วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2559

การพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ : กรณีศึกษาจังหวัดนครศรีธรรมราช

อนุรักษ์ ตรีเพ็ชร [1*] ปริญญา หม่อมพิบูลย์ [1]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีคุณลักษณะต้นทุนต่ำ ออกแบบง่าย และสามารถสร้างได้ด้วยตนเอง มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง ประมาณ 0.4 m x 0.6 m x 0.27 m ตามลำดับ มีอุปกรณ์ประกอบด้วย ห้องกระจก อ่างเก็บน้ำ และ วัสดุดูดซับความร้อน ห้องกระจกมีรูปทรงสามเหลี่ยมหน้าจั่ว มีพื้นที่ 0.4 × 0.6 m ทำมุมเอียง 30 องศา อ่างเก็บน้ำมีความสูง 0.01 m วัสดุดูดซับความร้อนเลือกใช้แผ่นทองแดง เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สามารถกลั่นน้ำสูงสุด 0.66 liter/day ที่ค่ารังสีอาทิตย์ 16.66 MJ/m^2.day เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า มีค่าความผิดพลาด 6.89 % เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพ 19.16 % สามารถคืนทุนภายใน 2.2 ปี

คำสำคัญ เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ / ค่ารังสีอาทิตย์ / แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

[1] อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

[*] ติดต่อผู้นิพนธ์ โทร.094-593-0049 อีเมล์ anuraktri@gmail.com

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2559

The Development of Solar Water Distiller : A case study in Nakhon Si Thammarat.

Anurak Tripetch [1*] Parinya Mompiboon [1]

Abstract

The objectives of this research were designed and developed the solar water distiller (SWD). The SWD characteristics were low cost device, simple design and make your own device. The SWD dimensions are about 0.4 x 0.6 x 0.27 m . The SWD consist conservatory (area 0.4 x 0.6 m, 30 degree angle), water bath (0.01 m high) and heat absorbing material (copper plate). The peak distillation of the SWD is 0.66 litre/day at the solar radiation 16.66 MJ/m^2.day. The comparison of experimental measurements to mathematical model predictions for distillation of the SWD found that the percent error of 6.89. The SWD has an efficiency of 19.16 % and payback within 2.2 years.

Keywords: Solar Water Distiller / Solar Radiation / Mathematical Model

[1] Lecturer, Graduate Program in Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

[*] Corresponding Author: Tel. 094-593-0049; Email: anuraktri@gmail.com

1. บทนำ

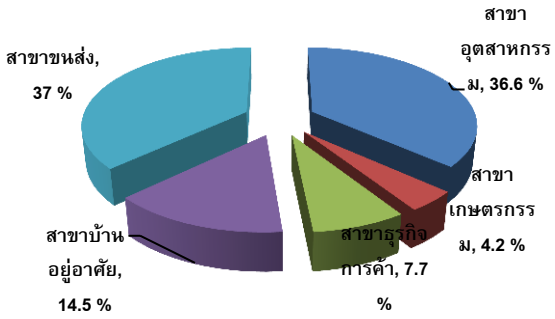
พลังงานมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง การใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจโดยที่น้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 49.8 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด รองลงมาประกอบด้วย ไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม และถ่านหิน/ลิกไนต์คิดเป็นร้อยละ 20.2 8.7 7.5 7.5และ 6.3 ตามลำดับ การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ พบว่ามีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเกือบทุกสาขาเศรษฐกิจ มีการใช้ในสาขาอุตสาหกรรม บ้านอยู่อาศัย ธุรกิจการค้า และขนส่ง ร้อยละ 36.6 14.5 7.7 และ 37.0 ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีการผลิตพลังงานเชิงพาณิชย์ ในสัดส่วน ร้อยละ 63.7 ของการผลิตพลังงานทั้งหมด พลังงานหมุนเวียนและพลังงานอื่นๆ พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม ร้อยละ 22.9 และ 13.4 ตามลำดับ [1]

ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณการผลิตพลังงานหมุนเวียนมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น เป็นผลจากการที่รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554 – 2573) [2]

การกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบของพลังงานความร้อน ซึ่งพลังงานที่ได้อยู่ในรูปของน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำในเครื่องกลั่นน้ำจะเริ่มกลั่นตัวที่อุณหภูมิ 45°C [6] ตามปกตินำ้กลั่นที่ใช้ในงานทางด้านอุตสาหกรรม ทางการแพทย์ ในห้องทดลองทางวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงการบริโภคมักจะได้จากเครื่องกลั่นที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก จึงทำให้ราคาน้ำกลั่นที่ผลิตได้ขึ้นกับราคาของเชื้อเพลิง จึงได้มีการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการกลั่นน้ำแทนการวิธีการแบบเดิมที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน และเป็นวิธีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย จะเสียค่าใช้จ่ายทางด้านของการบำรุงรักษาเครื่องมืออุปกรณ์น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น และการกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ยังสามารถใช้งานในสถานที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ เหมาะกับการใช้งานในชนบทที่มีความต้องการใช้งานน้ำกลั่น

จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นอีกจังหวัดหนึ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ทางด้านทรัพยากรธรรมชาติ มีแหล่งน้ำจากธรรมชาติใช้อุปโภคบริโภคตลอดทั้งปี แต่แหล่งน้ำจากธรรมชาติยังไม่มีความสะอาดและบริสุทธิ์สำหรับบริโภค และตามโรงพยาบาลหรือสถานีอนามัย มีความต้องการการใช้น้ำกลั่นเพื่อทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์ ใช้ล้างทำความสะอาดแผลของผู้ป่วย ในที่ชนบทที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง น้ำกลั่นยังมีความสำคัญสำหรับใช้เติมในแบตเตอรี่ที่ใช้เก็บประจุไฟฟ้าไว้ใช้จากการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

โดยประโยชน์ของงานวิจัยเรื่องเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะสามารถพัฒนาไปใช้งานกับพื้นที่ในจังหวัดนครศรีธรรมราช และนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น ทำให้สามารถทำนายอัตราการกลั่นน้ำก่อนที่จะออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำเพื่อใช้งานจริงและหาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์



ภาพที่ 1 ปริมาณการใช้พลังงานแยกตามสาขาเศรษฐกิจต่างๆ

ที่มา ; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน [1]

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับใช้ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับใช้ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช
3. เปรียบเทียบอัตรากลั่นน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น

3. การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

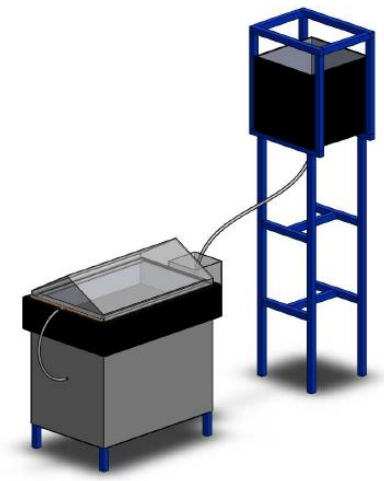
3.1 ความสำคัญของการพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับใช้ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช

จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นจังหวัดในประเทศไทยมีประชากรมากที่สุดในภาคใต้และมีขนาดพื้นที่ใหญ่เป็นอันดับ 2 ของภาคใต้ (รองจากสุราษฎร์ธานี) จึงทำให้ความเจริญยังกระจายไม่ทั่วถึงทุกชุมชนโดยเฉพาะอย่างยิ่งชุมชนที่อย่างห่างไกลจากตัวอำเภอ ระบบสาธารณูปโภคยังเข้าไม่ทั่วถึงโดยเฉพาะไฟฟ้า แต่ตามชนบทมีทรัพยากรธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์อยู่อย่างมากมาย จึงทำให้มีแหล่งน้ำจากธรรมชาติไว้ใช้งานได้ตลอดทั้งปี แต่แหล่งน้ำจากลำธารธรรมชาติยังไม่มีความสะอาดบริสุทธิ์พอสำหรับใช้ในการบริโภค ทำให้ประชาชนตามชนบทเป็นโรคเกี่ยวกับนิ้วในระบบปัสสาวะเป็นจำนวนมาก แนวทางในการป้องกันคือน้ำน้ำมาต้ม หรือกลั่นก่อนใช้บริโภค ยิ่งเป็นน้ำกลั่นถือว่าเป็นน้ำที่มีความสะอาดและบริสุทธิ์ที่สุด และยังสามารถใช้งานกับระบบทางการแพทย์และสาธารณสุข เติมในแบตเตอรี่เพื่อเก็บประจุไฟฟ้า เติมในหม้อน้ำรถยนต์เพื่อป้องกันการเกิดตะกรัน แต่การผลิตน้ำกลั่นต้องอาศัยกระบวนการทางความร้อน ในการผลิต ดังนั้นต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการผลิต จึงทำให้น้ำกลั่นมีราคาแพง ตามชนบทที่มีข้อจำกัดเรื่องไฟฟ้าก็ยิ่งผลิตน้ำกลั่นใช้เองได้ยาก

