Journal of Energy and Environment Technology ISSN 2392-5701

http://jeet.siamtechu.net Research Article

การพัฒนาเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกด้วยโปรแกรมช่วยคำนวณทางวิศวกรรมสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบท

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE PARABOLIC TROUGH SOLAR COLLECTOR WITH COMPUTER-AIDED ENGINEERING FOR HOT WATER PRODUCTION IN RURAL AREAS

Received: November 17, 2022

Revise: April 20, 2023

Accepted: May 19, 2023

กฤษฎางค์ ศุกระมูล[1*], ภาคภูมิ สุภาชาติ[2], อุชา โพธิ์สุวรรณ[3]

Krissadang Sookramoon[1*], Pakpoom Supachart[2], Aucha Prosuwan[3]

[1*]รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

[2] อาจารย์ ดร. สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

[3] นักวิทยาศาสตร์ ชำนาญการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

[*] *Corresponding author, Email: krissadang.sook@vru.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกมาใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำร้อนกันอย่างแพร่หลายเนื่องด้วยเทคโนโลยีนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำน้ำร้อนให้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญด้วยต้นทุนที่ไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่นๆ แต่การออกแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกให้ได้ประสิทธิภาพการทำความร้อนสูงในราคาที่เข้าถึงและสามารถนำไปใช้ในพื้นที่ชนบทได้นั้นยังมีการพัฒนาไม่มากนัก ประกอบกับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรมมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นพัฒนาเครื่องต้นตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในชนบทด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรมโดยใช้โปรแกรม SolidWorks ซึ่งช่วยทำนายพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่ไหลผ่านท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์กับสิ่งแวดล้อม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกที่ได้จากการจำลองกับการทดลอง และเพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก ในการทดลองทีมผู้วิจัยดำเนินการทดลอง ตั้งแต่ 8.00 - 17.00 น. ช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2565 และทำการเก็บการผลตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิน้ำเข้าท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำออกท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ จากการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกัน นั่นคือ ตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสามารถทำน้ำร้อนให้ได้อุณหภูมิสูงถึง 64.3 ^{o}C (ผลการจำลอง)และ 65 ^{o}C (ผลการทดลอง)ส่วนประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ระหว่าง 26.18 - 68.77% (ผลการจำลอง) และ 27.38 - 69.97% (ผลการทดลอง) ในระหว่างช่วงเวลา 12.00 -15.00 น. ในการทำน้ำร้อนของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์มีค่า 2,939.76 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 10,927.38 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 0.96 ปี

http://jeet.siamtechu.net
คำสำคัญ: เครื่องต้นแบบ, ตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก, ผลิตน้ำร้อน, คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรม

Abstract

Nowadays, parabolic trough solar collector technology is widely used in hot water production because this technology significantly increases the efficiency of hot water at a low cost compared to other technologies. But the design of parabolic trough solar collectors to achieve high thermal efficiency at an affordable price and be used in rural areas has not been much developed. In addition, the technology of computer-aided engineering (CAE) has been continuously developed; therefore, it was the beginning of this research that focused on the development of a parabolic trough solar collector for hot water production in rural areas with computer-aided engineering using SolidWorks software. This helps predict heat transfer behavior between the fluid flowing through the solar collector tube and the environment. The research aimed to compare the effect of thermal efficiency of the parabolic trough solar collector prototype obtained from the numerical study with the experiment and to study the economic value of this prototype. In the experiment, the research team conducted the experiment from 8:00 a.m. to 5:00 p.m. during April 2022 and collected the results of various variables, including the temperature of the water entering and leaving the solar collector tube, air temperature, and solar irradiation. By comparing the simulation results with the experimental results, it is consistent: the parabolic trough solar collector could heat water temperatures up to 64.3 °C (simulation result) and 65 °C (experimental result); moreover, its thermal efficiency was between 26.18 and 68.77% (simulation result) and 27.38 and 69.97% (experimental result) during a period from 12:00 a.m. to 3:00 p.m. In producing hot water for the prototype, the solar collector is worth 2,939.76 kWh per year, representing a savings cost of 10,927.38 baht per year and a payback period of 0.96 years.

