาศได้ การแผ่รังสีแลกเปลี่ยนกันระหว่างพื้นผิว A อุณหภูมิ T_s มีสภาพเปล่งรังสี ϵ กับสิ่งแวดล้อมโดยรอบซึ่งมีอุณหภูมิกองที่ T_{sur} อัตราการแผ่รังสีสุทธิบนพื้นผิว A สามารถเขียนสมการอย่างง่ายสำหรับคำนวณการแผ่รังสีจะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$Q_{rad,net} = h_r A (T_s - T_{sur}) \quad (10)$$

โดยที่ h_r คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนมีหน่วยเป็น (W/m²K) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$h_r = \epsilon \sigma \left(T_s + T_{sur} \right) \left(T_s^2 + T_{sur}^2 \right) \quad (11)$$

เมื่อช่องว่างระหว่างพื้นผิว A กับสิ่งแวดล้อมเป็นก๊าซ จะมีการพาความร้อนเกิดร่วมกับการแผ่รังสีความร้อนด้วย ดังนั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดสุทธิออกจากพื้นผิว A คำนวณจาก

$$Q_{tot} = Q_{conv} + Q_{rad,net} \quad (12)$$

$$Q_{tot} = hA(T_s - T_{\infty}) + \epsilon A \sigma \left(T_s^4 - T_{sur}^4 \right) \quad (13)$$

2.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ภากร ปัทมรัตน์ [8] ได้ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุสะสมความร้อน (Phase Change Material; PCM) โดยเก็บในรูปของความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว โดยทำการทดสอบจริงกับแบบจำลองเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของ PCM ที่ใช้ระหว่างพาราฟินกับน้ำมันก๊าด พบว่า PCM ในแต่ละอัตราส่วนมีลักษณะการคายความร้อนให้กับพื้นที่รับความร้อน (Space heating) แตกต่างกันค่อนข้างน้อย คือ เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของพื้นที่รับความร้อนค่อยๆ ลดลงแทบไม่เห็นความแตกต่าง ดังนั้น หากนำต้องการนำวัสดุสะสมความร้อนไปใช้งานควรคำนึงถึงหลักทางเศรษฐศาสตร์หรือราคาต้นทุน ควรเลือกใช้วัสดุสะสมความร้อนที่ประกอบด้วยพาราฟินกับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 2:1

กันยรัตน์ โทละสุดและคณะ [9] ศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความจุ 2.5 ลูกบาศก์เมตร ให้สามารถเพิ่มระยะเวลาการสะสมความร้อนเพื่อใช้ในการอบในเวลาที่ไม่ได้มีแสงแดดโดยการเลือกใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสที่เหมาะสม จำนวน 40 กิโลกรัมบรรจุไว้ภายในของมาบรับแสง เพื่อช่วยในการเก็บรักษาความร้อนในเครื่องอบสมุนไพรพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นควบคู่กับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการศึกษาถึงคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเปลี่ยนเฟสที่มาจากพาราฟินกับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 2:1 โดย

น้ำหนัก มีจุดหลอมเหลว 40 องศาเซลเซียส ทำให้เครื่องอบสามารถรักษาอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ได้จนถึง 20.00 น. พบว่าการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบโดยลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้ร้อยละ 8.02

ณัฐพล รุ่งประแสงและคณะ [10] จากผลการศึกษาพบว่า ขนาดของระบบเครื่องอบแห้งในการอบแห้งกล้วยที่เหมาะสมกับประเทศไทย คือ ขนาดถังสะสมพลังงานความร้อนบรรจุพาราฟินจำนวน 100 kg, พื้นที่รางรับแสงพาราโบลิกขนาด 2.31 m² จำนวน 2 ราง, พื้นที่ของท่อในการแลกเปลี่ยนความร้อนในถังพาราฟินมีพื้นที่ขนาด 4 m², อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสม 0.13 kg/s สามารถอบกล้วยได้จำนวน 105 kg ต่อครั้ง ได้กล้วยแห้งจำนวน 45 kg และ จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ ของเครื่องอบแห้งที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะที่เหมาะสม สามารถคืนทุนเครื่องอบแห้งได้ในระยะเวลา 1.33 ปีระบบการอบแห้งประเภทนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ที่มีอุณหภูมิการอบแห้งไม่เกิน 60 °C และข้อดีของระบบนี้คือสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่ต้องอาศัยเชื้อเพลิงภายนอก ซึ่งเป็นการช่วยประเทศในการประหยัดพลังงานอีกทางหนึ่งด้วย

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด [11] ได้ทำการศึกษาลดลงของประสิทธิภาพรายปีของเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 ชนิด คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si และ p-Si และตัวแปรที่มีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si จะมีการลดลงของประสิทธิภาพรายปีมากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si และความต้านทานอนุกรมมีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าความต้านทานขั้ว

ฐิติพร เจาะจง [12] ได้ทำการศึกษาลดลงของประสิทธิภาพรายปีของเซลล์แสงอาทิตย์หลังการติดตั้งภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด ได้แก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอน (p-Si) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดซิลิกอน (HIT) โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลทำให้มีการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการศึกษาผลของสเปกตรัมต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำค่ารังสีดวงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ และพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ในแต่ละปี มาพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ในแต่ละปี รวมถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

D.M. Dymond and K.V. Garzolim [13] แห่งศูนย์วิจัยพลังงานออสเตรเลีย ได้ทำการศึกษาถึงการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันมาเก็บรักษาในถังเก็บรักษาความร้อนโดยใช้สารเปลี่ยนเฟสเป็นสารสะสมความร้อนเพื่อใช้ในเรือนเพาะชำในเวลากลางคืน โดยใช้ Calcium Chloride Hexahydrate เป็นสารเปลี่ยนเฟส ซึ่งมีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวประมาณ 27 องศาเซลเซียส และใช้ High Density Polyethylene เป็นสารห่อหุ้ม โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการประจุและจ่ายความร้อนจากการวิจัยพบว่าเรือนเพาะชำควรมีปริมาณความต้องการความร้อนไม่ต่ำกว่า 500 kWh มีผลทำให้อัตราการคืนทุนของระบบอยู่ที่การใช้งานประมาณ 500 วัน ถึง 1,000 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของถังเก็บความร้อน