เมื่อพิจารณาพลังงานที่จะนำมาผลิตน้ำกลั่นพลังงานแสงอาทิตย์มีความเหมาะสมที่สุด เป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด ไม่มีมลพิษ เหมาะกับการใช้งานในทุกสถานที่ และมีระบบการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อนการบำรุงรักษาง่าย

3.2 แนวคิดในการพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับใช้ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีการศึกษาการใช้เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ในการกลั่นน้ำทะเล [3] ในประเทศกานาได้มีการนำเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตน้ำเพื่อการบริโภค [4] ซึ่งเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ มีส่วนประกอบดังนี้ ฝาครอบที่ทำจากวัสดุโปรงใส ตัวรับรังสี ในอ่างน้ำดิบ ตัวอ่างสำหรับกลั่นน้ำที่หุ้มฉนวนกันความร้อน รางรับน้ำกลั่น แสดงดังภาพที่ 2 เครื่องกลั่นน้ำแบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วโดยทำมุม 30 องศา ทิศตะวันออกและตะวันตกโดยมีฐานเป็น สี่เหลี่ยมผืนผ้า [3],[5] ใช้แผ่นทองแดงพ่นสีดำเพื่อดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ และจะรักษาระดับน้ำในอ่างกลั่นน้ำให้คงที่โดยใช้วาล์วควบคุมระดับน้ำ [6] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการกลั่นน้ำ



ภาพที่ 2 เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

4. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยการศึกษาสมรรถนะเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนานำไปใช้ประโยชน์ของพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชได้ทำการทดลอง ที่ บริเวณลานจอดรถของแฟลตที่พักบุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดนี้ได้ทำการติดตั้ง และหันไปทางทิศเหนือ-ใต้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

4.1 ลักษณะโครงสร้างและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 3 ประกอบด้วย อ่างรองรับน้ำทำจากอะคริลิคกว้าง 400 mm ยาว 600 mm สูง 270 mm ด้านล่างและด้านข้างหุ้มฉนวนหนา 25 mm และใช้แผ่นทองแดงทาสีดำขนาดความหนา 2 mm เป็นแผ่นดูดซับรังสีอาทิตย์บริเวณพื้นอ่างมีขนาดพื้นที่ 0.24 m^2 โดยด้านบนติดตั้งกระจกใสทรงสามเหลี่ยมหน้าจั่วเพื่อให้แสงอาทิตย์ทะลุผ่านไปยังน้ำด้านล่างได้ ตัวกระจกหนา 3 mm มุมเอียงของกระจก 30 องศา โดยบรรจุน้ำลงในเครื่องกลั่นน้ำที่ความลึก 20 mm และมีถังสำหรับเก็บน้ำดิบสำหรับเติมยังเครื่องกลั่นน้ำ ทำจากอะคริลิคกว้าง 300 mm ยาว 300 mm สูง 300 mm มีการควบคุมน้ำเข้ายังเครื่องกลั่นโดยใช้วาล์วลอย

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย

1) เครื่องบันทึกค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ (Data logger) ยี่ห้อ Graphtec รุ่น GL220 เป็นเครื่องมือบันทึกค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ

2) เครื่องวัดรังสีอาทิตย์หรือไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดรังสีรวม

3) ขวดบรรจุปริมาณน้ำกลั่น เป็นขวดแก้วใสสำหรับรองรับน้ำกลั่น มีสเกลค่าปริมาตรเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

4) สายเทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple) ชุดสายเทอร์มอคัปเปิลที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ในการทดลองจะเป็นชนิด K ค่าความผิดพลาด ±0.5 °C สามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0-1250 °C

