



การศึกษาประสิทธิภาพของสารแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง ของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

A Study on the Efficiency of Heat Exchanger with Acidic Water, Neutral Water, and Alkali Water in the Solar Water Heating System Using Flat Plate Collector

สุนทร พรหมขุนทอง (Sunate Promkhunthong)^{1*} ดร.อุทัย ผ่องรัศมี (Dr.Uthai Phongrasamee)**
 ดร.เพชรพิสิฐ เอี่ยมสอาด (Dr.Petpices Eiamsa-ard)*** ดร.เสนีย์ ศิริไชย (Dr.Seney Sirichai)****

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 1.08 ตารางเมตรต่อแผง จำนวน 3 แผง โดยใช้ น้ำที่ค่า pH ต่างกัน (pH=3,5,7,9,11 และ 13) เพื่อการถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำที่อยู่ในถัง ซึ่งมีพื้นที่ 0.2289 ตารางเมตร ผลการวิจัยพบว่า ช่วงเวลา 11.00-14.00 นาฬิกา ได้พลังงานแสงอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 900 วัตต์ต่อตารางเมตร นำมาถ่ายเทความร้อนให้แก่อุปกรณ์ทำน้ำร้อนที่อยู่ในถัง มีค่าอุณหภูมิ อยู่ระหว่าง 50-67 องศาเซลเซียส ซึ่งได้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน 419 วัตต์ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 37 วัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิน และมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน 5.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้ำมีคุณสมบัติ ค่า pH=13 (ด่าง) มีการถ่ายเทความร้อนให้แก่อุปกรณ์ทำน้ำร้อนได้สูงสุด

ABSTRACT

This research is a study of the heat exchanger efficiency in hot water production from three solar cell sheets each of which has the area of 1.08 square meter. Water with different pH property value (pH=3,5,7,9,11 and 13) were used in this study in order to transfer the heat into water which is in the container of 0.2289 square meter. The research result showed that the time between 11.00 A.M.-14.00 P.M. there is not less than 900 watt per one square meter of solar cell heat obtained. When this heat is transferred into the hot water production equipment in the container, the heat value becomes 50-60 degrees Celsius which showed the heat exchanging rate at 419 watt, the co-efficiency rate of heat transfer at 37 watt per one square meter Kelvin, and the heat transfer efficiency at 5.61 percent. It means that when water has the pH property value at 13 (alkaline) the highest heat transfer to the hot water production equipment occurs.

คำสำคัญ: พิเอชของน้ำ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์

Keywords: pH property of water, Heat exchanger equipment, Solar energy

¹ Correspondent author: Sunate098@gmail.com

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

*** อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

**** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บทนำ

ประเทศไทยมีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากอยู่ในเขตร้อน ซึ่งเป็นผลให้ประเทศไทยมีพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี โดยพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์มีค่าประมาณ $17 \text{ MJ/m}^2\text{-d}$ [1] การใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้ได้ในรูปความร้อน และไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังนั้นจึงเหมาะกับการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งาน โดยใช้แผงรับรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) เป็นตัวแปลงและเก็บพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำทำให้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำเป็นน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ $40\text{-}70^\circ\text{C}$ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการอาบน้ำ และการซักล้าง ซึ่งเครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ (Solar Water Heater) มีตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ $65\text{-}110^\circ\text{C}$ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ที่ตกกระทบไปยังสารทำงานที่เป็นของเหลว (น้ำ) แล้วนำความร้อนจากสารทำงานไปใช้ประโยชน์ เช่น การทำน้ำร้อน ซึ่งงานวิจัยนี้จะให้ความสำคัญกับคุณสมบัติของสารตัวกลางน้ำที่นำมาใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับพลังงานแสงอาทิตย์

น้ำซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตและเป็นสารตัวกลางชนิดหนึ่งในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน จัดเป็นกระบวนการทางความร้อนที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตของโรงงาน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการจัดการการแลกเปลี่ยนทางความร้อนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการนำไปใช้ในเครื่องจักรกลต่างๆ โดยการศึกษาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำที่มีคุณสมบัติความเป็นกรด-ด่าง (ค่า pH ต่างกัน) ต่างกัน ให้เหมาะสม มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งน้ำที่นำมาใช้นี้ได้มาจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน สามารถนำมาใช้เพียงร้อยละ 0.63 (กรมควบคุมมลพิษ, 2004) เป็นน้ำที่ได้จากฝนตกลงมาสู่พื้นโลก โดยผ่านบรรยากาศของโลก ซึ่งจะละลายเอาก๊าซ และดิวคิมเอนสารต่างๆ ที่ละลายไว้ในน้ำ เมื่อไหลผ่านผิวดินก็จะมีสิ่งเจือปนของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งทำให้น้ำไม่บริสุทธิ์ ก่อให้เกิดปัญหา เมื่อนำมาใช้ในการบริโภคหรือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่จะศึกษาประกอบด้วย 1) อุณหภูมิของน้ำ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ [2] เช่น ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ดังนั้นการตรวจวัดอุณหภูมินี้ยังมีความสำคัญในการปรับสภาพน้ำอย่างมาก 2) การนำไฟฟ้า ถ้าความเข้มข้นของไอออนในน้ำมีมาก สภาพการนำก็จะยิ่งสูงขึ้น ถ้าเป็นน้ำบริสุทธิ์ สภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่าคงที่ 3) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (positive potential of hydrogen ions, Ph) ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับความดันไอของน้ำ (pH 7-9 เหมาะสม) ถ้า pH ต่ำ จะเป็นผลให้เหล็กละลายออกมา ถ้า pH สูง ทองแดงจะละลายออกมา ความต่างของค่า pH สารละลายออกมาจะกลายเป็นสารไฮดรอกไซด์ จับเกาะผิววัสดุ เป็นเหตุให้เกิดความร้อนและการกัดกร่อนวัสดุผิวต่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อุทัย ผ่องรัศมี [3] การควบคุมคุณภาพน้ำที่ใช้กับหม้อน้ำเหมาะสมอยู่ที่ pH 8-11 และการใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง เนื่องจากเป็นสิ่งที่หาได้ง่ายจากแหล่งธรรมชาติ การศึกษาคุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมกับการแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง ของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ตัวแผงรับรังสีอาทิตย์ มีพื้นที่ 1.08 m^2 ด้านบนปิดด้วยกระจกหนา 5 mm 1 ชั้น น้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่าง หมายถึง สารทำงานที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ โดยใช้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ pH3, pH5, pH7, pH9, pH11 และ pH13

วิธีการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง โดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ใช้ท่อ



ทองแดง สำหรับให้สารตัวกลางไหลเวียนในระบบ [4-6] โดยที่อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนที่ใช้ในการวิจัยมีหลักการของระบบ คือ แผงรับรังสีอาทิตย์จะดูดกลืนรังสีอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน จากนั้นจะส่งถ่ายความร้อนไปยังสารทำงานที่ไหลอยู่ภายในแผงรังสีอาทิตย์จนสารทำงานมีความร้อนเพิ่มขึ้นไหลเวียนภายในระบบไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำภายในถังเก็บและจะเกิดการเย็นลงของอุณหภูมิ ไหลกลับเข้าถังพักสารทำงานจากนั้นก็ไหลไปยังแผงรับรังสีอาทิตย์ เกิดการไหลเวียนภายในระบบผลิตน้ำร้อน ได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

กระบวนการผลิตน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

กระบวนการผลิตน้ำร้อน [4-5, 8-9] โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มีแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Collector) โดยนิยามเปรียบเสมือนวัตถุคือวัตถุที่มีคุณสมบัติที่ดูดและส่งพลังงาน โดยการแผ่รังสีได้ดีโดยไม่คำนึงถึงความยาวคลื่น และทิศทางของรังสีที่มากกระทบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ จะดูดกลืนพลังงานของคลื่นที่มากกระทบไว้หมด ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วจะไม่สามารถหาวัตถุนี้นี้ได้ ใดๆก็ตัววัตถุบางอย่างก็มีคุณสมบัติดังนิยามที่กล่าวมาแล้วซึ่งพอจะสมมุติว่าเป็นวัตถุค่าได้คุณสมบัติของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดีในการส่งพลังงาน ความร้อนจากนิยาม วัตถุจะเป็นวัตถุที่ส่งพลังงาน โดยการแผ่รังสีได้มากที่สุด วัตถุใดที่ดูดกลืนพลังงานความร้อนได้ดี ก็จะมีคุณสมบัติในการส่งพลังงานความร้อนได้ดีด้วยเช่นกัน เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะดูดกลืนพลังงานนี้ไว้แล้วถ่ายเทความร้อนที่ได้รับให้กับสารตัวกลางซึ่ง ณ ที่นี้ใช้น้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่าง เป็นสารตัวกลาง ในการพาความร้อนจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผ่านไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

การวิจัยศึกษาประสิทธิภาพของสารแลกเปลี่ยนความร้อน จากน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่างของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ [7, 9-10] ครั้งนี้ประกอบด้วย แผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ใช้แผงทำจากขดท่อทองแดง มีขนาดพื้นที่ 1.08 m² ต่อ 1 แผง จำนวน 3 แผง ด้านบนปิดด้วยกระจกหนา 5 mm จำนวน 1 ชั้น มีถังน้ำร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm สูง 27 cm หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน เครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์ เครื่องมือวัด pH meter ถังแลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดท่อ และ เครื่องมือวัด UNI-T multimeter UT151E สำหรับวัดอุณหภูมิ การทดลองเวลา 09.00 A.M.–16.00 P.M. (ภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2)

ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

นำอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังบริเวณที่โล่งแจ้ง ครั้งที่ 1 ทดลองในวันที่ 10-12 มกราคม 2559 โดยใช้สารตัวกลางน้ำที่ค่า pH3, pH7 และ pH11 และครั้งที่ 2 ทดลองในวันที่ 15-17 มกราคม 2559 โดยใช้สารตัวกลางน้ำที่ค่า pH5, pH9 และ pH13 ทั้ง 2 ครั้งใช้สารตัวกลางน้ำ จำนวน 1 L นำความร้อนแลกเปลี่ยนกับน้ำในถังจำนวน 10 L ใช้น้ำส้มสายชู (กรดแอสติก; C3COOH) ปรับให้ค่า pH ต่ำ และ ปูนขาวสุก (แคลเซียมไฮดรอกไซด์; Ca(OH)₂) ปรับให้ค่า pH สูง เริ่มการทดลองและบันทึกผลเป็นเวลา 09.00 A.M.-16.00 P.M. เนื่องจากเป็นเวลาที่มีความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์มีมากพอสามารถทำน้ำร้อนได้ค่าความเข้มของรังสีจะอยู่ในช่วง 900 W/m² ขึ้นไป บันทึกค่าความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ ทุกๆ 30 นาที และสารทำงานไหลเวียนภายในระบบได้ดีอยู่ในช่วง 11.00 A.M.-14.00 P.M. ปรับเปลี่ยนน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 28-33 °C ในถังน้ำร้อนตามปริมาณการทดลองและปรับเปลี่ยนสารน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง ภายในระบบตามปริมาณการทดลอง และนำค่าที่ได้จากการบันทึกมาวิเคราะห์ผลตามขอบเขตของการวิจัยทุกๆ 30 นาที และวิเคราะห์ตลอดทั้งวัน ในช่วง 11.00 AM.-14.00 P.M. ซึ่งเป็นช่วงที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนในถังน้ำร้อน และหลังจากเวลา 14.00 P.M. อุณหภูมิสุดท้ายในถังน้ำร้อนจะคงที่ไปจนถึงเวลา 16.00 P.M. (ภาพที่ 3)