Keywords: Prototype, Parabolic Trough Solar Collector, Hot Water Production, Computer-Aided Engineering

1. บทนำ

พลังงานฟอสซิล (Fossil fuels) เป็นแหล่งพลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไปซึ่งโดยส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน แต่เนื่องจากแหล่งพลังงานชนิดนี้มีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องและกำลังจะค่อย ๆ หมดไปในอนาคตข้างหน้า [1] ดังนั้นพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) จึงเป็นพลังงานทางเลือกที่นำมาทดแทนซึ่งมีอยู่หลากหลาย อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดสภาวะโลกร้อนได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มนุษย์นิยมนำมาใช้เกี่ยวกับพลังงานความร้อนโดยอาศัยหลักการทำงานของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (Solar collector) เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบกับท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์จะถ่ายเทให้กับท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ด้วยวิธีการแผ่ความร้อนและการนำความร้อน เมื่อนำของไหลไหลผ่านท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปสู่ของไหลด้วยวิธีการพาความร้อน [2] ส่งผลให้อุณหภูมิของของไหลสูงขึ้น โดยอุณหภูมิของของไหลจะเพิ่มสูงขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ จากหลักการทำงานที่ไม่ซับซ้อนและคุณประโยชน์ที่ได้รับรวมทั้งช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานภายในครัวเรือน นอกจากนี้ยังถือเป็นการช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของชุมชนในอีกทีทางนึง [3] เทคโนโลยีประเภทนี้จึงเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อทำน้ำร้อนให้กับชุมชนในพื้นที่ชนบทซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

http://jeet.siamtechu.net

[4] แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบให้ตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยการนำคอมพิวเตอร์ ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรม (Computer-Aided Engineering, CAE) เข้าช่วยนั้นยังไม่ที่แพร่หลายมากนัก เนื่องด้วยเป็นศาสตร์ที่ต้องอาศัยความรู้ ความชำนาญ และประสบการณ์พอสมควรเพื่อทำให้การน้ำร้อนด้วยตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลต่อชุมชนในพื้นที่ชนบท

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนใช้ในชุมชน โดยนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรมเข้ามาช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ร่วมด้วยนั้นมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Ghasemi และคณะ [5] ได้ศึกษาผลของความหนาจากการใช้วัสดุพรุนเพิ่มบริเวณผนังท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ที่มีต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข ทีมวิจัยใช้โปรแกรม Fluent เพื่อศึกษาผลของการไหลของของไหลที่ไหลภายในท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ และทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนความหนาของวัสดุพรุน (d/D) ที่มีต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ จาก 0.6 เป็น 0.7, 0.8 และ 0.9 โดยท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และความยาว คือ 68, 74 และ 2,000 mm ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นขณะที่สัดส่วนความหนาของวัสดุพรุนลดลง นอกจากนี้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 80% และอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ทางออกของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์สูงมากกว่า 100 $^{\circ}$C ต่อมา Tzivanidis และคณะ [6] ได้ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและเชิงแสงของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบระบบรางพาราโบลาด้วยวิธีเชิงตัวเลข ทีมวิจัยประยุกต์ใช้โปรแกรม SolidWorks เพื่อจำลองการแผ่รังสีความร้อน การพาความร้อน การนำความร้อน และการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ จากนั้นทำการตรวจสอบผลการจำลองจากโปรแกรม SolidWorks ที่ได้ด้วยแบบจำลอง 1-D Thermal model สร้างจากโปรแกรม FORTRAN นอกจากนี้ท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ทำจากวัสดุทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และความยาว คือ 20, 34 และ 1,000 mm ตามลำดับ จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์สูงกว่า 75% และอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ทางออกของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ประมาณ 95.5 $^{\circ}$C นอกจากนี้ค่าการสูญเสียความร้อนของท่อรับรังสีเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและสิ่งแวดล้อมต่อค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้น อีกทั้งค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ของของไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ อัตราส่วนของความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและสิ่งแวดล้อมต่อค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นนั่นเอง หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 2016 Ghodbane และคณะ [7] ทำศึกษาประสิทธิภาพการทำความร้อนของท่อรับรังสีดวงอาทิตย์แบบ Fresnel collectors ซึ่งประกอบด้วยส่วนของตัวสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Linear Fresnel Reflector, LFR) กับตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (Linear Fresnel Collector, LFC) ด้วยวิธีเชิงตัวเลขจากโปรแกรม MATLAB แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ทีมวิจัยได้นำโปรแกรม MATLAB ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน อุณหภูมิน้ำร้อนที่ท่อทางออกของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน ในช่วงเวลา 10.00 - 16.00 น. โดยท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และความยาว คือ 20, 22 และ 1,500 mm ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นมากกว่า 60% นอกจากนี้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ทางออกของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์สูงประมาณ 74 $^{\circ}$C ต่อมาในปีเดียวกัน Ghodbane และ Boumeddane [8] ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำความร้อนของท่อรับรังสีดวงอาทิตย์แบบระบบรางพาราโบลาด้วยวิธีเชิงตัวเลขจากโปรแกรม Soltrace และ MATLAB โปรแกรม Soltrace ทีมวิจัยได้ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสะท้อนของกระจกที่ครอบท่อรับรังสีดวงอาทิตย์และการดูดซับของท่อรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และความยาว คือ 65, 70 และ 1,200 mm ตามลำดับ ส่วนโปรแกรม MATLAB ใช้ในการวิเคราะห์โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการ

ทำความร้อนของท่อรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยทำการเก็บข้อมูล 6 เดือน (ก.พ. เม.ย. มิ.ย. ส.ค. ต.ค. และ ธ.ค.) ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพทางแสงและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของท่อรับรังสีดวงอาทิตย์สูงกว่า 83.61% และ 82.80% อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ทางออกของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์สูงประมาณ 100 $^{\circ}$C รวมทั้งมีการสูญเสียความร้อนระหว่างแผ่นกระจกกับท่อรับรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำร้อนที่ทางออกของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยเชิงแสง (Optical parameters) และปัจจัยด้านรูปทรง (Geometric parameters) ของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้น สังเกตได้ว่างานวิจัยโดยส่วนใหญ่ทำวิจัยเกี่ยวกับท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในอยู่ในช่วง 20 – 68 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกอยู่ในช่วง 22 – 74 mm ความยาวอยู่ในช่วง 1,000 – 1,500 mm อุณหภูมิน้ำที่ทางออกของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 74 - 100 $^{\circ}$C และประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 60 – 82.80% ดังนั้นทีมผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่า ถ้าสามารถทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกัน แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ที่เล็กลง เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและต้นทุนค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ในพื้นที่ชนบท จึงเป็นที่มาของงานวิจัยที่มุ่งเน้นพัฒนาเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบทด้วย การประยุกต์ใช้โปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบและสร้าง จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้จากโปรแกรม SolidWorks กับผลการทดลอง และศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับทำน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบทที่ได้จากการจำลองกับการทดลอง

2.2 เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับทำน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบท

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบทด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรมเพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนด้านการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ รวมทั้งด้านพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแบ่งวิธีดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและข้อมูลอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบท

3.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อน สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของปริมาณความร้อนที่ได้จากการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์บนตัวแผ่นสะท้อน (Reflector) เข้าสู่ท่อรับรังสีดวงอาทิตย์ (Receiver tube) โดยทั่วไปประสิทธิภาพเชิงความร้อนนี้แสดงถึงสมรรถนะในการทำน้ำร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กล่าวอีกนัยนึงคือ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงบ่งบอกได้ว่า เครื่องน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงขณะที่มีการสูญเสียพลังงานจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนมีค่าต่ำ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1 [9]

$$h_{th} = \frac{Q_u}{I_t A_s} \qquad (1)$$

http://jeet.siamtechu.net

กำหนดให้ h_{th} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)

Q_u คือ ปริมาณความร้อนของน้ำที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์ (W)

I_t คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2)