4.3 การวัดอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลทั้ง 7 จุด ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

จุดที่ 1 อุณหภูมิผิวกระจกด้านในของเครื่องกลั่นน้ำ 2 จุด

จุดที่ 2 อุณหภูมิที่ผิวน้ำภายในเครื่องกลั่นน้ำ 1จุด

จุดที่ 3 อุณหภูมิที่แผ่นดูดซับความร้อนเครื่องกลั่นน้ำ 1 จุด

จุดที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องกลั่นน้ำ 1จุด

จุดที่ 5 อุณหภูมิน้ำทางเข้าเครื่องกลั่นน้ำ 1จุด

จุดที่ 6 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 1จุด

ภาพที่ 3 เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขณะทดลอง

4.4 วิธีการทดลอง

ในการทดลองศึกษาประสิทธิภาพเครื่องกลั่นน้ำพลังงานอาทิตย์ของงานวิจัย มีรายละเอียดการทดลองในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.4.1 ขั้นตอนเตรียมความพร้อมของเครื่องก่อนการทดลองของแต่ละวัน

1) ทำความสะอาดผิวกระจกด้านบนทั้งเครื่องกลั่นและตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2) เติมน้ำดิบในถังเก็บน้ำดิบให้เต็มถัง

3) เตรียมอุปกรณ์รองรับน้ำกลั่นและวัดปริมาตร

4) ประกอบสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับ Data logger

5) ตรวจสภาพ Data logger ให้พร้อมสภาพใช้งาน

4.4.2 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือวัดก่อนการทดลอง

1) นำสายเทอร์โมคัปเปิลมาต่อเข้ากับเครื่องมือบันทึกข้อมูล (Data logger) ตั้งค่าชนิดของอุณหภูมิตามคู่มือของเครื่อง แล้วปรับให้บันทึกผลทุกๆ 1 วินาที

2) ติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์ (Pyranometer) โดยติดตั้ง Pyranometer ให้อยู่ในแนวระนาบเดียวกับแผ่นรับรังสีรังสีอาทิตย์ของเครื่องกลั่น

3) นำขวดบรรจุน้ำกลั่นที่มีสเกลบอกปริมาณน้ำเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร มาต่อกับสายยางที่ทางออกน้ำกลั่น

4.4.3 ขั้นตอนการทดลองการกลั่นน้ำแต่ละวัน

1) เริ่มทำการทดลองระบบที่เวลา 8:00-17:00 น. วางเครื่องกลั่นไปตามแนวทิศเหนือ-ใต้จดบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้น

2) เมื่อครบทุกๆ 1 ชั่วโมง ทำการวัดปริมาณน้ำกลั่นที่กลั่นได้

3) เมื่อครบที่เวลา 17:00 น. เก็บอุปกรณ์เครื่องมือวัดและทำความสะอาดพื้นที่

4) นำข้อมูลต่างๆที่ได้ มาวิเคราะห์ผล

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) การวิเคราะห์การถ่ายเทมวลของระบบ

ในการทำนายอัตราการระเหยของน้ำในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีกระบวนการถ่ายเทมวลโดยใช้ทฤษฎีของ Modified Reynold Flow ของ [7] เราสามารถคำนวณ อัตราการกลั่นน้ำ โดยการพิจารณาการถ่ายเทมวลที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$m^* = g^* \ln(1+B) \quad (1)$$

คำนวณ Driving force (B) ได้จากสมการ

$$B = \frac{m_{H_2O,S} - m_{H_2O,G}}{1 - m_{H_2O,S}} \quad (2)$$

สำหรับการพิจารณา Mass Transfer Conductance สำหรับการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวราบในแนวนอนสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$g^* = 0.095(Gr.Sci)^{0.33}\frac{\rho D}{L} \quad (3)$$

โดยที่

$$Gr = \frac{L^3\rho^2 g\beta\Delta T}{\mu^2} \quad (4)$$

$$D = \left(\frac{0.926}{101.325}\right)\left[\frac{(T_{av}+273)^{2.5}}{(T_{av}+518)}\right]\times 10^{-6} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{1}{T_{av}+273} \quad (6)$$

