

การเปรียบเทียบชนิดแผ่นดูดซับความร้อนอลูมิเนียมและสังกะสี ในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นบันไดกระจกสองชั้นเอียงด้านเดียว

ชวิตร ปุคะภาค^{1*} และ สรวินท์ ปุคะภาค²

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ ได้ทำการการเปรียบเทียบชนิดแผ่นดูดซับความร้อนอลูมิเนียมและสังกะสีที่จมน้ำที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นบันไดกระจกสองชั้นเอียงด้านเดียว โดยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบชนิดแผ่นดูดซับความร้อนทั้งสองชนิด โดยวางไว้ในน้ำชั้นที่สองของเครื่องกลั่นน้ำ ในการทดลองได้เปลี่ยนขนาดของแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีจากขนาด 4-8 m² ของพื้นที่ผิวน้ำชั้นสอง จากนั้นได้ทำการวัดปริมาณน้ำกลั่นที่ได้และคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำ พบว่าแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาด 4 m² ได้ปริมาณน้ำกลั่นมากที่สุดเท่ากับ 1,629 ml/day และ 1,506 ml/day มีประสิทธิภาพเฉลี่ยสะสมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 26.11% และ 25.56% นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาด 8 m² ได้ปริมาณน้ำกลั่นน้อยที่สุดเท่ากับ 1,461 ml/day และ 1,369 ml/day มีประสิทธิภาพเฉลี่ยสะสมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 22.95% และ 22.52% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบชนิดแผ่นดูดซับความร้อนทั้งสองแล้ว พบว่าแผ่นอลูมิเนียมมีประสิทธิภาพดีกว่าแผ่นสังกะสีเนื่องจากมีค่าความร้อนที่สูงกว่า และพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำมีค่าลดลงเมื่อขนาดแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีเพิ่มมากขึ้น โดยพื้นที่ของแผ่นดูดซับความร้อนที่มีพื้นที่น้อยจะทำให้เครื่องกลั่นน้ำมีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อนที่มีพื้นที่มากจะบดบังแสงอาทิตย์ที่จะส่งผ่านความร้อน ไปยังชั้นที่หนึ่งของเครื่องกลั่นน้ำทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำลดลง

คำสำคัญ : เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพ ตัวดูดซับความร้อน อลูมิเนียม สังกะสี

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

² สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล, คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: chawis_champion@yahoo.com รับเมื่อ 23 เมษายน 2558 ตอบรับเมื่อ 19 มิถุนายน 2558

Comparison of Aluminum and Zinc as a Heat Absorber in Double-Step Solar Still

Chawisorn Phukapak^{1*} and Sorawin Phukapak²

Abstract

This paper presents the effect of size of the heat absorber from aluminum and zinc on the efficiency of double slope solar still. Aluminum and Zinc was chosen to use as heat absorber and was put on the water surface in the second layer of the solar still. The size of Aluminum and Zinc used in the experiment has divided 9 sizes from 4-8 m² of the surface of the water in the second layer of the solar still. The temperature, condensed water and efficiency of solar still were measured and calculated in the experiment. The result showed that using the size of 4 m² of Aluminum and Zinc absorber has the maximum condensed water at 1,629 ml/day and 1,506 ml/day has the efficiency at 26.11% and 25.56%. The result showed that using the size of 4 m² of Aluminum and Zinc absorber has the minimum condensed water at 1,461 ml/day and 1,369 ml/day has the efficiency at 22.95% and 22.52%. Comparing both types of absorber at aluminum and zinc performs better due to the higher heating value. The result revealed that the efficiency of solar decreased according with an increased in the size of Aluminum and Zinc absorber.

Keywords : Solar still, Efficiency, Absorber, Aluminum, Zinc

¹ Department of Engineering Management , Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakam University.

² Department of Mechanical Technology , Faculty of Technology, Rajabhat Udonthani University.

* Corresponding author, E-mail: chawis_champion@yahoo.com Received 23 April 2015, Accepted 19 June 2015

1. บทนำ

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกโดยเฉพาะมนุษย์เรานั้นมีความต้องการน้ำที่ถูกต้องลักษณะเพื่อการอุปโภคบริโภคอย่างเพียงพอ แต่ในปัจจุบันประชากรมนุษย์ได้เพิ่มสูงขึ้นทุกวันจึงเกิดความต้องการน้ำสะอาดเพิ่มขึ้นด้วยในปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนน้ำดื่มที่สะอาดตามชนบท จึงทำให้เกิดการวิจัยที่จะทำให้ น้ำกร่อยหรือน้ำเค็ม [1] เหล่านั้นกลายมาเป็นน้ำจืดที่มีความเหมาะสมต่อการบริโภคด้วยวิธีการกลั่นน้ำกลั่นน้ำด้วยเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เป็นกรรมวิธีหนึ่งที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถกลั่นน้ำที่มีความสกปรกมากๆ ได้โดยเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนัก อีกทั้งยังลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเพียงพอตลอดปี และเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้พลังงานทดแทนให้มากขึ้นและลดการใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งปัจจุบัน มีราคาแพงมากขึ้นเรื่อยๆ และยังส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการผลิตน้ำกลั่นด้วย ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะหาพลังงานมาทดแทนการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นพลังงานในการทำน้ำกลั่นในประเทศไทยเพราะมีต้นทุนในการผลิตไม่สูงมากนัก แต่เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบันยังมีค่าประสิทธิภาพไม่สูงมากนักผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงมีนักวิจัยจำนวนมากได้ทำการออกแบบและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวจึงได้นำเอา

แนวความคิด [2-3] โดยการรวมแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มแสงตกกระทบลงมาบนแผ่นกระจกเพื่อเพิ่มและสะสมความร้อนโดยการวางเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในทิศตะวันออกและตะวันตกมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการผลิตน้ำกลั่นพลังงานแสงอาทิตย์ [4] และเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น [5-7] ย่อมมีอิทธิพลในการทำมุมเอียงกับเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์นักวิจัยจึงได้ทำการศึกษาการทำมุมเอียงแบบต่างๆคือทำมุม 4, 10 และ 14°C [8-11] ซึ่งรวมถึงการใช้พื้นผิวสะท้อน 15, 16, 40, และ 23°C [6, 12-15] แต่มุมที่เหมาะสมที่สุดในประเทศไทยคือมุม 14°C และในช่วงฤดูหนาวสามารถผลิตน้ำกลั่นได้ดีที่สุดในประเทศไทย [14]