A_s คือ พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ (m^2)

นอกจากนี้ปริมาณความร้อนของน้ำที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 [9]

$$Q_u = \frac{mC_w(T_o - T_i)}{Dt} = \frac{mC_w(T_2 - T_1)}{Dt} \quad (2)$$

กำหนดให้ m คือ มวลของน้ำร้อน (kg)

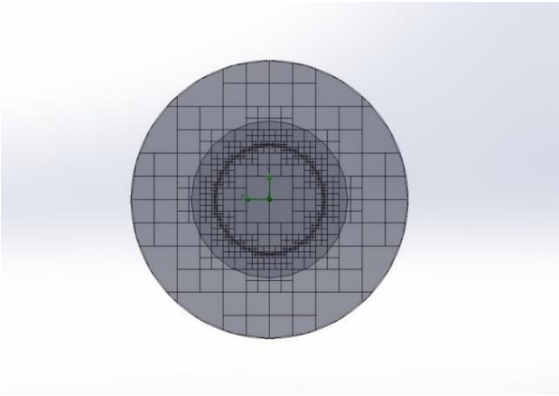
C_w คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg.°C)

T_o, T_2 คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนขาออกจากท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (°C)

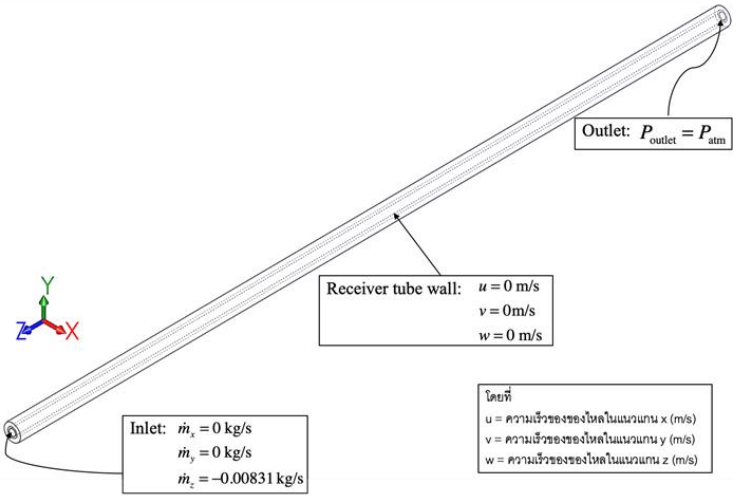
T_i, T_1 คือ อุณหภูมิของน้ำร้อนขาเข้าจากท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (°C)

Dt คือ ช่วงเวลาในการรับรังสีดวงอาทิตย์ (s)

3.1.2 การสร้างกริดและการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก



รูปที่ 1 กริดแบบไร้โครงสร้าง (Unstructured grid) ของเครื่องต้นแบบโดยใช้โปรแกรม SolidWorks



รูปที่ 2 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของเครื่องต้นแบบโดยใช้โปรแกรม SolidWorks

http://jeet.siamtechu.net

กริดแบบไร้โครงสร้างของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกทีมวิจัยเลือกใช้แบบสี่เหลี่ยมตลอดทั้งโครงสร้างซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 2,163,296 กริด แสดงดังรูปที่ 1 และใช้อัลกอริทึมแบบ Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations (SIMPLE) ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเฟสของไหล (continuity, momentum and standard *k-ε* model equations) กำหนดให้ค่าคงที่ r_{liquid} = 997 kg/m^3 และ m_{liquid} = 0.00089 Pa.s ส่วนตัวแปรอื่นๆ ในแบบจำลอง standard *k-ε* turbulence model คือ C_m= 0.09, s_k = 1.0, s_e= 1.3, C_{1e}= 1.44 และ C_{2e}= 1.92 นอกจากนี้กำหนดให้สมมติฐานในการจำลองการไหลของของไหลภายในท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ ดังนี้ **1)** คุณสมบัติของของไหล **(**ความหนาแน่นและความหนืด**)** มีค่าคงที่ **2)** ใช้แบบจำลอง standard *k-ε* turbulence model ในการคำนวณการไหลของไหลแบบปั่นป่วน 3) การจำลองการไหลของของไหลอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state)