Fouda และคณะ [14] แห่งสำนักงานวิจัยแห่งประเทศแคนาดา ได้ศึกษาถึงการเก็บรักษาพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ในรูปความร้อนแฝงโยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนโดยตรงโยใช้เกลือไฮเดรตเป็นสารตัวกลาง จากการวิจัยพบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น จะมีผลทำให้การ

ถ่ายเทความร้อนลดต่ำลง และเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของสารที่ใช้ถ่ายเทความร้อน จะทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น

Jurinak และคณะ [15] แห่งสถาบันเทอร์โมไดนามิกส์ สตูดการ์ด เยอรมันนี้ ได้ทำวิจัยทดลองการเก็บรักษาพลังงานความร้อน โดยใช้สารแบเรียม ไฮดรอกไซด์ ขนาด 25 kWh ที่กำลังงาน 2-6 kW เป็นการทดลองการเก็บรักษาพลังงานความร้อนในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (78 องศาเซลเซียส) โดยระยะเวลาการทดลอง 10 เดือน 40 รอบ ด้วยอัตราส่วนพลังงานประจุให้ระบบขนาดต่างๆ 2-6 kW จากผลการทดลองพบว่า แบเรียมไฮดรอกไซด์ ขนาด 250 ลิตร ถ่ายเทพลังงานความร้อนทำให้อุณหภูมิของการทำงานารอยู่ในช่วง 66-77 องศาเซลเซียส เก็บพลังงานขนาด 125 kWh/m³



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมาย คือ วิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดอุ่นน้ำร้อนจากพาราฟิน (PPH) ซึ่งมีพาราฟินเป็นวัสดุเปลี่ยนสถานะ (PCM) และเป็นตัวให้ความร้อนในชุด PPH โดยมีขั้นตอนของการดำเนินงานดังนี้

3.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบสะสมความร้อนที่ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการออกแบบเพื่อนำมาใช้งานจริง

3.2 ออกแบบและสร้างระบบสะสมความร้อนที่ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ

พาราฟินเป็นวัสดุเปลี่ยนสถานะและใช้เป็นตัวกลางสำหรับเก็บความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวรับรังสีแบบหลอดสุญญากาศ (SWH) ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากทองแดง จะถูกใช้ในชุด PPH เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนหรือน้ำเย็นกับพาราฟิน ดังนั้นจากการคำนวณชุด PPH จะได้ปริมาตร 0.012 m^3 และท่อทองแดงมีความยาว 1.5 m ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงชุดอุ่นน้ำร้อนจากพาราฟิน (PPH)

ชุด PPH เชื่อมต่อกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวรับรังสีแบบหลอดสุญญากาศ ถึงเก็บน้ำร้อนวางอยู่ในแนวนอนเหนือตัวรับรังสีแบบหลอดสุญญากาศ ส่วนชุด PPH ที่ออกแบบมาถูกวางไว้ด้านบนของถังเก็บน้ำร้อน ทั้งสองถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากน้ำร้อนและความร้อนจากพาราฟิน ดังแสดงในรูปที่ 4

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

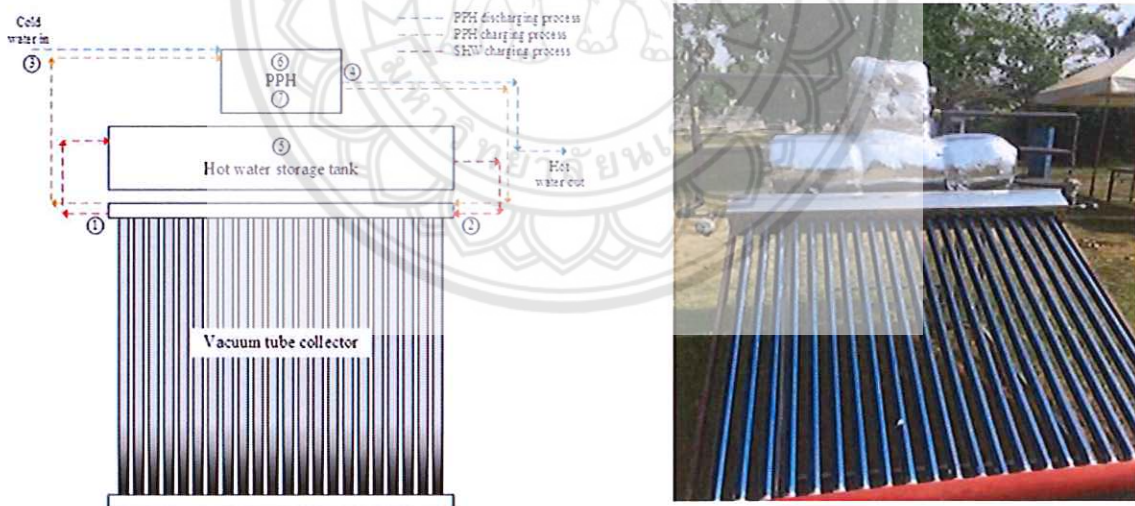
ขั้นตอนการทดลองของระบบ SWH ร่วมกับชุด PPH มีขั้นตอนการดำเนินการสามกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการชาร์จ SWH, กระบวนการชาร์จชุด PPH และกระบวนการดิสชาร์จชุด PPH เป็นขั้นตอนหลักสามขั้นตอนเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของชุด PPH และระบบ SWH

3.3.1 กระบวนการชาร์จระบบ SWH

ตัวรับรังสีแบบหลอดสุญญากาศขนาด 2 m² ช่วยดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำที่อยู่ภายในหลอด น้ำเย็นที่อยู่ภายในหลอดจะดูดซับความร้อนและไหลเข้าสู่ถังน้ำร้อนด้วยวิธีการไหลแบบธรรมชาติ กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นในช่วงเวลา 8.30 - 14.30 น. กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการชาร์จของระบบ SWH มีอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บประมาณ 70 องศาเซลเซียส