นอกจากนี้นักวิจัยได้ทำการศึกษานากระดับความลึกต้นของน้ำที่กลั่นชั้นเดียวและสองชั้น [9, 16] ผู้วิจัยพบว่าการผลิตน้ำกลั่นเพิ่มขึ้นถึง 14% และเมื่อเพิ่มระดับความลึกต้น 2-7 cm [5] พบว่าระดับความลึกระหว่าง 2-6 cm เป็นระดับความลึกต้นที่เหมาะสมที่สุด [10] จากการศึกษาความลึกของระดับน้ำกลั่นลดลงจาก 0.5 cm ถึง 6 cm ทำให้การผลิตดีขึ้น 19% [13] และได้ทำการศึกษาการลดช่องว่างระหว่างพื้นผิวของน้ำหน้าและแผ่นกระจกที่ระดับ 8-13 cm ซึ่งมีผลในการผลิตน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น 11% [17] ดังนั้นพบว่าระดับความลึกต้นส่งผลต่อการผลิตน้ำกลั่น [18-20] และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วย [21] ส่งผลกระทบต่อเครื่องกลั่นน้ำแบบชั้นเดียวและสองชั้น [22]

นอกจากนี้ได้ทำการเพิ่มตัวดูดซับความร้อนตามแนวคิดของ A.S. Nafey et al. [23] ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพมากกว่ากรณีที่ไม่มีการใช้ตัวดูดซับความร้อนและนักวิจัยได้ทำการศึกษาตัวดูดซับความร้อนที่ได้ทำการ

ทดลองคือยางมะตอย [14, 24] แผ่นเหล็กอ่อน [25] หรือเหล็กชุบสังกะสี [26-27] และถ่าน [28-29] และการทำสีต่างๆในวัสดุที่ทำการทดลอง [30] ในขณะที่การใช้ฝาครอบเป็นวัสดุโปร่งใสทำจากแก้วหรือพลาสติก [4, 6, 13] และวัสดุที่ดูดซับความร้อนที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองคือ ยูรีเทน สไตรีน [4] ไม้ [13] และโฟม [26] ต่อมานักวิจัยได้สร้างเครื่องกลั่นน้ำและศึกษาผลของพื้นที่เอียงและแผ่นดูดซับแสงแดด [31] โดยใช้ขนแกะปูรองพื้นเพื่อทำให้เกิดการกระจายตัวของน้ำอย่างสม่ำเสมอ ผลปรากฏว่าแผ่นดูดซับแสงแดดที่ใช้ขนแกะรองจะสามารถกลั่นน้ำได้มากกว่าแผ่นที่เปลือยเปล่า 2-3 เท่า ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดและมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้กลั่นน้ำ

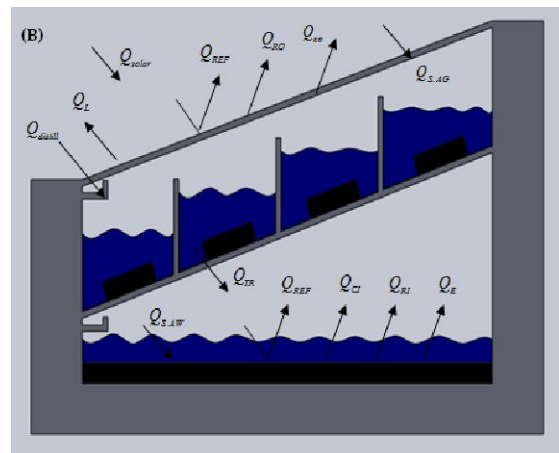
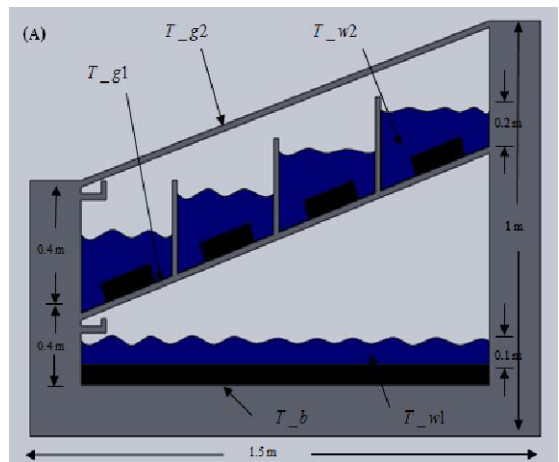
ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำโดยการทดลองนำแผ่นตัวดูดซับความร้อนอลูมิเนียมและสังกะสีซึ่งมีการนำความร้อนสูงมาใช้ซึ่งการนำมาใช้จะต้องวางบนน้ำชั้นสอง แต่ในปัจจุบันยังไม่ทราบขนาดที่เหมาะสม จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบขนาดของแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นบันไดจะกระจกลงชันเอียงด้านเดียว

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

การวิจัยในครั้งนี้ได้นำเครื่องกลั่นน้ำแบบชั้นบันได กระจกลงชันเอียงด้านเดียวมาใช้ในการทดลองมีขนาดพื้นที่ฐานเท่ากับ $1.5 \times 1 \text{ m}^2$ โดยมีความสูงของแต่ละชั้นเป็น 40 cm แต่ละชั้นมีรูระบายน้ำเข้าและน้ำออกอยู่

ภายใน พื้นที่ด้านล่างของเครื่องกลั่นน้ำบรรจุด้วยฉนวน และตัวดูดซับความร้อน กระจกลงชันด้านเดียวทำมุม 14°C ชั้นบนได้ออกแบบเป็นลักษณะแบบขั้นบันได การที่ทำให้ชั้นบนเป็นขั้นบันไดเพื่อต้องการเพิ่มพื้นที่ผิวน้ำ ให้ได้รับพลังงานความร้อนมากขึ้นโดยจะทำการเพิ่มตัวดูดซับความร้อน โดยใช้แผ่นตัวดูดซับที่ชั้นบนเพื่อให้ความร้อนแก่น้ำ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