จากรูปที่ 2 แสดงเงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) และค่าต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองการไหลของของไหล ซึ่งรายละเอียดดังนี้ 1) น้ำเป็นของไหลที่ไหลผ่านท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิ 35 °C และความหนาแน่น 997 kg/m^3 2) ช่องทางเข้าของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์กำหนดให้มีอัตราการไหล คือ 0.00831 kg/s และมีลักษณะการไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform flow) ในทิศทางแกน x เท่านั้น 3) ช่องทางออกของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์กำหนดให้เป็นความดันสถิต (Static pressure) มีค่า 101,325 Pa และของไหลจะไหลออกจากช่องทางออกนี้เมื่อความดันภายในมากกว่าความดันภายนอกท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ 4) ผนังของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (Receiver tube wall) กำหนดให้เป็นแบบไม่มีการลื่นไถล (No-slip condition) กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ไม่มีความเร็วของของไหลบริเวณผนังท่อนั่นเอง

การเปลี่ยนแปลงการไหลของของไหลภายในท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากการใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของสมการต่างๆ ได้แก่ สมการอนุรักษ์มวล สมการอนุรักษ์โมเมนตัม และสมการอนุรักษ์พลังงาน แสดงรายละเอียดดังสมการที่ 3 [10-11]

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}= 0 \tag{3}$$

โดยที่ x, y, z แทนแกนในพิกัดฉาก (Rectangular coordinates) และ u, v, w แทนความเร็วในแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ ส่วนสมการอนุรักษ์โมเมนตัมใช้ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แรงโน้มถ่วงของโลก และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับของไหล แสดงรายละเอียดดังสมการที่ 4-6

x-component:
$$\rho\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial vu}{\partial y}+\frac{\partial wu}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \tag{4}$$

y-component:
$$\rho\left(\frac{\partial uv}{\partial x}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial wv}{\partial z}\right)=-\frac{\partial P}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \tag{5}$$

z-component:
$$\rho\left(\frac{\partial uw}{\partial x}+\frac{\partial wu}{\partial y}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)=-\frac{\partial P}{\partial z}+\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)+\rho g \tag{6}$$

โดยที่ ρ แทนความหนาแน่นของของไหล ***P*** แทนแรงดันที่มากระทำต่อของของไหล และ μ แทนความหนืดของของไหลในแนวแกน x, y และ *z* นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์และพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นกับของไหลสามารถคำนวณได้ด้วยสมการอนุรักษ์พลังงาน แสดงรายละเอียดดังสมการที่ 7

$$\rho c\frac{\partial T}{\partial t}-k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)-Q=0 \tag{7}$$

โดยที่ ***c*** แทนความจุความร้อนจำเพาะของของไหล ***T*** แทนอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของของไหล และ ***Q*** แทนอัตราการกำเนิดพลังงานความร้อนภายในของไหลต่อหน่วยปริมาตรในแนวแกน x, y และ *z*

ในการคำนวณการไหลของของไหลที่มีลักษณะแบบปั่นป่วนสามารถคำนวณได้ด้วย แบบจำลอง standard *k-ε*

turbulence model ซึ่งประกอบด้วย 2 สมการหลักๆ นั่นคือ สมการพลังงานจลน์ปั่นป่วน (Turbulent Kinetic Energy, *k*) ใช้ในการคำนวณพลังงานจลน์ของของไหลขณะที่ไหลแบบปั่นป่วน และสมการการกระจายตัวปั่นป่วน (Turbulent Dissipation, ε) ใช้ในการคำนวณระดับการปั่นป่วนของของไหล ซึ่งแสดงรายละเอียดดังสมการที่ 8 และ 9

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+\left(G_k+G_b\right)-(\rho\varepsilon+Y_M)+S_k \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right]+C_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{k}(G_k+C_{\varepsilon 3}G_b)-C_{\varepsilon 2}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}+S_\varepsilon \quad (9)$$