3.3.2 กระบวนการชาร์จชุด PPH

กระบวนการนี้เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการชาร์จระบบ SWH ซึ่งน้ำร้อนจากถังเก็บมีอุณหภูมิคงที่ จากนั้นนำน้ำร้อนที่ผลิตจากตัวรับรังสีไหลผ่านชุด PPH ในช่วงเวลา 14.30 - 16.30 น. พาราฟินที่บรรจุอยู่ในชุด PPH เริ่มละลายโดยการดูดซับความร้อนจากน้ำร้อน กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการชาร์จชุด PPH อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจนพาราฟินละลายเป็นของเหลว ความร้อนจะถูกสะสมไว้ในชุด PPH ปริมาณความร้อนที่กักเก็บอยู่ในชุด PPH ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ดูดซึมโดยตัวรับรังสีแบบหลอดสุญญากาศ



รูปที่ 4 แสดงระบบ SWH และชุด PPH

3.3.3 กระบวนการดิสชาร์จชุด PPH

กระบวนการดิสชาร์จชุด PPH จะเริ่มเริ่มขึ้นเมื่อมีการใช้น้ำร้อนในเวลากลางวัน ในกระบวนการนี้ น้ำเย็นที่อุณหภูมิปกติจากถังเก็บจะไหลผ่านชุด PPH ซึ่งจะเริ่มต้นกระบวนการดิสชาร์จพาราฟินโดยอัตโนมัติ กระบวนการดิสชาร์จนี้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าพาราฟินจะกลายเป็นของแข็ง

ในการทดลองนี้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจะอยู่ในตำแหน่งต่างๆ ของทั้งระบบ SWH และชุด PPH ชนิดข้อมูลที่แตกต่างกันจะแสดงในรูป 4 และชนิดข้อมูลจะกล่าวถึงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าต่างๆ ที่มีการเก็บข้อมูลในระบบ

No.	Positions	Parameters
1	Solar Collector	T_{charge} (water out)
2		$T_{\text{discharge}}$ (water in)
3	PPH	T_{in} (Upper)
4		T_{out} (Upper)
5	Tank	T_{intanki} (Middle)
6	Paraffin	T_{paraffin} (Upper)
7		T_{paraffin} (Lower)
8	Environment	T_A (Ambient)
9		S_1 (Solar radiation)

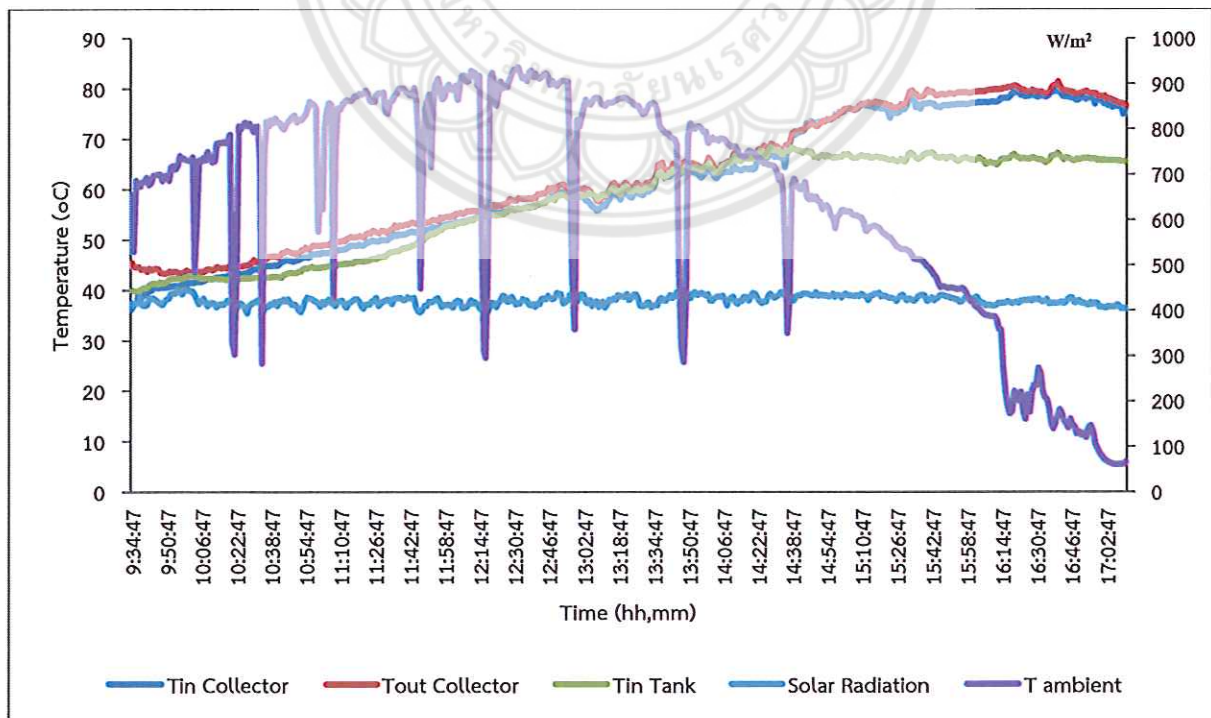
บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิน้ำร้อนของระบบ SWH ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยจะทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่เวลา 8:30 น. - 14:30 น. ในกระบวนการชาร์จระบบ หลังจากนั้นในช่วงเวลา 14.30 - 16.30 น. ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิของชุด PPH ในกระบวนการชาร์จชุด PPH จากนั้นกระบวนการดีสชาร์จชุด PPH ใช้เวลาในกระบวนการจำนวน 2 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยจะขออภิปรายผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาในระบบ SWH