เมื่อ m^* คืออัตราการกลั่นน้ำ(kg/m^2.s), g^* คือ Mass Transfer Conductance(kg/m^2.s),B คือ Driving force, D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของมวลน้ำในอากาศ, $m_{H_2O,S}$ และ $m_{H_2O,G}$ คือ มวลจำเพาะของไอน้ำที่ผิวน้ำและมวลจำเพาะของไอน้ำที่ผิวกระจก, Gr คือ Grashof number, Sci คือ Scimidt number สำหรับไอน้ำในอากาศ(0.6), ρ คือ ความหนาแน่นของไอน้ำผสมอากาศ(kg/m^3), L คือ ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างผิวล่างอุปกรณ์กับผิวบนของอุปกรณ์(m), g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก(m/s^2), β คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวโดยปริมาตรของของไหล(K^{-1}), ΔT และ T_{av} คือค่าแตกต่างและอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวน้ำกับผิวกระจก(°C)

2) ประสิทธิภาพรวมของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพรวมของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต่อพ่วงกับตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบสามารถแสดงได้ดังนี้ [8]

$$\eta = \frac{\sum \dot{m}_e \times h_{fg}}{(A_b + A_c)\sum H_s}\times 100 \quad (7)$$

เมื่อ η คือประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำ(%), $\dot{m}_e$ คืออัตราการระเหยของน้ำ (kg/s), h_{fg} คือความร้อนแฝงของน้ำ (kJ/kg), A_b และ A_c คือ พื้นที่อ่างของเครื่องกลั่นน้ำและพื้นที่รับแสงของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ (m^2), H_s คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ (kJ/m^2s)

3) การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการลงทุนสำหรับเครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์ โดยคิดที่ราคาน้ำกลั่นต่อลิตร โดยทำการวิเคราะห์ต้นทุนรายปีและการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน ในการวิเคราะห์การลงทุนจำเป็นต้องรู้ค่าพื้นฐานดังนี้ คือ เงินลงทุนครั้งแรก 5,800 บาทต่อเครื่อง มูลค่าซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน(10% ของราคาเครื่อง) 580 บาทต่อเครื่อง ค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดการและการบำรุงรักษา(10% ของราคาเครื่อง) 580 บาทต่อปี รายได้ 2,573.25 บาทต่อปี อายุการใช้งาน 10 ปี อัตราดอกเบี้ย 7.62 %

- การวิเคราะห์ต้นทุนรายปี (Uniform Annual Cost Method)

การหาต้นทุนสุทธิรายปีจะคำนวณได้จากสมการดังนี้ [9]

$$ATC = AFC + AMC - ASV \quad (8)$$

เมื่อ ATC คือ ต้นทุนสุทธิรายปี, AFC คือ ราคาต้นทุนเครื่องกลั่นเป็นรายปี, AMC คือ ต้นทุนดำเนินการและซ่อมบำรุงรักษารวมทั้งค่าแรงรายปี, ASV คือ มูลค่าซากรายปี

- ระยะเวลาคืนทุน

ระยะคืนทุน คือเวลาที่ผลกำไรรายปี เท่ากับเงินลงทุนรายปี [9]

$P \times CRF(i, n)$ = (รายได้รายปี - ค่าใช้จ่ายรายปี)

= กำไร (9)

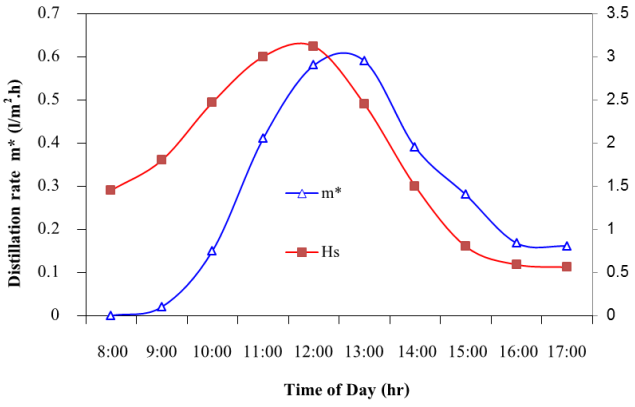
เมื่อ P คือ เงินลงทุนสร้างเครื่องกลั่น, i คือ อัตราดอกเบี้ยรายปี, n คือ จำนวนปีที่ได้ทุนคืน, CRF คือ Capital Recovery Factor ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (10)$$