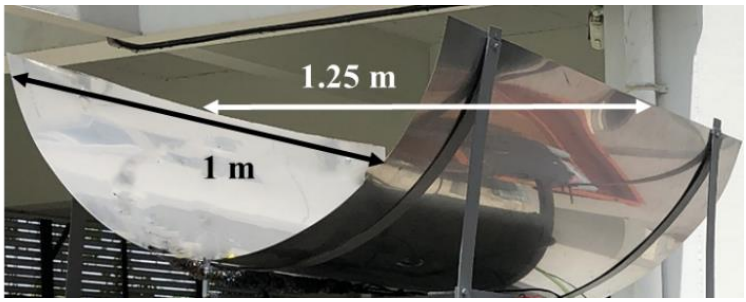
โดยที่ μ_tแทนความหนืดของของไหลที่ไหลแบบปั่นป่วนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10 และ G_kแทนผลของพลังงานจลน์ที่มีต่อของไหลขณะที่ไหลแบบปั่นป่วนซึ่งเกิดจากเกรเดียนท์ความเร็วของของไหลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11 ส่วน G_bแทนผลของพลังงานที่มีต่อของไหลขณะที่ไหลแบบปั่นป่วนซึ่งเกิดจากแรงลอยตัวที่มากระทำต่อของไหล สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 12

$$\mu_t = f\left(\rho\frac{k^2}{\varepsilon}\right)=\rho C_\mu\frac{k^2}{\varepsilon} \quad (10)$$

$$G_k = 2\mu_t S_{ij}S_{ij} \quad (11)$$

$$G_b = -g_i\frac{\mu_t}{Pr_t}\frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (12)$$

3.1.3 แผ่นสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์แบบพาราโบล่า (Parabolic reflector) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งมีขนาด 1 x 1.25 m^2 หนา 0.8 mm และทำมาจากวัสดุสแตนเลส จำนวน 1 แผ่น แสดงดังรูปที่ 3 ในการวัดความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์รวม (Global solar radiation) ทีมวิจัยได้ใช้ไพรานอมิเตอร์เป็นเครื่องมือในการวัด โดยทำการวัดตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น. เป็นระยะเวลา 30 วัน ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2565



รูปที่ 3 แผ่นสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์

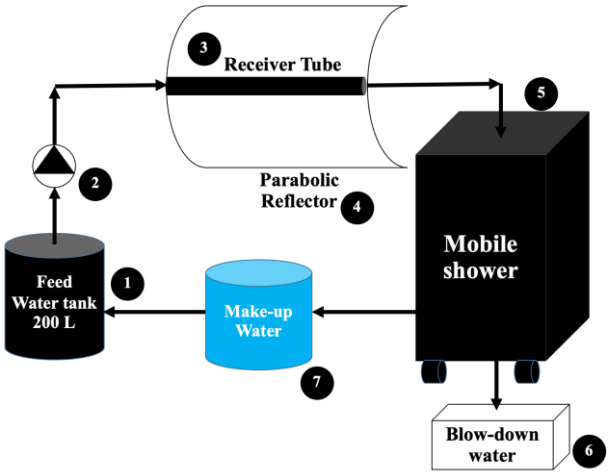
3.1.4 ท่อรับรังสีดวงอาทิตย์ (Receiver tube) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์จากแผ่นสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์แบบพาราโบล่า ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 9 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 13 mm ยาว 1,000 mm และทำมาจากวัสดุทองแดง จำนวน 1 เส้น แล้วหุ้มด้วยฝอยสแตนเลส เพื่อช่วยให้การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนจากดวงอาทิตย์มาที่ท่อรับรังสีและถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนจากท่อไปสู่น้ำให้ร้อนเร็วขึ้น แสดงดังรูปที่ 4 นอกจากนี้ทีมวิจัยได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Thermocouple type K) เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำร้อน ตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น. เป็นระยะเวลา 30 วัน ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2565