สมการสำหรับการวิเคราะห์

- 1) ปริมาณการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ถ่ายเทให้กับแผงโซลาร์

$$Q_{Radiation} = IA$$

- 2) ปริมาณการรับความร้อนจากการแผ่รังสี

$$Q_{tube} = m_{wt} C_{p,w} (T_{c,out} - T_{c,in})$$

- 3) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับถังน้ำร้อน

$$Q_{in,heatex} = m_{ws} C_{p,w} (T_{w,out} - T_{w,in})$$

- 4) ปริมาณความร้อนในถังน้ำร้อนได้รับ

$$Q_{out,heatex} = m_{ws} C_{p,w} (T_{wa,out} - T_{wa,in})$$

- 5) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อของแผงรับรังสีอาทิตย์

$$h_{collector} = \frac{m C_p (T_{c,out} - T_{c,in})}{A_{collector} (T_c - (\frac{T_{c,in} + T_{c,out}}{2}))}$$

- 6) ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของสารแลกเปลี่ยนความร้อนที่รับมาจากรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำในถังน้ำร้อน (efficient of solar) ของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่าง

$$\eta_{solar} = \frac{Q_{out,heatex}}{Q_{Radiation}} \times 100$$

- 7) การคำนวณหาปริมาณความร้อนในถังเก็บน้ำร้อน

$$Q_s = m_{ws} C_{p,w} (T_{ends} - T_{initials})$$

- 8) ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อน

$$\eta_t = \frac{Q_s}{Q_{Radiation}} \times 100$$

สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง

สัญลักษณ์

Q_{tube}	=	ปริมาณการรับความร้อนจากการแผ่รังสี, kW
m_{wt}	=	มวลของน้ำที่เข้าแผงรับรังสีอาทิตย์, kg/s
T_c	=	อุณหภูมิของผิวท่อด้านนอกในแผงรับรังสีอาทิตย์, °C
$T_{c,in}$	=	อุณหภูมิของน้ำที่เวลาเริ่มต้นเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์, °C
$T_{c,out}$	=	อุณหภูมิของน้ำที่เวลาสุดท้ายออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์, °C
$Q_{in,heatex}$	=	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับถังน้ำร้อนแต่ละช่วงเวลา, kW
$Q_{out,heatex}$	=	ปริมาณความร้อนในถังน้ำร้อนได้รับแต่ละช่วงเวลา, kW
$T_{w,in}$	=	อุณหภูมิของน้ำที่เวลาเริ่มต้นเข้าถังน้ำร้อน, °C
$T_{w,out}$	=	อุณหภูมิของน้ำที่เวลาสุดท้ายออกจากถังน้ำร้อน, °C
$T_{w,in}$	=	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำในถังน้ำร้อนได้รับแต่ละช่วงเวลา, °C
$T_{wa,out}$	=	อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำในถังน้ำร้อนได้รับแต่ละช่วงเวลา, °C



$h_{collector}$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อของแผงรับรังสีอาทิตย์, W/m^2K
$C_{p,w}$	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, $kJ/kg K$
A	=	พื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์ m^2
$A_{collector}$	=	พื้นที่ผิวภายในท่อทั้งหมดในแผงรับรังสีอาทิตย์ m^2
I	=	ค่ารังสีอาทิตย์ W/m^2
η_{solar}	=	ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของสารแลกเปลี่ยนความร้อนที่รับมาจากรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำในถังน้ำร้อน, %
$Q_{Radiation,t}$	=	ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ถ่ายเทให้กับแผงโซลาร์ในแต่ละช่วงเวลา, kW
$Q_{Radiation}$	=	ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ถ่ายเทให้กับแผงโซลาร์, kW
Q_s	=	ปริมาณความร้อนที่ใช้ในถังเก็บน้ำร้อน, kJ
m_{ws}	=	มวลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน, kg
$C_{p,w}$	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, $kJ/kg K$
$T_{initial,s}$	=	อุณหภูมิของน้ำที่เวลาเริ่มต้นภายในถังเก็บน้ำร้อน, $^{\circ}C$
$T_{end,s}$	=	อุณหภูมิของน้ำที่เวลาสุดท้ายภายในถังเก็บน้ำร้อน, $^{\circ}C$
η_t	=	ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ (Q_{tube}) ที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง (ภาพที่ 4)

จากภาพที่ 4 เป็นการแสดงความสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์ให้กับน้ำภายในท่อ Q_t ที่มีคุณสมบัติ กรด กลาง และด่าง กับระยะเวลา T สำหรับปริมาณน้ำ 1 L ระยะการทดลองเริ่มเวลา 11.00 A.M. – 14.00 P.M. ผลการทดลองพบว่า เวลา 11.00, 11.30, 12.00 A.M. 12.30, 13.00, 13.30 และ 14.00 P.M. ได้อัตราการถ่ายเทความร้อนให้แก่ภายในท่อ ของน้ำที่เป็นกรดที่ค่า pH3 เท่ากับ 56.30, 66.45, 71.11, 73.48, 68.32, 63.90 และ 60.20 W ของน้ำที่เป็นกรด ที่ค่า pH5 เท่ากับ 58.46, 69.97, 74.92, 76.27, 70.94, 66.73 และ 62.97W, ของน้ำที่เป็นกลาง ที่ค่า pH7 เท่ากับ 59.94, 71.41, 77.10, 77.40, 72.70, 68.61 และ 64.34W, ของน้ำที่เป็นด่างที่ค่า pH9 เท่ากับ 63.19, 75.05, 79.19, 79.72, 74.39, 69.91 และ 65.95W, ของน้ำที่เป็นด่าง ที่ค่า pH11 เท่ากับ 64.76, 77.44, 82.76, 82.49, 76.53, 71.50 และ 67.39 W, ของน้ำที่เป็นด่าง ที่ค่า pH13 เท่ากับ 69.05, 80.02, 85.60, 85.97, 79.85, 74.56 และ 70.30 W ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ให้แก่ภายในท่อในช่วงเวลา 12.00 -13.00 P.M. เป็นช่วงที่มีการถ่ายเทความร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ได้พลังงานเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 83.806 W สำหรับคุณสมบัติของน้ำที่เป็นด่าง ที่มีค่า pH13 [$-\log(1 \times 10^{-13}) = 13 - \log 1$] เป็นคุณสมบัติของน้ำที่ถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยได้สูงสุด [7] เพราะว่าคุณสมบัติของน้ำมีสารละลายของแข็งละลายออกมากลายเป็นสารไฮดรอกไซด์ เป็นเหตุให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงสุด

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายใน h_c ที่ได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ให้กับน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่าง (ภาพที่ 5)

จากภาพที่ 5 เป็นการแสดงความสัมพันธ์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้กับน้ำภายในท่อ h_c ที่มีคุณสมบัติของน้ำเป็นกรด น้ำเป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง กับระยะเวลา T สำหรับน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง จำนวน 1 L และปริมาณน้ำในถัง 10 L ระยะเวลาทดลองเวลา 11.00 A.M. – 14.00 P.M. ผลการทดลองพบว่าในเวลา 11.00, 11.30, 12.00 A.M., 12.30, 13.00, 13.30 และ 14.00 P.M. ได้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อของน้ำที่เป็นกรด ที่ค่า pH3 เท่ากับ 6.111, 7.702, 8.546, 9.006, 8.650, 8.297 และ 8.035 W/m^2K , น้ำที่เป็นกรด ที่ค่า pH5 เท่ากับ 6.478, 8.245, 9.182, 9.537, 9.170, 8.894 และ 8.673 W/m^2K , น้ำที่เป็นกลาง ที่ค่า pH7 เท่ากับ 6.831, 8.716, 9.654, 10.054, 9.642, 9.416 และ 8.981 W/m^2K , น้ำที่เป็นด่าง ที่ค่า pH9 เท่ากับ 7.220, 9.141, 10.014, 10.351, 10.027, 9.717 และ 9.524 W/m^2K , น้ำที่เป็นด่าง ที่ค่า pH11 เท่ากับ 7.630, 9.778, 10.706, 11.175, 10.676, 10.447 และ 9.958 W/m^2K น้ำที่เป็นด่าง ที่ค่า pH13 เท่ากับ 8.788, 10.429, 11.413, 11.933, 11.415, 11.031 และ 10.686 W/m^2K ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์จากผลการทดลองคุณสมบัติของน้ำที่เป็นกรดน้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่างพบว่าคุณสมบัติของน้ำที่เป็นด่าง ค่า pH13 ช่วงเวลา 12.00 -13.00 P.M. เป็นช่วงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 11.459 W/m^2K [3] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อุทัย ผ่องศรีมณี และคณะฯ (2557) ที่ได้วิจัยการเพิ่มสมรรถนะอุปกรณ์อุ่นน้ำร้อนแบบเปลือกและท่อชนิดใส่แผ่นบิดตัวตรงกลางเป็นสี่เหลี่ยม สำหรับหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว โดยให้ก๊าซร้อนทิ้ง (255-300°C) ไหลอยู่ในแนวตั้งฉากกับกลุ่มท่อ ผลการวิจัยพบว่า ที่ความเร็วดูดก๊าซร้อนทิ้ง 6.05 – 6.5 m/s จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุด $h_f = 25.87 W/m^2K$

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผงรับพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (ท่อทองแดง), η_f ของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่าง (ภาพที่ 6)

จากภาพที่ 6 เป็นการแสดงความสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์ให้กับน้ำที่อยู่ในแผงท่อทองแดง η_f ที่น้ำมีคุณสมบัติ (กรด,กลาง และด่าง) กับระยะเวลา T สำหรับน้ำ จำนวน 1 L และปริมาณน้ำในถัง 10 L ทดลองเวลา 11.00 A.M. – 14.00 P.M. ผลการทดลองพบว่าในเวลา 11.00, 11.30, 12.00 A.M., 12.30, 13.00, 13.30 และ 14.00 P.M. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพทางความร้อน สำหรับน้ำที่เป็นกรด ที่ค่า pH3 เท่ากับ 5.604, 6.492, 6.896, 7.118, 6.670, 6.301 และ 6.021 % น้ำที่เป็นกรด ที่ค่า pH5 เท่ากับ 5.820, 6.836, 7.266, 7.389, 6.926, 6.580 และ 6.298 % น้ำที่เป็นกลาง ที่ค่า pH7 เท่ากับ 5.965, 6.989, 7.477, 7.496, 7.116, 6.748 และ 6.422 % น้ำที่เป็นด่าง ที่ค่า pH9 เท่ากับ 6.291, 7.333, 7.680, 7.724, 7.262, 6.893 และ 6.597 % น้ำที่เป็นด่าง ที่ค่า pH11 เท่ากับ 6.445, 7.579, 8.026, 7.989, 7.490, 7.032 และ 6.725 % น้ำที่เป็นด่าง ที่ค่า pH13 เท่ากับ 6.872, 7.831, 8.301, 8.326, 7.815, 7.333 และ 7.016 % ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงรับความร้อน (ท่อทองแดง) จากพลังงานรังสีอาทิตย์ให้แก่ภายในท่อ ในช่วงเวลา 12.00 – 13.00 P.M. เป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุด 8.1456 % สำหรับคุณสมบัติของน้ำที่เป็นด่างที่มีค่า pH = 13 เพราะในช่วงเวลาดังกล่าวมีพลังงานรังสีอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 83.806 W [8] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจรรยาวัชร ทัศนินทร์ พบว่าเครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้ท่อทานอลเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิในถังน้ำร้อนสูงสุด 79 °C ในเวลา 12.30 P.M.

อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในท่อที่รับมาจากแผงรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำภายในถัง (Q_{ex}) ของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่าง (ภาพที่ 7)



จากภาพที่ 7 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ให้กับน้ำภายในถัง (Q_{ex}) กับระยะเวลา 11.00 – 12.00 A.M. และ 12.00 – 14.00 P.M. สำหรับคุณสมบัติของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง จำนวน 1 L และปริมาณน้ำในถัง 10 L ผลการทดลองพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถัง Q_{ex} ในถังน้ำกับช่วงระยะเวลา 11.00, 11.30, 12.00 A.M. 12.30, 13.00, 13.30 และ 14.00 P.M. ได้อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่อยู่ภายในถัง ดังนี้ น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรด ที่ค่า pH3 เท่ากับ 54.84, 64.54, 68.04, 68.90, 64.37, 60.11 และ 54.92 W น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรด ที่ค่า pH5 เท่ากับ 57.18, 68.61, 71.52, 71.80, 66.67, 61.82 และ 57.39 W น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง ที่ค่า pH7 เท่ากับ 58.74, 69.93, 74.13, 73.46, 68.66, 63.43 และ 57.93 W น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ที่ค่า pH9 เท่ากับ 62.92, 73.46, 76.10, 76.00, 70.86, 65.85 และ 58.43 W น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ที่ค่า pH11 เท่ากับ 64.96, 75.89, 78.93, 78.84, 73.24, 67.65 และ 59.80 W น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ที่ค่า pH13 เท่ากับ 69.78, 78.47, 81.06, 81.93, 76.53, 69.85 และ 61.08 W ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์จากการทดลอง คุณสมบัติของน้ำที่เป็นด่างมีค่า pH = 13 ช่วงเวลา 12.00 – 13.00 P.M. เป็นช่วงที่น้ำภายในถังได้รับการถ่ายเทความร้อนจากน้ำภายในถังเฉลี่ย 83.806 W ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการถ่ายเทความร้อน Q_i ณ เวลาเดียวกัน อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในถังแลกเปลี่ยนความร้อน เฉลี่ย 79.84 W เมื่อคิดเป็น ร้อยละความแตกต่างจะได้ 95.27 % ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำในถัง Q_{ex} มีความผันผวนเกิดขึ้น คิดเป็นร้อยละ 85.294 %

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในถังน้ำร้อน η_{ex} (ท่อทองแดง) กับน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่าง (ภาพที่ 8)

จากภาพที่ 8 เป็นการแสดงความสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนของสารแลกเปลี่ยนความร้อนในท่อทองแดง, η_{ex} ที่น้ำมีคุณสมบัติ (กรด กลาง และด่าง) กับระยะเวลา T สำหรับน้ำ จำนวน 1 L (น้ำร้อน) ระยะเวลาการทดลอง เวลา 11.00 A.M.– 14.00 P.M. ผลการทดลองพบว่าในเวลา 11.00, 11.30, 12.00 A.M., 12.30, 13.00, 13.30 และ 14.00 P.M. สารแลกเปลี่ยนความร้อน (น้ำร้อน) แลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำ 10 L สำหรับน้ำที่มีคุณสมบัติ เป็นกรด ที่ค่า pH3 เท่ากับ 5.459, 6.035, 6.599, 6.675, 6.285, 5.92 และ 5.493 %, น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรด ที่ค่า pH5 เท่ากับ 5.692, 6.703, 6.936, 6.956, 6.509, 6.096 และ 5.740 % น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง ที่ค่า pH7 เท่ากับ 5.846, 6.844, 7.189, 7.190, 6.720, 6.239 และ 5.782 % น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ที่ค่า pH9 เท่ากับ 6.225, 7.177, 7.381, 7.363, 6.918, 6.493 และ 5.844 % น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ที่ค่า pH11 เท่ากับ 6.345, 7.428, 7.655, 7.636, 7.169, 6.654 และ 5.969 % น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่างที่ค่า pH13 เท่ากับ 6.800, 7.680, 7.862, 7.935, 7.490, 6.870 และ 6.097 % ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของสารแลกเปลี่ยนความร้อน (น้ำร้อน) ของท่อทองแดง ให้น้ำภายในถัง พบว่า ในช่วงเวลา 12.00 – 13.00 P.M. เป็นช่วงที่ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 7.935 %

ประสิทธิภาพทางความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ของสารแลกเปลี่ยนความร้อน ในแผงรับรังสี (Efficient of Solar) กับปริมาณความร้อนที่ถึงน้ำร้อน ของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่าง ตลอดทั้งวัน (ภาพที่ 9)

จากภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนกับปริมาณความร้อนในถังน้ำร้อนของระบบอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบ จากผลการทดลองที่ปริมาณสารน้ำ 1 L ใช้ปริมาณน้ำ 10 L ตลอดทั้งวัน เริ่มทดลองเวลา 09.00A.M.-16.00P.M. พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบ ของน้ำที่เป็นด่าง ที่ค่า pH13 มีการถ่ายเทความร้อนมายังถึงเก็บน้ำร้อนมากที่สุด เท่ากับ 419.55 W มีประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 5.614 % รองลงมาคือ ที่ค่า pH11 มีการถ่ายเทความร้อนมายัง

ถึงเก็บน้ำร้อน เท่ากับ 395.16 W มีประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 5.287 % ที่ค่า pH9 มีการถ่ายเทความร้อนมายังถังเก็บน้ำร้อน เท่ากับ 366.14 W มีประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 4.90 % น้ำที่มีค่าเป็นกลาง ที่ค่า pH7 มีการถ่ายเทความร้อนมายังถังเก็บน้ำร้อน เท่ากับ 343.30 W มีประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 4.59 % และน้ำที่มีค่าเป็นกรดมีการถ่ายเทความร้อนมายังถังเก็บน้ำร้อนน้อยที่สุด คือ ที่ค่า pH5 มีการถ่ายเทความร้อนมายังถังเก็บน้ำร้อน เท่ากับ 322.98 W มีประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 4.32 % ที่ค่า pH3 มีการถ่ายเทความร้อนมายังถังเก็บน้ำร้อน เท่ากับ 301.110 W มีประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 4.03 % ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุด ในการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ จากกราฟที่แสดงผลการคำนวณของประสิทธิภาพทางความร้อนของสารแลกเปลี่ยนความร้อน ที่รับมาจากรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำในถังน้ำร้อน พบว่า ที่น้ำที่เป็นด่าง จะมีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ที่รับมาจากรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำในถัง ได้ดีกว่าน้ำที่มีค่าเป็นกลางและน้ำที่มีค่าเป็นกรด โดยเรียงลำดับ ดังนี้ น้ำที่มีค่าเป็นด่างที่ pH13 มากที่สุด รองลงมาคือ pH11, pH9, pH7, pH5 และ pH3 น้อยที่สุด