2.2 วิธีการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องกลั่นน้ำ ปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวันในแต่ละชั้นและนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบซึ่งมีตัวดูดซับความร้อน โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีมาทำการทดลอง โดยแบ่งขนาดของแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีเท่ากับ $4-8 \text{ m}^2$ ของพื้นที่ผิวน้ำชั้นบน โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ติดตั้ง Thermo Couple Type J ตามจุดต่างๆ 5 จุดที่ $T_b, T_w, T_{g1}, T_{wf}, T_{g2}$ แล้วต่อ Thermo Couple เข้ากับ Precision RTD Thermometer มีความละเอียด 0.01°C เพื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิในแต่ละจุดเติมน้ำที่จะทำการทดลองที่ชั้นล่าง 70 ลิตรและชั้นบน 30 ลิตร
2. นำตัวดูดซับความร้อนที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีมาทดลองโดยแบ่งเป็นขนาดเท่ากับ $4-8 \text{ m}^2$ ของพื้นที่ผิวน้ำ โดยติดตั้งที่ชั้นบนของเครื่องลาดเอียงไปทางทิศใต้
3. วัดปริมาณน้ำกลั่นด้วยถ้วยตวง ใช้ Flow meter วัดความเร็วลม และใช้ Thermometer แบบกระเปาะเป็ยกและกระเปาะแห้งวัดอุณหภูมิ เพื่อหาความชื้นสัมพัทธ์
4. วัดค่าที่ได้ตามจุดต่างๆ ทุก 1 ชั่วโมงเริ่มวัดเมื่อเวลา 01.00 จนไปถึงเวลา 24.00 ของวันต่อมา

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการคำนวณ

3.1 การกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

หลักการทำงาน การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะถูกส่งผ่านไปยังแผ่นปิดโปรงแสงที่อยู่ด้านบน ซึ่งอาจเป็นกระจกหรือพลาสติก รังสีดวงอาทิตย์จะถูกดูดซับความร้อนด้วยน้ำคิบบที่อยู่ใต้อ่าง เมื่อน้ำถูกทำให้ร้อนขึ้น

น้ำก็จะระเหยตัวเนื่องจากความดันไอเพิ่มขึ้นและไอน้ำระเหยตัวขึ้นไปยังแผ่นกระจกด้านบนโดยการพาความร้อนซึ่งไอน้ำจะถูกกลั่นตัวบริเวณด้านล่างของแผ่นกระจก ดังนั้นแผ่นกระจกจึงต้องมีความลาดเอียงอย่างเพียงพอที่จะทำให้ไอน้ำกลั่นไหลไปยังรางน้ำโดยปราศจากการหยดของน้ำกลับลงไปยังอ่างรางน้ำจะ ต้องมีความลาดเอียงอย่างเหมาะสมไปตามความยาวของเครื่องกลั่น เพื่อที่จะทำให้ไอน้ำที่กลั่นได้ไหลไปยังภาชนะรองรับที่อยู่ด้านล่างของเครื่องกลั่นต่อไป

3.2 การส่งผ่านพลังงานในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

การส่งผ่านพลังงานส่วนใหญ่ที่เข้าไปในเครื่องกลั่นน้ำจะเกิดการสูญเสียขึ้นภายในระบบซึ่งจะมีผลต่ออัตราการกลั่นน้ำให้มีค่าสูงสุด เมื่อการส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ไปยังเครื่องกลั่นน้ำจะมีเพียงรังสีส่วนหนึ่งที่สามารถผ่านเข้าไปยังเครื่องกลั่นน้ำได้ เนื่องจากมีการสะท้อนของรังสีที่บริเวณฝาครอบเครื่องกลั่นน้ำนั่นเอง รังสีที่ผ่านเข้าไปสู่ภายในเครื่องกลั่นน้ำได้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนสะสมอยู่ภายในเครื่องกลั่นน้ำและรังสีส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวดูดซับ รังสีความร้อนที่สะสมภายในเครื่องกลั่นน้ำ จะเกิดการสูญเสียออกไปในหลายๆลักษณะด้วยกัน ดังนี้

1. พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งถูกดูดกลืนเข้าไปในฝาครอบ ($Q_{S,AG}$)
2. พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านฝาครอบ (Q_{TR})
3. พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านฝาครอบและถูกดูดกลืนโดยน้ำ ($Q_{S,AW}$)

4. พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวฝากรอบออกไปสู่บรรยากาศด้วยการแผ่รังสีความร้อน (Q_{RO})

5. พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวฝากรอบออกไปสู่บรรยากาศด้วยการพาความร้อน (Q_{CO})

6. พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากพื้นผิวน้ำไปสู่ฝากรอบด้วยการแผ่รังสีความร้อน (Q_{RI})

7. พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากพื้นผิวไปสู่ฝากรอบด้วยการพาความร้อน (Q_{CI})

8. พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปตามด้านข้างและด้านล่างของเครื่องกลั่นน้ำ (Q_L)

9. พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทจากน้ำไปสู่ฝากรอบด้วยการแผ่ไปกับไอที่ระเหย (Q_E)

10. พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับน้ำที่กลั่นได้ออกไปสู่ภายนอกตัวเครื่องกลั่นน้ำ ($Q_{distill}$)

ซึ่งสามารถคำนวณหาพลังงานในส่วนต่างๆของเครื่องกลั่นน้ำได้ โดยอาศัยการสมดุลพลังงาน ในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนี้

1. สมดุลพลังงานความร้อนที่ฉนวน

$$m_b C_{pb} \frac{dT_b}{dt} = I(t)A_b - q_{cbw} - q_{loss} \quad (1)$$

2. สมดุลพลังงานความร้อนที่น้ำชั้นที่ 1

$$m_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = I(t)A_w + q_{cbw} - q_{rwg1} - q_{cwg1} - q_{ewg1} \quad (2)$$

3. สมดุลพลังงานความร้อนที่ผิวกระจกชั้นที่ 1

$$m_g C_{pg} \frac{dT_{g1}}{dt} = I(t)A_{g1} + q_{rwg1} + q_{cwg1} + q_{ewg1} - q_{cg1wf} \quad (3)$$