รูปที่ 4 ท่อรับรังสีดวงอาทิตย์

3.1.5 ตู้อาบน้ำแบบเคลื่อนที่ (Mobile shower) คือ อุปกรณ์ใช้ในการอาบน้ำร้อนมีขนาด 70 x 75 x 180 cm^3 จำนวน 1 ตู้ ซึ่งมีการติดตั้งเทอร์โมสตัดเพื่อช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำไม่ให้สูงหรือต่ำจนเกินไปและมีการติดตั้งล้อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนที่ แสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 ตู้อาบน้ำแบบเคลื่อนที่

3.2 กระบวนการทำงานของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบท



รูปที่ 6 แผนภาพกระบวนการทำงานของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก

http://jeet.siamtechu.net

เครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบท เริ่มกระบวนการทำงานจากน้ำที่เก็บไว้ในถัง (Feed water tank) 200 L (1) ถูกปั๊ม (2) ให้ไหลผ่านท่อรับรังสีดวงอาทิตย์ (Receiver tube) (3) ขณะที่น้ำไหลผ่านท่อรับรังสีดวงอาทิตย์แผ่นสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์แบบพาราโบล่า (Parabolic reflector) (4) ได้รับและสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์เข้าสู่ท่อรับ จึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ดูดซับเข้าสู่ท่อรับ โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ในการวัดความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์และทำการบันทึกผลทุกๆ 10 นาที ส่วนการวัดอุณหภูมิของน้ำใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K และอุณหภูมิของอากาศใช้ไซโครมิเตอร์ในการวัดและทำการบันทึกผลทุกๆ 10 นาทีเช่นเดียวกัน จากนั้นน้ำร้อนจะไหลไปสู่ตู้อาบน้ำเคลื่อนที่ (Mobile shower) (5) ซึ่งมีการติดตั้งเทอร์โมสตัดเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการใช้งาน แล้วไหลออกสู่ฝักบัวเพื่อใช้ในการอาบน้ำ น้ำที่ใช้ในการอาบน้ำเสร็จแล้วจะถูกปล่อยทิ้ง (6) จากนั้นเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในการอาบน้ำจึงมีการเติมน้ำจากถังน้ำเติม (7) กระบวนการทำงานเหล่านี้ของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกมีการหมุนเวียนเป็นระบบต่อเนื่องไปตั้งแต่เริ่มต้นอาบน้ำจนกระทั่งเสร็จสิ้น แสดงดังรูปที่ 6

3.3 การประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก

ทีมวิจัยทำการประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์จากการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดของระยะเวลาคืนทุน (Payback Time, PBT) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการนำต้นทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกนี้ (Total Project Investment, TPI) มาเทียบกับผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า (Periodic Energy Saving, PES) แสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ 13 [12]

$$\mathrm{PBT\,(Year)} = \frac{\mathrm{TPI\,(Baht)}}{\mathrm{PES\,(Baht/Year)}} \tag{13}$$

ค่า PES สามารถคำนวณได้จากการนำปริมาณความร้อนของน้ำที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วคิดเป็นผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากสมการข้างล่างนี้

$$\mathrm{PES\,(Baht/Year)} = \frac{Q_u}{1,000}\,(\mathrm{kW}) \times \mathrm{Working\ hours}\left(\frac{\mathrm{Hrs}}{\mathrm{Year}}\right) \times 3.7171\left(\frac{\mathrm{Baht}}{\mathrm{kWh}}\right) \tag{14}$$

หมายเหตุ: อัตราค่าไฟฟ้า 3.7171 บาท/หน่วย มีที่มาจากประกาศของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) [13]