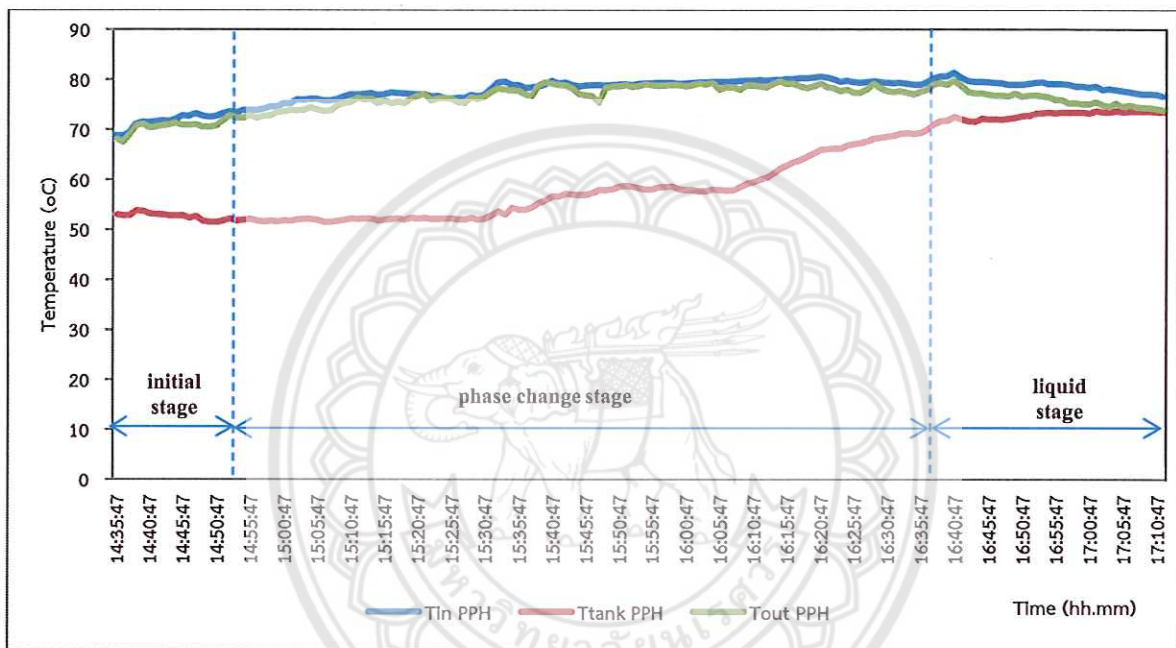
ระบบสะสมพลังงานความร้อนที่นำเสนอร่วมกับชุด PPH ได้รับการพัฒนาและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานที่สวนพลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงในตัวรับรังสีดวงอาทิตย์และถังน้ำร้อนของระบบ SWH จะสังเกตได้ตลอดทั้งวันตามการเปลี่ยนแปลงของรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิภายในถังเก็บจะแปรผันกับรังสีดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวันดังแสดงไว้ในรูปที่ 5 จากรูปสังเกตได้ว่าอุณหภูมิขาออกสูงสุดของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์คือ 81.4 °C และ 69.3 °C เป็นอุณหภูมิสูงสุดภายในถังน้ำร้อนของระบบ SWH



รูปที่ 5 แสดงค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาในระบบ SWH

4.2 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการชาร์จในชุด PPH

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชุด PPH จะสังเกตได้เป็น 2 กระบวนการ คือ การชาร์จและดีสชาร์จ จากรูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิขาเข้า ขาออก และอุณหภูมิภายในชุด PPH ในขณะที่ทำการกระบวนการชาร์จ และแสดงเวลาขั้นตอนต่างๆ จากรูปดังกล่าวสังเกตเห็นได้ว่าระยะเวลาในการเปลี่ยนสถานะของพาราฟินประมาณ 2 ชั่วโมงจากเวลา 2:50 - 4:35 น. หลังจากนั้นพาราฟินจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวโดยสมบูรณ์ อุณหภูมิสูงสุดที่ขาเข้า ขาออกและอุณหภูมิภายในชุด PPH คือ 68.3 °C, 73.7 °C และ 79.8 °C ตามลำดับ



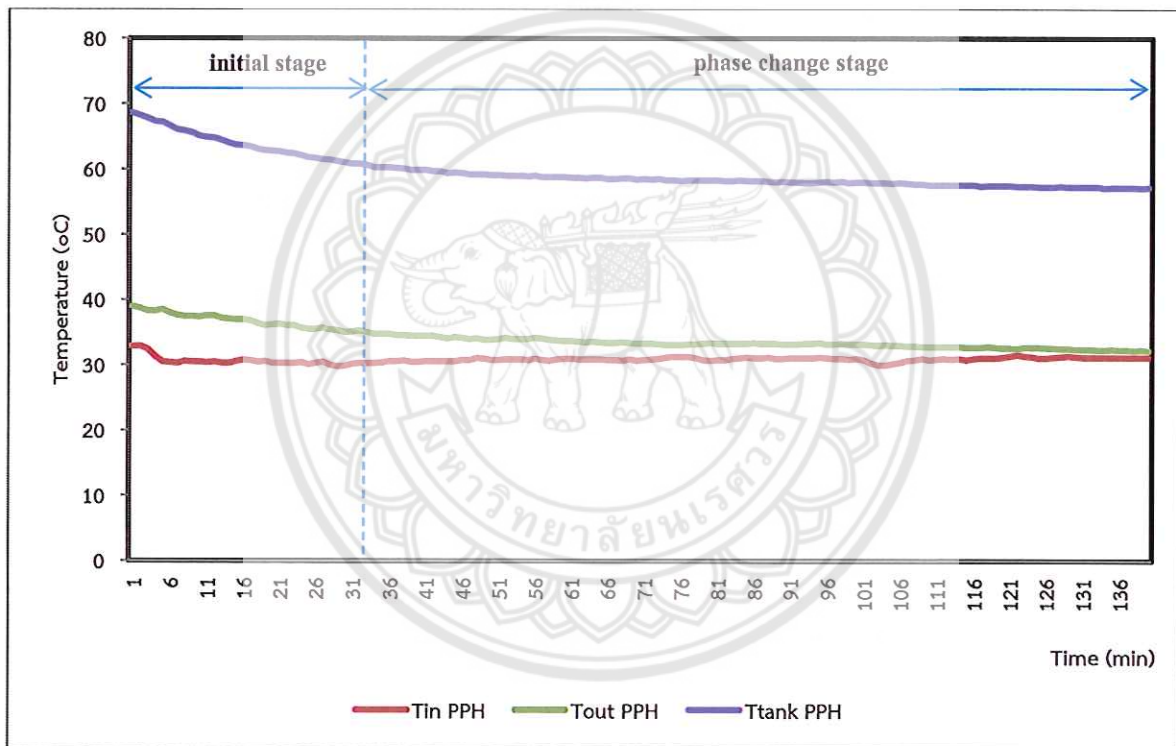
รูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิในกระบวนการชาร์จในชุด PPH