4. สมดุลพลังงานความร้อนที่น้ำชั้นที่ 2

$$m_{wf} C_{pw} \frac{dT_{wf}}{dt} = I(t)A_{wf} + q_{cg1wf} - q_{cwf g2} - q_{rwf g2} - q_{ewf g2} + q_{absorber} \quad (4)$$

5. สมดุลพลังงานความร้อนที่ผิวกระจกชั้นที่ 2

$$m_g C_{pg} \frac{dT_{g2}}{dt} = I(t)A_{g2} + q_{cwf g2} + q_{rwf g2} + q_{ewf g2} - q_{rg2,sky} - q_{cg2,a} \quad (5)$$

6. อัตราการควบแน่นรวมทั้งสองชั้น

$$\frac{dm_c}{dt} = h_{ewg1} \frac{(T_w - T_{g1})}{h_{fg @ T_w}} + h_{ewf g2} \frac{(T_{wf} - T_{g2})}{h_{fg @ T_{wf}}} \quad (6)$$

จากสมการที่ (1) - (5) เป็นการสมดุลพลังงานความร้อนจากตำแหน่งต่างๆของเครื่องกลั่นน้ำ โดยกำหนดค่า T_b , T_w , T_{g1} , T_{wf} , T_{g2} คืออุณหภูมิที่ฉนวนชั้นล่าง ผิวน้ำชั้นล่าง ผิวกระจกชั้นล่าง ผิวน้ำชั้นบน และผิวกระจกชั้นบน และ ค่า m_b , m_w , m_g , m_{wf} , m_c คือมวลของฉนวนชั้นล่าง น้ำชั้นล่าง กระจก น้ำชั้นบน และมวลน้ำกลั่น และนำไปแทนค่าลงในสมการที่ (1) - (5) จะได้ค่า \dot{m}_c คืออัตราการควบแน่นดังสมการที่ (6) จากนั้นสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพ (η) ได้จากสมการที่ (8)

3.3 การหาค่าพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซึมโดยวัสดุ

สูตรโดยทั่วไปในการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซึมโดยวัสดุ [32]

$$q_{absorber} = \alpha(I_b \tau_{wb} + I_d \tau_{wd}) \quad (7)$$

เมื่อ α คือค่าการดูดซึมรังสีของวัตถุ I_b คือค่ารังสีอาทิตย์ตรงรายชั่วโมงบนระนาบในแนวระดับ I_d คือค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมงบนระนาบในแนวระดับ τ_{wb} คือค่าการส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศ เนื่องจากการดูดกลืนโดยไอน้ำ τ_{wd} คือค่าการส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศเนื่องจากการกระเจิงโดยไอน้ำ

3.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

สูตรโดยทั่วไปในการคำนวณหาประสิทธิภาพ (η) เป็นดังนี้ [23]

$$\eta = \frac{\sum \dot{m}_c h_{fg}}{\sum I} \quad (8)$$

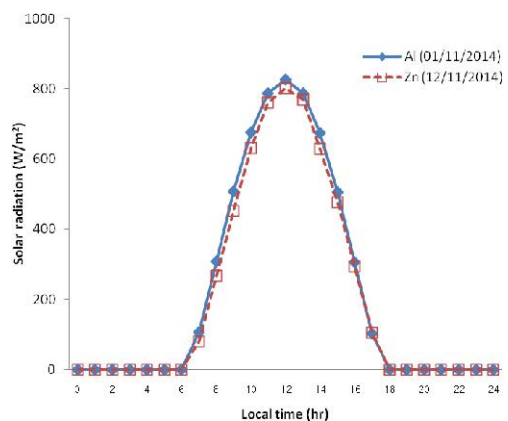
เมื่อ \dot{m}_c คืออัตราการควบแน่น h_{fg} คือค่าความร้อนแฝงของน้ำ และ I คือค่าความเข้มแสงอาทิตย์

4. วิธีการคำนวณ

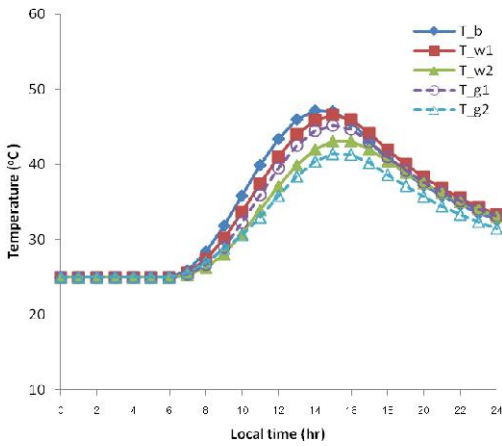
การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ได้ใช้โปรแกรม Engineering Equation Solver (EES) โดยเริ่มต้นจะต้องกำหนดค่าคงที่ต่างๆในหัวข้อข้างต้น โดยค่าความเข้มแสงอาทิตย์สามารถคำนวณจากฟังก์ชัน Solar ซึ่งจะทำได้สามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิ T_b , T_w , T_{g1} , T_{wf} , T_{g2} โดยใช้สมการที่ (1)-(6) จากนั้นคำนวณหาพลังงานความร้อนแฝง (h_{fg}) ของน้ำทั้งสองชั้นเพื่อที่หาอัตราการควบแน่น (\dot{m}_c) เมื่อได้อัตราการควบแน่นก็จะสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จากสมการที่ 8

5. ผลการวิจัยและอภิปราย

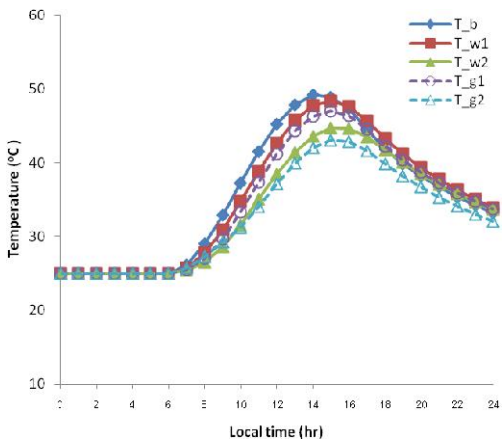
ในการทดลองโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาด 4-8 m² ของพื้นผิวของน้ำชั้นสองซึ่งได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวันและคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของน้ำกลั่น โดยผู้วิจัยขอเสนอผลการทดลอง กรณีใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาดเท่ากับ 4 m² ซึ่งได้ดำเนินการทดลองในวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ.2557 โดยแผ่นอลูมิเนียมมีความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดทั้งวัน 487.92 W/ m² เวลาที่ให้ค่าความเข้มแสงมากที่สุดคือเวลา 12.00 น. มีค่าเป็น 835.35 W/ m² และทดลองแผ่นสังกะสีในวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ.2557 โดยมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดทั้งวัน 467.05 W/ m² เวลาที่ให้ค่าความเข้มแสงมากที่สุดคือเวลา 12.00 น. มีค่าเป็น 811.52 W/ m² โดยแสงอาทิตย์เริ่มส่องสว่าง เวลา 07.00 และสิ้นสุดลงที่เวลา 18.00 น. ซึ่งแสงอาทิตย์มีความเข้มแสงยาวนาน 12 ชั่วโมง