สรุป

ผลการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าน้ำที่มีค่า pH ที่สูง หรือน้ำที่เป็นด่าง จะมีประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อน ได้ดีกว่า น้ำที่มีค่าความ pH ที่ต่ำกว่า หรือเป็นกรดจากทั้ง 6 กรณี ใช้เวลาในการทดลองเท่ากัน คือ เริ่มทำการทดลองเวลา 09.00 A.M.-16.00 P.M. โดยข้อจำกัดของระดับความเข้มของรังสีอาทิตย์ น้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่าง สามารถไหลเวียนภายในระบบตลอดวันเพียง 4 ชั่วโมง โดยเลือกเวลาที่สารตัวกลางมีการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด คือ ในเวลา 12.30 P.M.พบว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำในถังน้ำร้อนของระบบอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบ ของน้ำที่เป็นด่าง ที่ค่า pH13 มีการถ่ายเทความร้อนมายังถังเก็บน้ำร้อนมากที่สุด เท่ากับ 73.537 W มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 7.12 % รองลงมาคือน้ำที่มีค่าความเป็นด่าง ที่ค่า pH11 มีการถ่ายเทความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำในถังน้ำร้อนเท่ากับ 68.89 W มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 6.67% น้ำที่มีค่าความเป็นด่างที่ค่า pH9 มีการถ่ายเทความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำในถังน้ำร้อน เท่ากับ 65.41W มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 6.33 % น้ำที่มีค่าความเป็นกลาง ที่ค่า pH7 มีการถ่ายเทความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำในถังน้ำร้อน เท่ากับ 61.92 W มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 5.99 % น้ำที่มีค่าความเป็นกรด ที่ค่า pH 5 มีการถ่ายเทความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำในถังน้ำร้อน เท่ากับ 58.44 W มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 5.66 % และน้ำที่เป็นกลางที่ค่า pH 3 มีการถ่ายเทความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์มาถ่ายเทให้กับน้ำในถังน้ำร้อนน้อยที่สุด เท่ากับ 54.57 W มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบทำน้ำร้อน เท่ากับ 5.28 % [7] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิเศษฐ์ ละมัย และคณะ พบว่าอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ให้ขนาดผลึกในระดับนาโน ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 13 ทำให้อนุภาคเกิดการกระจายตัวได้ดีที่สุด

สรุปผลการวิเคราะห์ในเวลา 12.30 P.M. พลังงานแสงอาทิตย์ ($\approx 900 \text{ W/m}^2$) ถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถังน้ำได้สูงสุด ($\approx 73.54 \text{ W}$) พบว่าคุณสมบัติของน้ำเป็นด่างมีสารละลาย $\text{H}_3\text{O}^+ = 1 \times 10^{-13}$ (pH=13) ซึ่งเป็นสารประกอบของโลหะแข็ง เช่น เหล็ก, ทองแดง ซึ่งจุดหลอมเหลวของเหล็กอยู่ที่อุณหภูมิ $1,538 \text{ }^\circ\text{C}$ และทองแดงอยู่ที่อุณหภูมิ $1,085 \text{ }^\circ\text{C}$ จากเหตุผลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าสารประกอบของน้ำที่มีส่วนประกอบของทองแดงจะมีคุณสมบัติการนำความร้อนได้ดีกว่าเหล็ก เพราะว่ามีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเหล็ก ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนได้สูงกว่าเหล็ก นอกจากนี้ยัง



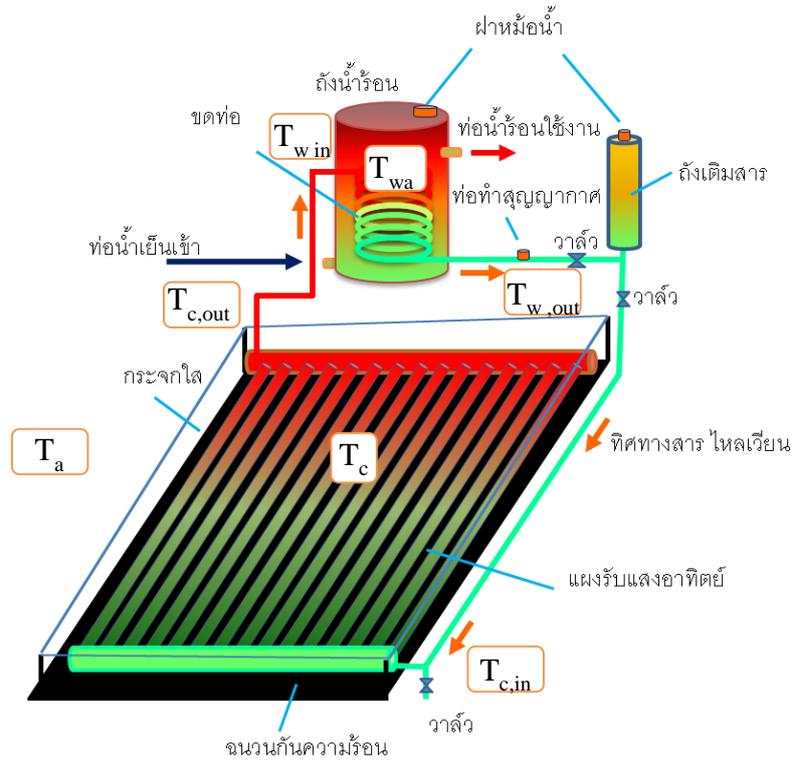
มีสารอินทรีย์ขั้วดคู่ ที่เป็นสารประกอบที่ผสมอยู่ในน้ำ ซึ่งสารเหล่านี้เมื่อได้พลังงานความร้อนสูงจะเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนได้สูงตามด้วย เพราะว่าจุดหลอมเหลวของอินทรีย์ขั้วดคู่เหล่านี้คงที่ ส่วนคุณสมบัติของน้ำที่เป็นกรดมีค่าสารละลาย $H_3O^+ = 1 \times 10^{-3}$ (pH=3) ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมีค่าความเข้มข้นต่ำ (pH) โลหะแข็ง (เหล็ก) จะละลายในน้ำได้ดี เพราะน้ำมีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ และเป็นการทดลองในระบบปิด ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีคุณสมบัติดังกล่าวจะถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี เพราะคุณสมบัติของน้ำมีความต้านทานการนำความร้อนเพิ่มขึ้น จากเหตุผลดังกล่าว ได้สรุปผลต่อการถ่ายเทความร้อนเท่านั้น มิได้กล่าวถึง การกักความร้อน, การแตกร้าวที่มีต่อพื้นผิวท่อ ดังนั้นการเลือกใช้คุณสมบัติของน้ำให้เหมาะสมนั้นย่อมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน, อุณหภูมิและคุณสมบัติของน้ำที่อยู่ในรูปของสารประกอบต่างๆ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้คำแนะนำและสนับสนุนการวิจัยจนกระทั่งสำเร็จ และขอขอบคุณคณะครู อาจารย์ นักศึกษาแผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคชุมพร ที่ได้สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