4.3 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการดีสชาร์จในชุด PPH

เวลาในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งและเวลาที่ใช้สำหรับขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะทั้งหมดเพื่อถ่ายเทเอาความร้อนจากพาราฟินออกมา ดังแสดงในรูปที่ 7 กระบวนการดีสชาร์จมีอุณหภูมิสูงสุดที่ด้านขาเข้า ขาออก และด้านในของชุด PPH คือ 32.9 °C 39 °C และ 68.3 °C ตามลำดับ ขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการดีสชาร์จจะดำเนินต่อไปประมาณ 33 นาทีและหลังจากนั้นพาราฟินจะเริ่มเปลี่ยนสถานะจากสถานะของเหลวไปเป็นของแข็งโดยปล่อยให้ น้ำเย็นผ่านชุด PPH ซึ่งใช้เวลาเกือบ 1.30 ชม. ค่ากำลังงานและประสิทธิภาพของชุด PPH ระหว่างกระบวนการชาร์จและกระบวนการดีสชาร์จจะมีค่าดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่ากำลังงานและประสิทธิภาพของชุด PPH

Process	Flow rate (kg/s)	Mean Power (kW)	Energy (kW)	Efficiency (%)
Charging	0.03	0.18	0.11	60
Discharging	0.005	0.06	0.05	76



รูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิในกระบวนการดีสชาร์จในชุด PPH

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชุด PPH ที่มีปริมาตร 0.012 m^3 และมีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ SWH และชุด PPH จะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดขาออกของตัวรับรังสีอาทิตย์คือ $63 \text{ }^\circ\text{C}$ ประสิทธิภาพของชุด PPH ร่วมกับระบบ SWH ที่ทำการทดสอบในระหว่างกระบวนการชาร์จและดีสชาร์จ อุณหภูมิสูงสุดภายในและทางออกที่ทดสอบในระหว่างกระบวนการชาร์จของชุด PPH คือ $73.3 \text{ }^\circ\text{C}$ และ $79.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ตามลำดับ อุณหภูมิสูงสุดภายในที่ทดสอบในระหว่างกระบวนการดีสชาร์จของชุด PPH คือ $68.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ประสิทธิภาพของชุด PPH ระหว่างกระบวนการชาร์จและดีสชาร์จคือ 60% และ 76% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการสะสมความร้อนของชุด PPH ร่วมกับระบบ SWH มีประสิทธิภาพในระหว่างกระบวนการดีสชาร์จ จากผลการวิจัยข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าชุด PPH สามารถเพิ่มสมรรถนะของถังเก็บน้ำร้อนและสามารถลดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนและน้ำเย็น ชุด PPH สามารถใช้เพื่ออุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำและกระบวนการให้ความร้อนอื่น ๆ ในธุรกิจขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ (SML) และแนวคิดนี้สามารถลดต้นทุนการผลิตน้ำร้อนในอุตสาหกรรม SML ได้อย่างเห็นได้ชัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุขฤดี สุขใจ และคณะ. (2559). คุณภาพพลังงานน้ำร้อนจากเครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ชนิด ถังเก็บน้ำร้อนแบบแบ่งชั้นอุณหภูมิ. รายงานฉบับสมบูรณ์, งบประมาณรายได้ประจำปี 2559, มหาวิทยาลัย นครสวรรค์.
- [2] ถาวร ศรีชมภู, ทิพวรรณ ม่วงสำเภา, และอาทิตย์ ไชยอำนาจ. (2550). การเพิ่มเวลาเก็บกักความร้อนใน เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์โดยการเปลี่ยนเฟสของวัสดุที่เหมาะสม. โครงการวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [3] Sharma, S.D., & Sagara, K. (2005). Latent heat storage material and systems: A review. *International Journal of Green Energy*, Vol. 2, 1-56.
- [4] สิทธิพร พึ่งใหญ่. (2537). การเก็บสะสมพลังงานความร้อนโดยการเปลี่ยนสถานะของซีดีฟ้างพาราฟิน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร เหนือ. กรุงเทพมหานคร.
- [5] สุวิทย์ แซ่เตีย. (2526). การศึกษาระบบเก็บรักษาความร้อนโดยอาศัยความร้อนแฝงที่อุณหภูมิปานกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, 210 หน้า.
- [6] Ataer OE. STORAGE OF THERMAL ENERGY-Storage of Thermal Energy. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Paris, France. สืบค้นเมื่อ 29 กรกฎาคม 2557, จาก <http://www.eolss.net/ebooks/sample%20chapters/c08/e3-14-02-00.pdf>.
- [7] สุนันท์ ศรีณนิตย์. 2528. การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น).
- [8] ภาคกร ปัทมรัตน์, สุธาธิชัย เสียงเลิศ. (2556). การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนเฟสสำหรับประยุกต์ใช้ใน เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก. โครงการวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [9] กันยรัตน์ โหละสุด. (2551). วัสดุเปลี่ยนเฟสเพื่อช่วยรักษาความร้อนในเครื่องอบพลังงาน แสงอาทิตย์. การ ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.
- [10] ณัฐพล รุ่งประแสง, พิชัย นามประกาย และนริส ประทินทอง. (2549). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ ขนาดที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลาพร้อมแสงร่วมกับระบบ สะสมพลังงานแบบเปลี่ยนเฟสในประเทศไทย. *วิศวกรรมสาร มช.* ปีที่ 33 ฉบับที่ 5 (495 - 510) กันยายน - ตุลาคม 2549.
- [11] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด. (2551). การศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพรายปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้ สภาวะการใช้งานจริง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์.
- [12] ฐิติพร เจาะจง. (2552). การลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลังการติดตั้งใช้งานในระยะ ยาว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์.
- [13] Dymond, D.M. and Garzoil K.V. 1993. Performance Characteristics of PCM Heat Storage Bank for Greenhouse. *Anzsas'93 Forth Australia*, pp. 221-225.