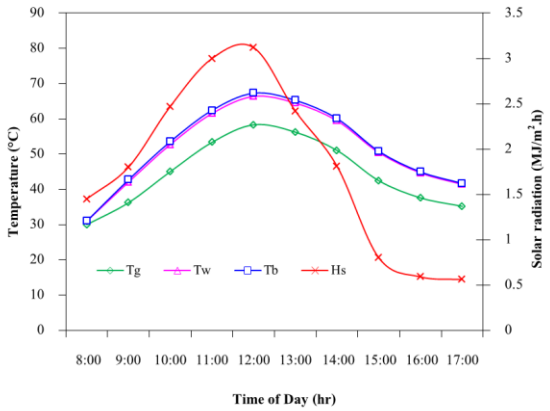
5. ผลการวิจัย

เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการทดลองในช่วงวันที่ 1 กรกฎาคม 2559 ถึงวันที่ 20 กรกฎาคม 2559 ซึ่งไม่ได้ทำการทดลองทุกวัน เนื่องจากในบางวันสภาพอากาศไม่อำนวยต่อการทดลอง เช่นมีฝนตก มีเมฆมาก ท้องฟ้ามืดครึ้มเป็นผลให้ไม่มีแสงแดด สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. จากการทดลองในวันที่ 16 กรกฎาคม 2559 เป็นวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสที่สุดโดยมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 16.52 $MJ/m^2.day$ จะได้อัตราการกลั่นน้ำสูงที่สุดที่เวลา 13.00 น. อัตราการกลั่นต่อวันเท่ากับ 0.66 Liter/day และเมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการกลั่นน้ำ



ภาพที่ 4 ค่ารังสีอาทิตย์กับอัตราการกลั่นน้ำที่ได้จากการทดลอง (16 กรกฎาคม 2559)



ภาพที่ 5 ค่ารังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิกระจกอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิแผ่นดูดซับความร้อน (16 กรกฎาคม 2559)

ภาพที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง(Hs) กับอัตราการกลั่นน้ำรายชั่วโมง(m*) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในตอนเช้า (8.00–12.00 น.) จะให้อัตรากลั่นน้ำที่น้อยกว่าช่วงบ่าย (12.00-17.00น.) เป็นผลเนื่องมาจากในช่วงบ่ายเครื่องกลั่นน้ำได้รับการสะสมพลังงานจากตอนช่วงเช้า เมื่อตอนเริ่มต้นทำการทดลองที่เวลา 8.00 น. ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 1.45 MJ/m^2.hr ให้อัตราการกลั่นน้ำเท่ากับ 0 Liter/m^2 hr และเมื่อทำการทดลองต่อไปค่าของอัตราการกลั่นน้ำก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยจะมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์กับ 3.12 MJ/m^2.hr จะได้อัตราการกลั่นน้ำสูงที่สุดที่เวลา 13.00 น. ที่อัตราการกลั่นเท่ากับ 0.59 Liter/m^2 hr เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการกลั่นน้ำและค่ารังสีอาทิตย์ก็ค่อยๆลดลง

ภาพที่ 5 เปรียบเทียบค่ารังสีอาทิตย์ (Hs) กับอุณหภูมิกระจก (Tg) อุณหภูมิน้ำ (Tw) และอุณหภูมิแผ่นดูดซับความร้อน (Tb) เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิกระจก อุณหภูมิน้ำ และอุณหภูมิแผ่นดูดซับความร้อน มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เท่ากันตลอดทั้งวันโดยอุณหภูมิที่แผ่นดูดซับความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุด รองลงมาคืออุณหภูมิน้ำ และอุณหภูมิกระจก ตามลำดับ โดยที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดที่เวลา 12.00 น. อุณหภูมิเท่ากับ 67.29, 66.37 และ58.32 ตามลำดับ ซึ่งก็มีความสอดคล้องกับค่ารังสีอาทิตย์ โดยที่ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12.00 น. ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 3.12 MJ/m^2.hr เมื่อหลังเวลา 13.00 น. ค่ารังสีอาทิตย์ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนอุณหภูมิกระจก อุณหภูมิน้ำ และอุณหภูมิแผ่นดูดซับความร้อนค่อยๆ ลดลง เนื่องมาจากภายในเครื่องกลั่นน้ำได้มีการสะสมพลังงานเก็บไว้ โดยภายในเครื่องกลั่นได้มีการหุ้มฉนวนความร้อนบริเวณด้านล่างและด้านข้างของเครื่องกลั่น จึงทำให้มีการสูญเสียความร้อนออกทางด้านล่างและด้านข้างของเครื่องกลั่นมีปริมาณน้อยมาก