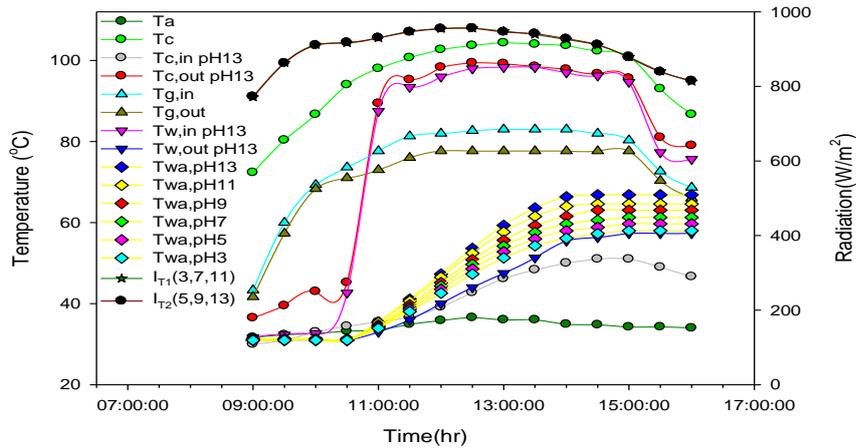
1. Jaremjit J. The size of the solar radiation collected in the distillation of ethanol. Faculty of Energy and Materials. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2536. Thai.
2. Hooncharoen M, et al. The result of temperature and pH in the stability of Anthocyanins in Mulberry Drink. Kasetsart University; 2551. Thai.
3. Phongrasamee U, et al. Adding hot water heating equipment performance shell and tube-type insert twisting the middle square for one single heat flow radiator [PhD thesis]. Phetchaburi Rajabhat University; 2557. Thai.
4. Wuttiwongsanon C. A Study of the economical-price efficiency of flat-plate Solar Collector. Energy and Supplies Department. King Mongkut's Institute of Technology; 2545. Thai.
5. Suparos T. Development of thermal energy storage by the principle of heat transfer direct. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2540. Thai.
6. Buapoom W, et al. Using Solar Energy in Biodiesel Production. King Mongkut's Institute of Technology; 2550. Thai
7. Lamai W, et al. The Emissivity of Copper oxide in water using different pH levels and Ultra Sonic, Burapa University; 2556. Thai.
8. Kotcharin J. Design and construction flat plate solar energy water using ethanol for heat exchanger. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2554. Thai.
9. Pongam K. Developing lightweight solar water heater for home use. Faculty of Energy and Materials. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2545. Thai.
10. DW. Lee, A. Sharma, Thermal performances of the active and passive water heating systems based on annual operation. Solar Energy. 2007; 81:207-215.



ภาพที่ 1 จุดวัดและทิศทางการไหลของน้ำที่ค่า pH ต่างๆ ของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