[14] 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. *Solar Energy*, Vol. 25, pp. 437-444.

[15] Jurinak, J.J. and Abdel - Khanlik. 1979. Sizing Phas Change Energy Storage Units for Air-Based Heating System. *Solar Energy*, Vol.22, pp.355-359.





ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาในระบบ SWH

Time	Tin Collector (°C)	Tout Collector (°C)	Tin Tank (°C)	Irr (W/m ²)	T Ambient (°C)
9:35:47	37	44.6	39.9	529.01	36.92
9:40:47	39	44.2	40.5	682.48	36.93
9:45:47	40.8	44.3	41.4	698.03	38.06
9:50:47	40.6	43.5	41.6	697.48	38.16
9:55:47	40.8	43.5	42.3	718.56	40.07
10:00:47	41.4	43.7	42.8	730.81	40.10
10:05:47	41.7	43.7	42.5	731.66	37.30
10:10:47	42.3	44.2	42.3	735.05	37.40
10:15:47	42.6	44.4	42.3	769.02	37.20
10:20:47	43.3	44.7	42.3	329.88	37.45
10:25:47	43.3	44.9	42.4	809.16	37.06
10:30:47	44.2	46	42.5	794.19	37.56
10:35:47	44.6	46.1	42.6	741.57	36.18
10:40:47	45	46.8	42.7	823.26	37.71
10:45:47	46	47.8	43.2	810.41	37.78
10:50:47	46	47.4	43.5	815.33	36.93
10:55:47	46.5	48.1	44.4	843.05	38.59
11:00:47	47.3	48.9	44.5	574.50	37.51
11:05:47	47.4	49.1	44.8	857.21	38.21
11:10:47	48	49.7	45.2	843.66	37.85
11:15:47	48.9	50.6	45.4	862.19	37.59
11:20:47	48.9	50.6	45.8	876.06	36.92
11:25:47	49.9	51.8	46.2	859.72	37.83
11:30:47	50	51.8	46.7	880.97	37.80
11:35:47	51.1	52.9	47.7	872.93	38.37
11:40:47	51.1	53.1	48.3	882.94	38.14
11:45:47	51.5	53.3	49.3	862.28	36.66
11:50:47	52	53.5	50.6	861.37	36.91
11:55:47	52.1	53.7	51.7	911.55	38.45
12:00:47	53.1	54.5	52.8	897.56	37.14
12:05:47	53.5	55.4	53.4	903.61	37.80
12:10:47	54	55.8	53.9	928.22	37.98
12:15:47	54.3	55.9	54.3	578.29	36.06
12:20:47	55.5	57	55	924.09	37.53
12:25:47	55.5	57.1	55.1	890.29	38.86
12:30:47	56	57.9	55.9	931.96	38.00
12:35:47	56.4	58.1	56.4	915.30	38.02

1039417

ระบบสะสมความร้อนที่ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

15 ต.ช. 2564



12:40:47	56.6	58.3	56.7	922.59	36.74
12:45:47	57.6	59.5	57.4	922.52	38.16
12:50:47	58.8	60.5	58.7	895.10	39.46
12:55:47	58.7	60.1	58.3	904.82	37.95
13:00:47	58.6	60.3	58.7	805.13	38.41
13:05:47	57.2	59.5	59.1	853.44	38.08
13:10:47	56.5	58.3	58.9	857.45	37.14
13:15:47	59.2	61.1	60.3	857.75	37.92
13:20:47	59.3	60.9	60.4	868.55	38.83
13:25:47	59.3	60.9	60.1	855.59	39.14
13:30:47	59.4	61.2	60.3	834.55	37.00
13:35:47	61.3	62.8	62	852.70	37.03
13:40:47	62.4	63.8	62.7	790.18	37.95
13:45:47	63.5	65	63.8	765.01	39.56
13:50:47	64	65.5	64.4	780.26	38.61
13:55:47	62.8	64.4	64.1	805.70	39.19
14:00:47	63.7	65.7	64.5	774.33	37.96
14:05:47	63.2	64.9	64.5	779.13	38.62
14:10:47	63.4	65.4	65.3	760.03	38.48
14:15:47	63.8	66	65.9	738.84	37.78
14:20:47	63.9	66	66	748.04	39.43
14:25:47	67.3	68.7	67.2	723.41	37.83
14:30:47	66.4	68.4	67.8	717.30	38.52
14:35:47	64.4	68.8	67.7	534.78	38.90
14:40:47	70.9	71.4	67.8	682.30	38.74
14:45:47	73.1	72.8	67.6	649.79	39.25
14:50:47	73.3	72.7	66.3	640.32	38.84
14:55:47	73.8	73.9	66.6	625.67	38.67
15:00:47	75.4	75.2	66.5	610.44	38.98
15:05:47	76.1	76.1	66.6	617.26	38.98
15:10:47	76.9	77	66.7	603.77	39.20
15:15:47	76.6	77.1	66.3	584.79	38.89
15:20:47	76.1	77	66.2	569.36	38.89
15:25:47	75.4	76.2	65.8	548.45	38.22
15:30:47	76	76.9	65.5	534.76	38.33
15:35:47	76.2	78.9	66.2	512.20	38.19
15:40:47	77	79.7	67.2	496.63	37.82
15:45:47	76.4	78.8	66.3	459.87	38.52
15:50:47	76.6	79	66.4	448.87	38.65
15:55:47	76.8	79.2	65.7	446.18	37.64
16:00:47	77	79.2	65.9	419.42	38.06
16:05:47	77.2	79.5	66	396.74	37.46