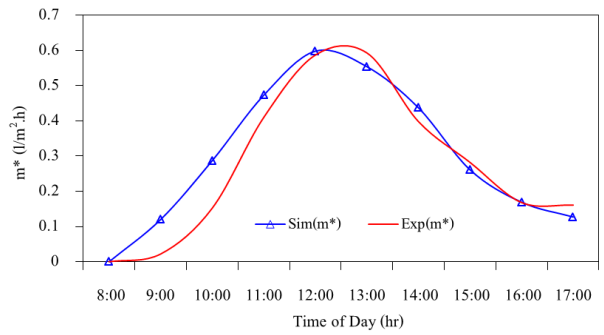
5.2 ผลการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากผลการทดลองในวันที่ 16 กรกฎาคม 2559 ให้อัตราการกลั่นน้ำสูงสุด จึงได้นำผลจากการทดลองมาทำการเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อุณหภูมิน้ำในเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 31.5 °C และอุณหภูมิผิวกระจกมีค่าเท่ากับ 29.8 °C ส่วนสมบัติต่างๆ ของวัสดุ จากตารางที่ 1 ค่าพลังงานรังสีอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม ที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากการคำนวณที่เวลา 12.00 น.ของวันที่ 16 กรกฎาคม 2559 เมื่อนำ ค่าแตกต่างและอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวน้ำกับผิวกระจกเท่ากับ 2.58 °C แทนค่าลงในสมการ (5), (6) จะได้ค่า β เท่ากับ 0.003629 , D เท่ากับ 0.000033 แทนค่าตัวแปรต่างๆลงในสมการ (3), (4) จะได้ค่า g^* เท่ากับ 0.00147 , Gr เท่ากับ 336646.8 และค่า B เท่ากับ 0.0896 นำตัวแปรที่คำนวณได้ แทนในสมการ (1) ได้ค่า m^* เท่ากับ 0.54 liter/m^2 hr ซึ่งจากการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.59 Liter/m^2 hr

ภาพที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณการกลั่นน้ำของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทาง

ตารางที่ 1 ค่าพลังงานรังสีอาทิตย์เฉลี่ยและอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม ของวันที่ 16 กรกฎาคม 2559 มีดังนี้

เวลา	รังสีอาทิตย์เฉลี่ย, W/m^2	อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม, °C
9:00 น.	502.04	31.97
10:00 น.	687.32	33.00
11:00 น.	834.99	34.86
12:00 น.	869.42	35.38
13:00 น.	687.32	35.09
14:00 น.	503.68	35.00
15:00 น.	222.72	33.90
16:00 น.	166.5	32.50
17:00 น	156.23	32.43



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณการกลั่นน้ำของเครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์, (16 กรกฎาคม 2559) $\frac{RMSE}{\overline{X}} \times 100$ = 6.89 %

คณิตศาสตร์ จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองกับแบบจำลองเท่ากับ 6.89% ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% แสดงว่าทฤษฎีที่นำมาใช้มีความน่าเชื่อถือ

5.3 ประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่ามีประสิทธิภาพดังนี้

$$\eta = \frac{2366.45}{0.24 \times 514.46}$$

= 19.16

5.4 ระยะเวลาคืนทุนทางเศรษฐศาสตร์

พบว่าระยะเวลาคืนทุนของโครงการ คือ 2.2 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาไม่นานนักและในแง่การลงทุนถือว่าโครงการนี้น่าลงทุนเนื่องจากเป็นโครงการขนาดเล็กและมีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 5 ปี