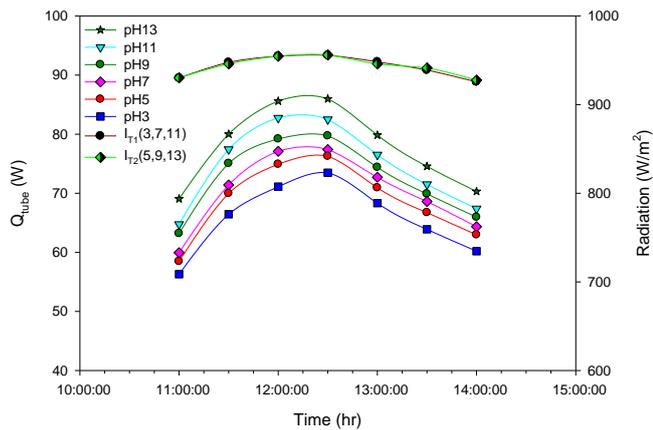


ภาพที่ 2 อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

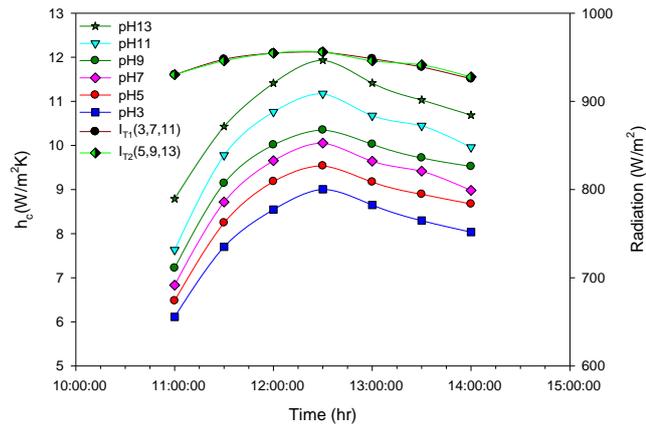


- | | | | |
|--------|-------------------------------------|----------------|--|
| Ta | = อุณหภูมิอากาศ | Tw,in | = อุณหภูมิน้ำเข้าถังน้ำร้อน |
| Tc | = อุณหภูมิภายในแผงรับรังสีอาทิตย์ | Tw,out | = อุณหภูมิน้ำออกจากถังน้ำร้อน |
| Tc,in | = อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ | Tg,in | = อุณหภูมิผิวกระจกภายในแผงรับรังสีอาทิตย์ |
| Tc,out | = อุณหภูมิน้ำออกแผงรับรังสีอาทิตย์ | Tg,out | = อุณหภูมิผิวกระจกภายนอกแผงรับรังสีอาทิตย์ |
| Twa | = อุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อน | I _T | = ค่ารังสีอาทิตย์ |

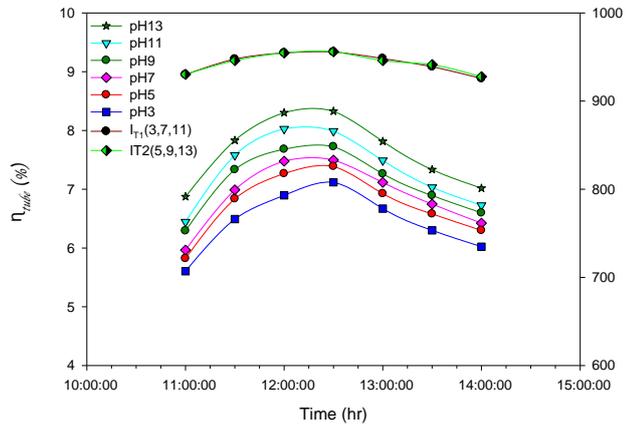
ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าที่วัดได้จากการทดลองของน้ำที่เป็นค่า pH13 และอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อน (Twa) ของน้ำที่ค่า pH11, pH9, pH7, pH5, pH3 ในการทดลองตั้งแต่เวลา 9.00 A.M.- 16.00 P.M. ของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้น้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่างเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน



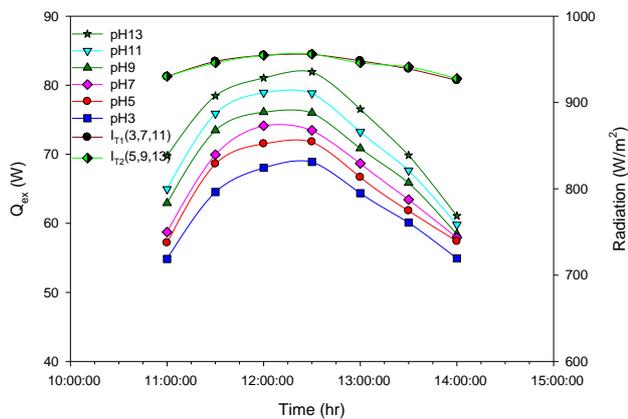
ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในต่อกับเวลา ของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลาง และน้ำที่เป็นด่าง



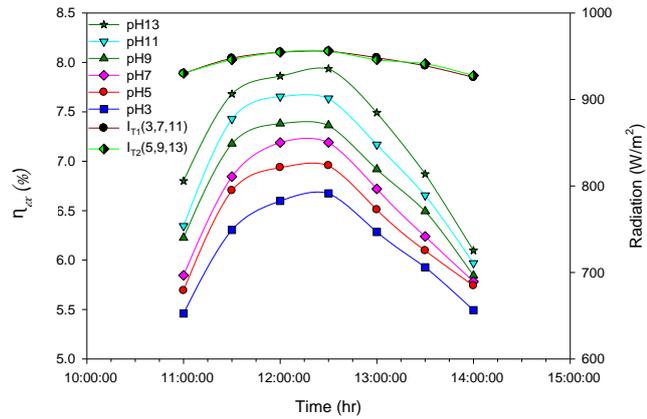
ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในต่อกับระยะเวลา ของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง



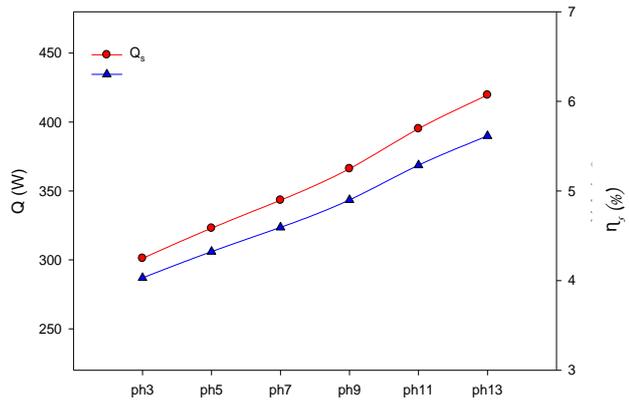
ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผงรับพลังงานรังสีอาทิตย์กับระยะเวลา ของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง



ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ให้กับน้ำภายในถัง กับเวลา ของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง



ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของสารแลกเปลี่ยนความร้อนในท่อทองแดงกับเวลา ของน้ำที่อุณหภูมิเป็นกรด เป็นกลางและเป็นด่าง



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนกับปริมาณความร้อนในถึงน้ำร้อน ของน้ำที่เป็นกรด น้ำที่เป็นกลางและน้ำที่เป็นด่าง