รูปที่ 2 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน



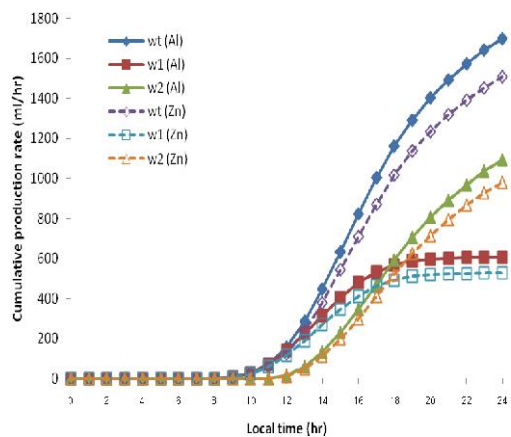
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องกลั่นน้ำ เมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมขนาด 4 m²



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องกลั่นน้ำ เมื่อใช้แผ่นสังกะสีขนาด 4 m²

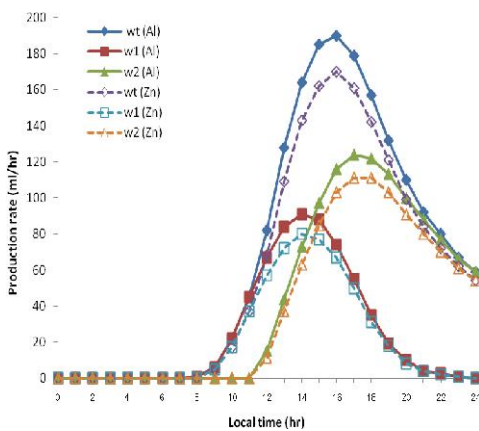
จากรูปที่ 3 และ 4 แสดงค่าอุณหภูมิจากการคำนวณ ณ จุดต่างๆภายในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ของ แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาด 4 m² พบว่า อุณหภูมิแตกต่างกันที่ผิวกระจกชั้นที่หนึ่ง (T_{g1}) กับ

ผิวน้ำชั้นที่หนึ่ง (T_w) มีค่าแตกต่างกับอุณหภูมิแตกต่างของผิวกระจกชั้นที่สอง (T_{g2}) กับผิวน้ำชั้นที่สอง (T_{w2}) โดยพบว่าในชั้นที่สองมีความแตกต่างกันระหว่างผิวน้ำกับผิวกระจกมากกว่าในชั้นที่หนึ่ง ณ เวลา 15.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่อุณหภูมิสูงสุดระหว่างที่ผิวกระจกกับผิวน้ำของทั้งสองชั้น และอุณหภูมิสูงสุดตลอดทั้งวันของแผ่นอลูมิเนียมมีค่าเท่ากับ 48.39°C โดยชั้นที่สองมีความแตกต่างระหว่างผิวน้ำกับผิวกระจกเท่ากับ 1.68°C ส่วนในชั้นที่หนึ่งมีความแตกต่างระหว่างผิวน้ำกับผิวกระจกเท่ากับ 1.37°C สำหรับกรณีแผ่นสังกะสีพบว่าอุณหภูมิสูงสุดตลอดทั้งวันของแผ่นสังกะสีมีค่าเท่ากับ 46.56°C โดยชั้นที่สองมีความแตกต่างระหว่างผิวน้ำกับผิวกระจกเท่ากับ 1.57°C ส่วนในชั้นที่หนึ่งมีความแตกต่างระหว่างผิวน้ำกับผิวกระจกเท่ากับ 1.24°C ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ชั้นที่ 2 มีอัตราการควบแน่นมากกว่าชั้นที่ 1 (ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3) และน้ำยังมีการควบแน่นอยู่เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์เพราะ มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวกระจกและผิวน้ำยังคงเกิดขึ้นอยู่แต่มีค่าน้อยทำให้ อัตราการควบแน่นลดน้อยลง

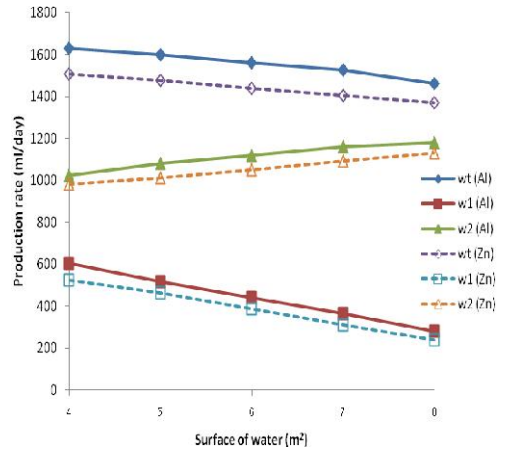


รูปที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวัน เมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาด 4 m²