๓๐
๖๒๐
.๓
๖๖๖๖
๖๕๖๐

16:10:47	77.4	79.8	65.2	386.65	36.94
16:15:47	78	80.1	66	269.65	37.52
16:20:47	79.2	80.6	66.9	222.21	37.58
16:25:47	78.4	79.5	66.1	160.07	38.01
16:30:47	78.4	79.4	66	234.27	38.06
16:35:47	78.4	79	65.5	203.18	38.16
16:40:47	79.7	81.4	67.2	170.59	37.41
16:45:47	78.3	79.5	66.2	141.24	38.20
16:50:47	77.8	79	65.9	132.44	37.91
16:55:47	78.1	79.1	66	145.81	37.58
17:00:47	77.7	78.4	65.7	78.53	36.69
17:05:47	76.3	77.7	65.8	61.32	36.72
17:10:47	74.9	77	65.6	61.33	36.42



ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิในกระบวนการชาร์จในชุด PPH

Time	Tin PPH (°C)	Ttank PPH (°C)	Tout PPH (°C)
14:35:47	68.8	53	68.1
14:40:47	71.4	53.2	70.4
14:45:47	72.8	52.8	70.9
14:50:47	72.7	51.5	70.8
14:55:47	73.9	52.1	72.8
15:00:47	75.2	51.8	73.6
15:05:47	76.1	51.9	74
15:10:47	77	52.2	75.5
15:15:47	77.1	51.9	75.7
15:20:47	77	52.2	76.7
15:25:47	76.2	52.2	76.1
15:30:47	76.9	52.1	76.5
15:35:47	78.9	54	77.7
15:40:47	79.7	56.6	79.2
15:45:47	78.8	56.9	76.8
15:50:47	79	58.6	78.6
15:55:47	79.2	58	78.9
16:00:47	79.2	57.9	78.6
16:05:47	79.5	57.9	78
16:10:47	79.8	59.5	78.8
16:15:47	80.1	62.8	79.1
16:20:47	80.6	66	79.2
16:25:47	79.5	67.1	77.4
16:30:47	79.4	68.6	77.7
16:35:47	79	69.4	77.6
16:40:47	81.4	72.5	79.8
16:45:47	79.5	72.1	77
16:50:47	79	72.7	76.6
16:55:47	79.1	73.3	76
17:00:47	78.4	73.3	75.1
17:05:47	77.7	73.5	74.6
17:10:47	77	73.5	74.1

ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิในกระบวนการดีสชาร์จในชุด PPH

Time (min)	Tin PPH (°C)	Tout PPH (°C)	Ttank PPH (°C)
1	32.9	39	68.6
5	30.5	38.5	67.2
10	30.5	37.4	65.1
15	30.6	37	63.7
20	30.3	36.2	62.8
25	30.1	35.5	61.8
30	29.9	35	61
35	30.4	34.8	60.3
40	30.5	34.5	59.9
45	30.6	34.3	59.5
50	30.8	33.9	59.1
55	30.8	34	58.9
60	31	33.7	58.8
65	30.9	33.5	58.7
70	30.7	33.3	58.4
75	31.3	33.1	58.3
80	30.7	33.4	58.3
85	31.2	33.3	58.2
90	31	33.2	58.1
95	31.2	33.4	58
100	31	33.2	58
105	30.2	33	57.8
110	30.8	32.8	57.6
115	30.8	32.7	57.6
120	31.2	32.6	57.5
125	31.1	32.7	57.3
130	31.3	32.4	57.3
135	31.2	32.4	57.2
140	31.2	32.2	57.2



2017 International Conference
on Alternative Energy in Developing Countries
and Emerging Economies
(2017 AEDCEE)
Proceeding of Abstracts
25-26 May 2017
Sultham Bangkok King Power Hotel
Bangkok, Thailand

Co-Organized by:

- Research and Development Institute, Thaksin University, Thailand
- Research Center in Energy and Environment, Thaksin University, Thailand
- Faculty of Science, Thaksin University, Thailand
- University of Moncton (UMEM), Canada
- James Cook University, Australia
- School of Renewable Energy, Maejo University, Thailand
- Faculty of Industrial Technology, Phramakulrajavidyalaya University, Thailand
- Waste Incineration Research Center, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

**2017 International Conference
on Alternative Energy in Developing Countries
and Emerging Economies
(2017 AEDCEE)**

Proceeding of Abstracts

25-26 May 2017

Pullman Bangkok King Power Hotel
Bangkok, Thailand



**Research Center in Energy and Environment
Thaksin University (Phatthalung Campus)
222 Moo 2, Ban Prao, Pa Payom, Phatthalung, Thailand 93210**

Program

**2017 International Conference on
Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies
(2017 AEDCEE) May 25-26, 2017
Pullman Bangkok King Power Hotel, Bangkok, Thailand**

Thursday May 25, 2017

Keynote Sessions

Eternity Ballroom	
08:00-09:00	Registration
09:00-09:20	Opening of the 2017 AEDCEE Conference and Welcome Addresses Dr. Tanjap Pattamaron, Dean of Faculty of Science, Thaksin University, Thailand Assoc. Prof. Kasem Asawatratankul, Vice President for Academic Affairs and Research, Thaksin University, Thailand
09:20-09:40	Keynote Address: Dr. Tawaroh Sutabur Energy Policy and Planning Office (EPPO), Ministry of Energy, Thailand "Alternative Energy Development Plan and Current Status of Deployment in Thailand"
09:40-10:00	Keynote Address: Prof. Dr. Yves Gagnon University of Moncton, Canada "Status of Development of Renewable Energy: A World Perspective"
10:00-10:30	Coffee and Tea Break (1 st Floor)