6. สรุปและอภิปรายผล

จากการทดสอบเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 ตัวแปรที่มีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิน้ำให้ร้อนได้ดียิ่งขึ้นคือ พื้นที่ไม่มีการบังรังสีอาทิตย์ในเวลาเช้าและบ่ายทำให้สามารถสะสมความร้อนได้ทันที

6.2 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเป็นตัวแปรทำให้เกิดความสูญเสียความร้อนของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ กล่าวคือถ้าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงจะมีผลดี คือ ช่วยให้เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สะสมความร้อนได้มาก

6.3 ในระหว่างทำการทดสอบจะมีบางช่วงเวลาที่สภาพท้องฟ้าไม่อำนวยเนื่องจากมีเมฆมาปกคลุมท้องฟ้าทำให้ดวงอาทิตย์ไม่สามารถแผ่รังสีลงมาได้

6.4 อัตราการกลั่นน้ำของเครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์ ให้อัตราการกลั่นน้ำสูงสุด 0.66 liter/day ที่ค่ารังสีอาทิตย์ 16.66 MJ/m^2.day โดยประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำในแต่วันสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 19.16 %

6.5 ผลการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 6.89% ซึ่งไม่เกิน 10 % ถือว่ามีความน่าเชื่อถือ

6.6 ประเมินทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องกลั่นน้ำที่ทำการทดลองสามารถคืนทุนภายใน 2.2 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 7.62 %

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ศึกษาเพิ่มเติมสำหรับเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพดีขึ้น

7.2 คิดค้นและต่อยอดพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้งานกับกรณีศึกษาอื่นๆ

7.3 ควรต่อยอดงานวิจัยร่วมกับหน่วยงานต่างๆทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ ตลอดจนองค์กรวิชาชีพ ชุมชน/ท้องถิ่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการดำเนินการวิจัยเก็บข้อมูลจาก นายชัยวัฒน์ เกื้อช่วย นายอัญชณะ ทองบางพระ และนายศักดิ์ชัย ชูทอง นักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล มหาวิทยาลัยราชภัฏ ที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงาน. ***"สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม – มิถุนายน 2559"***, 2559. สืบค้นเมื่อวันที่ 27 สิงหาคม 2559. [Online] Available: http://www.dede.go.th/download/state_59/sit_2_jan_jun59.pdf

[2] กระทรวงพลังงาน. ***"แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี"***, 2554. สืบค้นเมื่อวันที่ 27 สิงหาคม 2559. [Online] Available: http://www2.eppo.go.th/encon/ee-20yrs/EEDP_Thai.pdf

[3] บัญญัติ นิยมวาส. ***"การศึกษาสมรรถนะของเครื่องกลั่นน้ำทะเลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแผ่นสะท้อนรังสี"*** 2013. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มิถุนายน2559. [Online] Available: http://research.msu.ac.th/journal_/?p=4359

[4] Edward, A. Edem, C. B. and Julius, C. A., ***"Use of solar water distiller for treatment of fluoride-contaminated water: The case of Bongo district of Ghana"***, 2011., Journal of Desalination, Vol. 278, No. 1, pp.333-336.

[5] สำรวย ภูบาล และสิทธิพร ใหญ่ธนายศ. ***"การทดสอบเครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์รูปทรงพีระมิด"*** 2552 สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มิถุนายน 2556. [Online] Available:http://tcithaijo.org/index.php/jit_journal/article/view/3618

[6] อนุรักษ์ ตรีเพ็ชร และพิชัย นามประกาย. ***"การศึกษาสมรรถนะเครื่องกลั่นน้ำรูปทรงพีระมิดที่เสริมด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แผ่นราบและหมุนวนน้ำด้วยวาล์วลอย"*** 2552 [online] สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มิถุนายน2559. [Online]Available:http: http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC4811021.pdf

[7] Spalding, D.B., 1963, ***"Convection Mass Transfer"***, Edward Arnold, London, pp. 127-133.

[8] A1-Hayek, I. and Badran, O.O., 2004, ***"The effect of Using Different Designs of Solar Stills on Water Distillation"***, Journal of Desalination, Vol. 169, No. 2, pp. 121-127.

[9] สมพล มะสิกะ, 2551, ***"การศึกษาสมรรถนะเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ทรงพีระมิดที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบเป็นอุปกรณ์เสริม"***, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.