จากรูปที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวันรวมทั้งสองชั้นเมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาด 4 m² โดยแผ่นอลูมิเนียมได้ปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งเท่ากับ 605 ml/day ได้ปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่สองเท่ากับ 1,094 ml/day และมีปริมาณน้ำกลั่นรวมทั้งสองชั้นเท่ากับ 1,699 ml/day และแผ่นสังกะสีได้ปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งเท่ากับ 526 ml/day ได้ปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่สองเท่ากับ 980 ml/day และมีปริมาณน้ำกลั่นรวมทั้งสองชั้นเท่ากับ 1,506 ml/day และจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวันรวมทั้งสองชั้น เมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีพบว่าเริ่มมีน้ำกลั่นเมื่อเวลา 09.00 น. และช่วงที่มีปริมาณน้ำกลั่นดีที่สุดคือช่วงเวลา 13.00 - 18.00 น. มีปริมาณกลั่นน้ำที่ดีกว่าช่วงอื่น เนื่องจากกราฟมีความชันมากที่สุดของตลอดทั้งวัน ในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์คือช่วงเวลา 07.00 - 09.00 น. แต่เครื่องยังไม่มีอัตราการกลั่นน้ำเนื่องมาจากน้ำต้องใช้เวลาในการสะสมความร้อนจนถึงค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอพอจะระเหยไปสู่ผิว กระจกและทำการควบแน่นต่อไป



รูปที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สองในแต่ละชั่วโมง เมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาด 4 m²



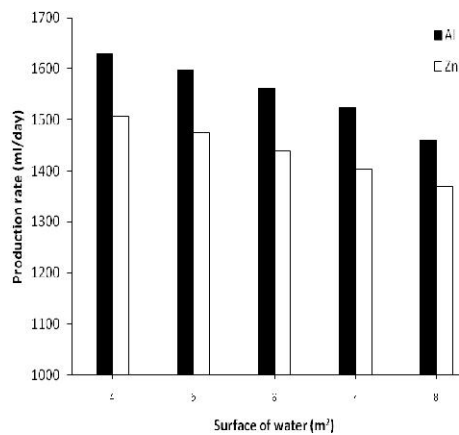
รูปที่ 7 ความแตกต่างของปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สองตลอดทั้งวันต่อขนาดพื้นที่รับความร้อนเมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสี

จากรูปที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สองในแต่ละชั่วโมง เมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีในการทดลอง พบว่าเริ่มมีปริมาณน้ำกลั่นเมื่อเวลา 09.00 น. และช่วงที่มีปริมาณน้ำกลั่นดีที่สุดคือช่วงเวลา 13.00 - 18.00 น. มีปริมาณกลั่นน้ำที่ดีกว่าช่วงอื่น โดยการนำแผ่นอลูมิเนียมมาทำการทดลองพบว่าน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งได้ปริมาณน้ำกลั่นออกมาก่อนในช่วงเวลา 09.00 น. ส่วนน้ำกลั่นชั้นที่สองยังไม่มีการกลั่นเกิดขึ้น จนถึงเวลา 11.00 น. น้ำกลั่นชั้นที่สองจึงมีน้ำกลั่นเกิดขึ้นแต่ก็ยังมีปริมาณน้ำกลั่นน้อยกว่าชั้นที่หนึ่งจนเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 15.00 น. น้ำกลั่นชั้นที่สองมีปริมาณน้ำกลั่นเพิ่มขึ้นจนมีปริมาณน้ำกลั่นมากกว่าชั้นที่หนึ่งและหลังจากช่วงเวลา 15.00 น. ปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งเริ่มมีปริมาณน้ำกลั่นลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากความร้อนที่สะสมในชั้นที่หนึ่งมีค่าลดลงทำให้ปริมาณ

น้ำกลั่นลดลงเพราะความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ส่งผ่านจากชั้นที่สองก่อนค่อยส่งผ่านมายังชั้นที่หนึ่ง แต่ปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่สองยังคงกลั่นน้ำได้ตามปกติ เนื่องจากมีความร้อนสะสมอยู่มาก จนถึงช่วงเวลา 18.00 น. จึงมีอัตราการกลั่นน้ำลดลง และน้ำยังมีการควบแน่นอยู่เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์เพราะมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวกระจกและผิวน้ำยังคงเกิดขึ้นอยู่แต่มีค่าน้อยทำให้อัตราการควบแน่นลดน้อยลง

จากรูปที่ 7 แสดงความแตกต่างปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สองตลอดทั้งวันเมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสี พบว่าความแตกต่างของปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่สองมากกว่าปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่ง แต่เมื่อเปรียบเทียบแผ่นดูดซับความร้อนแผ่นอลูมิเนียมขนาด 4-8 m² จากการทดลองพบว่าแผ่นดูดซับความร้อนแผ่นอลูมิเนียมขนาด 4 m² มีปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งมากที่สุดเท่ากับ 605 ml/day และมีปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่สองน้อยที่สุดเท่ากับ 1,024 ml/day แต่จะแปรผกผันกับแผ่นดูดซับความร้อนอลูมิเนียมขนาด 8 m² โดยมีปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งน้อยที่สุดเท่ากับ 280 ml/day และมีปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่สองมากที่สุดเท่ากับ 1,181 ml/day และแผ่นสังกะสีขนาด 4-8 m² จากการทดลองพบว่าแผ่นดูดซับความร้อนแผ่นสังกะสีขนาด 4 m² มีปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งมากที่สุดเท่ากับ 526 ml/day และมีปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่สองน้อยที่สุดเท่ากับ 980 ml/day แต่จะแปรผกผันกับแผ่นดูดซับความร้อนสังกะสีขนาด 8 m² โดยมีปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่หนึ่งน้อยที่สุดเท่ากับ 238 ml/day และมีปริมาณน้ำกลั่นชั้นที่สองมากที่สุดเท่ากับ 1,131 ml/day เนื่องจากการ

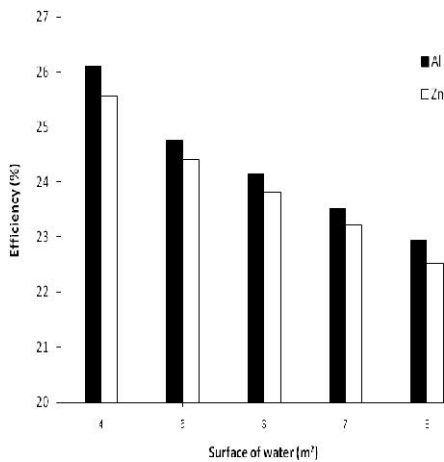
ส่งผ่านความร้อนของแผ่นดูดซับความร้อนที่มีพื้นที่น้อยจะได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปยังชั้นที่หนึ่งดีกว่าแผ่นดูดซับความร้อนที่มีพื้นที่มากเพราะมีขนาดพื้นที่ของแผ่นดูดซับความร้อนในชั้นที่สองบังแสงอาทิตย์ที่น้อยกว่า ดังนั้นแผ่นดูดซับความร้อนที่มีพื้นที่มากจะบังแสงอาทิตย์ที่จะส่งผ่านความร้อนไปยังชั้นที่หนึ่งของเครื่องกลั่นน้ำซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำลดลง



รูปที่ 8 ปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวันเมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาดต่างๆ

พิจารณารูปที่ 8 ปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวันเมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบการทดลองโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสี พบว่าแผ่นอลูมิเนียมขนาด 4-8 m² มีปริมาณการกลั่นน้ำสะสมตลอดทั้งวันมากกว่าแผ่นสังกะสีทุกขนาดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยแผ่นอลูมิเนียมขนาด 4 m² มีปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวันมากที่สุดเท่ากับ 1,629 ml/day และแผ่นอลูมิเนียมขนาด 8 m² มีปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวันน้อย

ที่สุดเท่ากับ 1,461 ml/day ส่วนแผ่นสังกะสีขนาด 4 m² มีปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวันมากที่สุดเท่ากับ 1,506 ml/day และแผ่นสังกะสีขนาด 8 m² มีปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวันน้อยที่สุดเท่ากับ 1,369 ml/day



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพสะสมเฉลี่ยตลอดทั้งวันเมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 9 ประสิทธิภาพสะสมเฉลี่ยตลอดทั้งวันเมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีขนาดต่างๆและจากการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบการทดลองโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสี พบว่าแผ่นอลูมิเนียมที่มีขนาด 4-8 m² มีประสิทธิภาพสะสมเฉลี่ยตลอดทั้งวันมากกว่าแผ่นสังกะสีทุกขนาดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยแผ่นอลูมิเนียมที่มีขนาด 4 m² มีประสิทธิภาพสะสมเฉลี่ยตลอดทั้งวันสูงที่สุดเท่ากับ 26.11% ส่วนแผ่นสังกะสีที่มีขนาด 4 m² มีประสิทธิภาพสะสมเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 25.56%

จากนั้นได้ทำการกลั่นน้ำโดยใช้เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจกสองชั้นเอียงด้านเดียว แต่ได้เปลี่ยนขนาดของแผ่นดูดซับความร้อนอลูมิเนียม

และแผ่นดูดซับความร้อนสังกะสีที่มีขนาดแตกต่างกันเท่ากับ 4-8 m² โดยมีผลลัพธ์ของการทดลองและการคำนวณหาประสิทธิภาพดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองแผ่นดูดซับความร้อนอลูมิเนียมและสังกะสีขนาดต่างๆ

Material	Solar radiation (W/ m ²)	Total daily Production (ml/day)	Efficiency (%)
อลูมิเนียม (4 m ²)	487.92	1,629	26.11
อลูมิเนียม (5 m ²)	465.94	1,597	24.76
อลูมิเนียม (6 m ²)	486.06	1,561	24.15
อลูมิเนียม (7 m ²)	496.28	1,525	23.51
อลูมิเนียม (8 m ²)	516.28	1,461	22.95
สังกะสี (4 m ²)	467.05	1,506	25.56
สังกะสี (5 m ²)	476.15	1,475	24.40
สังกะสี (6 m ²)	463.22	1,439	23.81
สังกะสี (7 m ²)	484.27	1,404	23.21
สังกะสี (8 m ²)	466.22	1,369	22.52

จากตารางที่ 1 พบว่าประสิทธิภาพลดลงเมื่อมีขนาดแผ่นดูดซับความร้อนอลูมิเนียมและสังกะสีมากขึ้น โดยประสิทธิภาพสูงสุดคือแผ่นอลูมิเนียมขนาด 4 m² มีค่าเท่ากับ 26.11% และแผ่นสังกะสีขนาด 8 m² มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 22.52% สำหรับรูปแบบกราฟค่าความเข้มแสงอาทิตย์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ กราฟปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวัน และกราฟประสิทธิภาพสะสมเฉลี่ยตลอดทั้งวัน โดยเมื่อใช้ขนาดแผ่นดูดซับความร้อน

อลูมิเนียมและสังกะสีที่มีขนาด 5-8 m² จะมีลักษณะใกล้เคียงกับผลลัพธ์ของกราฟแผ่นดูดซับความร้อนอลูมิเนียมและสังกะสีขนาด 4 m² จึงไม่น่ามากว่าถึงรายละเอียดในที่นี้

6. สรุปผล

จากการศึกษาพบว่าแผ่นดูดซับความร้อนอลูมิเนียมและสังกะสีสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับความร้อนได้ และขนาดของแผ่นดูดซับความร้อนอลูมิเนียมและสังกะสีมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจกสองชั้นเอียงด้านเดียว โดยขนาดพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง โดยแผ่นดูดซับความร้อนอลูมิเนียมขนาด 4 m² ได้ปริมาณน้ำกลั่นมากที่สุดเท่ากับ 1,629 ml/day มีประสิทธิภาพเฉลี่ยสะสมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 26.11% และแผ่นสังกะสีขนาด 8 m² ได้ปริมาณน้ำกลั่นน้อยที่สุดเท่ากับ 1,369 ml/day มีประสิทธิภาพเฉลี่ยสะสมตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ 22.52% เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่มีตัวดูดซับความร้อน ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำมีค่าลดลงเมื่อขนาดของแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีเพิ่มมากขึ้น โดยพื้นที่ของแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีที่มีพื้นที่น้อยจะทำให้เครื่องกลั่นน้ำมีประสิทธิภาพสูงกว่าพื้นที่ที่มีมากกว่า เนื่องจากแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นสังกะสีที่มีพื้นที่มากจะบดบังความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่จะส่งผ่านความร้อนไปยังชั้นที่หนึ่งของเครื่องกลั่นน้ำซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำลดลง

7. ข้อเสนอแนะ

ควรมีการนำตัวดูดซับความร้อนชนิดอื่นมาทดลองร่วมกันและมีการเพิ่มลดระดับปริมาณน้ำภายในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำมาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ปริมาณน้ำกลั่นสะสมตลอดทั้งวัน และประสิทธิภาพสะสมเฉลี่ยตลอดทั้งวัน

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม และสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์การทดลองในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] G.N. Tiwari, H.N. Singh, Rajesh Tripathi, Present status of solar distillation, *Solar Energy* 75, 2003, pp. 367–373.
- [2] A.A. Badran, A.A. Al-Hallaq, I.A. Eyal Salman, M.Z. Odat, A solar still augmented with a flat plate collector, *Desalination* 172, 2005, pp. 227–234.
- [3] C. Tiris, M. Tiris, Y. Erdalli, Sohmen, Experimental studies on a solar still coupled with a flat-plate collector and a single basin still, *Energy Conversion and Management* 39, 1998, pp. 853–856.