Parallel Technical Sessions

Eternity Ballroom: Building Technology and Green Architecture Chair: Prof. Dr. Joseph Khodari, Kasetsart University, Thailand Co-Chair: Prof. Dr. Jangjit Hirunlakh, Bangkokkumburi University, Thailand			
10:30-10:45	Theoretical Computation of Performance of Sustainable Energy Efficient R12 Alternatives for Residential Air Conditioners	S. V. Shaik and T. P. Ashok Babu	India
10:45-11:00	Determination of Properties and Heat Transfer Rate through Building Boundary of Corn Cob Cement Material for Applying to be Construction Material	P. Hongthong, A. Pongtornkulpanich and K. Chawua	Thailand
11:00-11:15	A Performance Investigation of Dirty Affected to a Room Air Conditioning Unit	S. Lek-ngam, P. Suktontonsiri, J. Panyavaporn and P. Limpitpanich	Thailand
11:15-11:30	An Experimental Investigation on the Square Steel Solar Chimney for Building Ventilation Application	W. Rattanonphist, P. Imkong and S. Khunkong	Thailand
11:30-11:45	Study of Various Window Glass and Building Wall Materials in Different Climatic Zones of India for Energy Efficient Building Construction	G. Kiran Kumar, S. Saboor and T. P. Ashok Babu	India
11:45-12:00	Feasibility Study of Turbine Inlet Air Cooling using Mechanical Chillers in Malaysia Climate	S. N. O. Kamal, D. A. Salim, M. S. M. Foudi,	Malaysia
12:00-13:00	International Buffet Lunch (1 st Floor)		

Sigma I: Solar Energy, Resource Assessment and Thermal Processes Chair: Assoc. Prof. Dr. Yuthana Tirawanichakul, Prince of Songkla University, Thailand Co-Chair: Assoc. Prof. Dr. Jompob Wasuwak, Thaksin University, Thailand			
10:30-10:45	Assessment of Offshore Solar Energy Along the Coast of India	C. Solanki, G. Nagababu and S. S. Kachhwaha	India
10:45-11:00	Fluctuation Characteristics Effect Analysis of Solar Irradiance Data by Wavelet Transform	N. Silsirivanich	Thailand
11:00-11:15	Development of Solar Collector Combined with Thermoelectric Module for Solar Drying Technology	S. Thongvan, B. Prasit, T. Suriwong, Y. Meenin and W. Wansungnern	Thailand
11:15-11:30	Design and Simulation of Phase Change Material Matrix to Reduce the Backside Temperature of Photovoltaic Module	V. Karthikeyan, C. Siritamphanwong and S. Sukkasi	Thailand
11:30-11:45	Effects of Aluminum Fin Thickness Coated with a Solar Paint on the Thermal Performance of Evacuated Tube Collector	A. Andemskel, T. Suriwong and W. Wansa	Thailand Eritrea
11:45-12:00	Design of Phase Change Material Based Domestic Solar Cooking System for Both Indoor and Outdoor Cooking Applications	S. M. Santhi Rekha and S. Sukkasi	Thailand
12:00-13:00	International Buffet Lunch (1 st Floor)		

List of Session

25 May 2017

10.30-12.00	Building Technology and Green Architecture	25
	Solar Energy, Resource Assessment and Thermal Processes	33
	Solar Energy and Solar-PV Technology	41
	Energy Storage Technology	51
13.00-15.00	Biomass and Gasification Technology	67
	Hydrogen and Fuel Cell	77
	Bio-fuel : Biogas and Biomass Energy	89
	Energy Policy and Low Carbon Society	101
	Renewable Energy and Power Generation	111
16.00-18.00	Poster Sessions	121

26 May 2017

10.30-12.00	Combustion Technology	167
	Waste to Energy	175
	Bio-Fuel	183
	Wind Energy	193
	Building Technology and Green Architecture	201
13.00-15.00	Applied Energy	209
	Wind Energy	221
	Energy Efficiency	229
	Hydro Power	239
	Bio Fuel : Biogas	245
15.30-17.15	Combustion Technology	255
	Bio Fuel : Biodiesel	263
	Biomass, Building Technology and Green Architecture	273
	Drying Technology	283
	Energy Efficiency	295

Development of Thermal Storage System Combined with Paraffin Pre-Heating Unit for SML Business

Sukruedee Sukchai, Yodthong Mensin, and Wikarn Wansungnern

School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

ABSTRACT

This paper presents the development of solar hot water storage tank combined with paraffin pre-heating (PPH) unit. The designed system is used to observe the thermal performance analysis of the hot water storage tank. Paraffin is a phase change material (PCM) and is used as a heat storage medium in this PPH unit. The volume of PPH unit is about 0.012 m³. The heat exchanger tubes made up of copper are used to exchange the heat between hot or cold water and paraffin. The charging or melting process of the PCM in PPH unit happens in the day time. The hot water of temperature about 70 °C which is produced from 2 m² vacuum tube solar collector is used for charging processes. The temperature of PPH unit was increased until the PCM reaches to liquid state. The discharging process of Paraffin PCM will starts when the hot water is used during off sun shine hours. The cold water at ambient temperature will be allowed to the storage tank through the PPH unit which automatically initiates the discharging processes of paraffin. This discharging process is continued until the paraffin turns to solid state. The flow rate of the PPH unit was about 0.005 kg/s. From the results of performance analysis of PPH unit, it is observed that the time taken for discharging processes is about 2 h and in the meantime the temperature of the cold water is increased from 31.1 °C to 35.7 °C. The heat transfer capacity of PPH unit is about 670 kJ. From the above results, it can be concluded that the PPH unit can increase the performance of the hot water storage tank and it can also reduce the difference temperature mixing between hot and cold water. The PPH unit can be used to preheat the boiler feed water and for other heat requirement processes in small, medium and large (SML) business sectors. This concept can promisingly reduce the cost of hot water production in the SML industries.

Keywords: Paraffin, thermal energy storage, phase change material (PCM), heat transfer

Corresponding Author: sukruedee@hotmail.com