- [4] E. Rubio Cerda, M.A. Porta Gándara, J.L. Fernández Zayas, Thermal performance of the condensing covers in a triangular solar still, *Renewable Energy* 27, 2002, pp. 301-308.
- [5] A. Safwat Nafeya, M. Adeldkadib, A. Abdelmotalipb, A.A. Mabrouka, Parameters affecting solar still production, *Energy Conversion and Management* 41, 2000, pp. 1797-1809.
- [6] Muafag Suleiman, K. Tarawneh, Effect of water depth on the performance evaluation of solar still, *Jordan Journal of Mechanical Industrial Engineering* 1 (1), 2007, pp. 23-29.
- [7] P. Cooper, Some factors affecting the absorption of solar radiation in solar stills, *Solar Energy* 13, 1972, pp. 373-381.
- [8] Porta Gándara, Fernández Zayas, Chargoy del Valle, Influencia de la distancia vidrio-agua en destiladores solares de caseta, *Memorias de la XVIII Reunión Nacional de Energía Solar*, 1994, pp. 105
- [9] A.A. El-Sebaii, Effect of wind speed on active and passive solar stills, *Energy Conversion and Management* 45 (2004) 1187-1204
- [10] A.A. El-Sebaii, Effect of wind speed on some designs of solar stills, *Energy Conversion and Management* 41, 2000, pp. 523-538.
- [11] C. Phukapak and R. Suntivarakorn, An Effect of Heat Absorber from Black Rubber on the Efficiency of Double Slope Solar Still, *The 2nd International Conference on Applied Science (2nd ICAS) and the 3rd International Conference on Science and Technology for Sustainable Development of the Greater Mekong Sub-region (3rd STGMS) to be held during 24-25 March 2011.*
- [12] G. Sanjay Kumar, N. Tiwari, Estimation of convective mass transfer in solar distillation systems, *Solar Energy* 57 (1996) 459-464.
- [13] Siaka Toure, Pierre Meukam, A numerical model and experimental investigation for a solar still in climatic conditions in Abidjan (Cote D'Ivoire), *Renewable Energy* 11 (3) (1997) 319-330.
- [14] Al-Hinai Hila, M.S. Al-Nassri, B.A. Jubran, Parametric investigation of a double-effect solar still in comparison with a single-effect solar still, *Desalination* 150, 2002, pp. 75-83.
- [15] H. Hinai-Al, M.S. Nassri-Al, B.A. Jubran, Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still, *Energy Conversion and Management* 1639, 2002, pp. 43-50.
- [16] M.A.S. Malik, G.N. Tiwari, A. Kumar, M.S. Sodha, *Solar Distillation*, Pergamon Press, Oxford, UK 1982.
- [17] A. Ghoneyem, Experimental Study on the Effects of the Cover and Numerical Predication of a Solar Still Output (M. Sc. thesis) METU, Ankara 1995.

- [18] A.E. Kabeel, A. Khalil, Z.M. Omara, M.M. Younes, Theoretical and experimental parametric study of modified stepped solar still, *Desalination* 289, 2012, pp. 12–20.
- [19] M.K. Phadatare, S.K. Verma, Influence of water depth on internal heat and mass transfer in a plastic solar still, *Desalination* 217, 2007, pp. 267–275.
- [20] O. Ansari, M. Asbik, A. Bah, A. Arbaoui, A. Khmou, Desalination of the brackish water using a passive solar still with a heat energy storage system, *Desalination* 324, 2013, pp. 10–20.
- [21] Rajesh Tripathi, G.N. Tiwari, Effect of water depth on internal heat and mass transfer for active solar distillation, *Desalination* 173, 2005, pp. 187-200.
- [22] H.E.S. Fath, M. El-Samanoudy, K. Fahmy, A. Hassabou, Thermal-economic analysis and comparison between pyramid-shaped and single-basin solar still configurations, *Desalination* 159, 2003, pp. 69–79.
- [23] A.S. Nafey, M. Abdelkader, A. Abdelmotalip and A.A. Mabrouk, Solar still productivity enhancement, *Energy Conversion and Management* 43, 2002, pp. 937-946.
- [24] B.A. Akash, Mousa S.Mohsen, Omar Osta, Yaser Elayan, Experimental evaluation of a single-basin solar still using different absorbing materials, *Renewable Energy* 14, 1998, pp. 307–310.
- [25] K. Vinoth Kumar, R. Kasturi Bai, Performance study on solar still with enhanced condensation, *Desalination* 230, 2008, pp. 51-61.
- [26] W.A. Kamal, A theoretical and experimental study of the basin-type solar still under the Arabian Gulf climatic conditions, *Solar & Wind Technology* 5 (2), 1998, pp. 147-157.
- [27] A.E. Kabeel, Performance of a solar still with a concave wick evaporation surface, *Energy* 34, 2009, pp. 1504-1509.
- [28] C.E. Okeke, S.U. Egarievwe, A.O.E. Animalu, Effects of coal and charcoal on solar still performance, *Energy* 15, 1990, pp. 1071–1073.
- [29] J.T. Mahdi, B.E. Smith, A.O. Sharif, An experimental wick-type solar still system: design and construction, *Desalination* 267, 2011, pp. 233-238.
- [30] Anil K. Rajvanshi, Effect of various dyes on solar distillation, *Solar Energy* 27, 1981, pp.51–65.
- [31] Hikmet S.Aybar, Fuat Egelioglu, U. Atikol, “ An experimental study on an inclined solar water distillation system,” *Desalination*, 180, 2005, pp.285-289.
- [32] H. Al-Hinai, M.S. Al-Nassri, B.A. Jubran, Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still, *Energy Conversion and Management* 43, 2002, pp. 1639–1650.