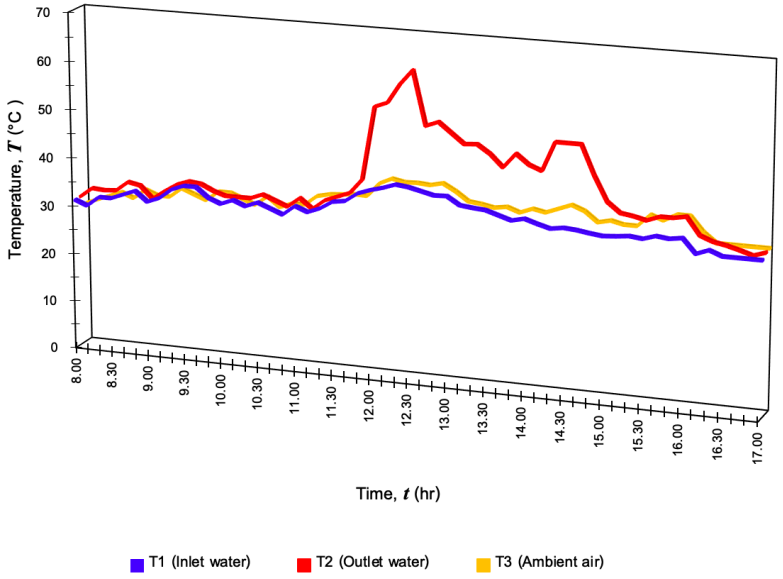
4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลของประสิทธิภาพการทำน้ำร้อนเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกที่ได้จากการจำลองกับการทดลอง

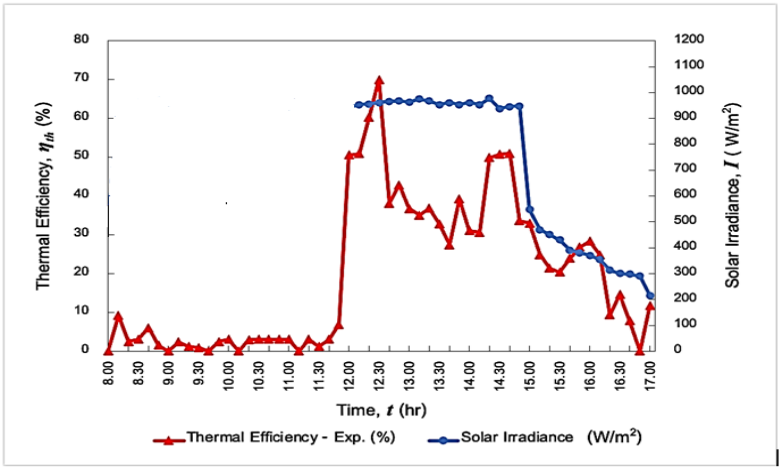
ในการพัฒนาเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบทด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรม โดยทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองกับผลที่ได้จากการทดลองตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น. เป็นระยะเวลา 30 วัน ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2565 พบว่าค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองอุณหภูมิน้ำที่ทางเข้า (T_1: Inlet water) และอุณหภูมิน้ำที่ทางออก (T_2: Outlet water) ของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ รวมทั้งอุณหภูมิอากาศ (T_3: Ambient air) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 36.88, 45 และ 36.940 $^{\circ}$C ตามลำดับ ตั้งแต่ 11.00 – 12.30 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 950.12 W/m^2 จึงทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และการพาความร้อนจากอากาศมาสู่ท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ จากนั้นเกิดการนำความร้อน

http://jeet.siamtechu.net

และพาความร้อนไปสู่น้ำที่ไหลภายในท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ [14] ต่อมาในช่วงเวลา 12.30 – 17.00 น. ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงโดยเฉลี่ย 675.52 W/m^2 ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศบริเวณรอบๆ ตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ลดลง ประกอบกับไม่มีการหุ้มฉนวนที่ท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียความร้อนจากท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ไปสู่อากาศแวดล้อมได้ อุณหภูมิน้ำที่ทางออกจึงค่อยๆ ลดลงอย่างรวดเร็วสังเกตได้จากช่วงเวลา 16.00 – 17.00 น. [15] แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 7 จากรูปที่ 8 สังเกตได้ว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกอยู่ระหว่าง 27.38 – 69.97% ในระหว่างช่วงเวลา 12.00 – 15.00 น. ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยค่อนข้างสูง อีกทั้งบริเวณท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์มีการหุ้มด้วยฝอยสแตนเลสจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์มาสู่น้ำที่ไหลผ่านท่อสูงขึ้น นอกจากนี้เครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกยังสามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงถึง 65 °C



รูปที่ 7 อุณหภูมิน้ำเข้า น้ำออกของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ และอากาศในระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลอง



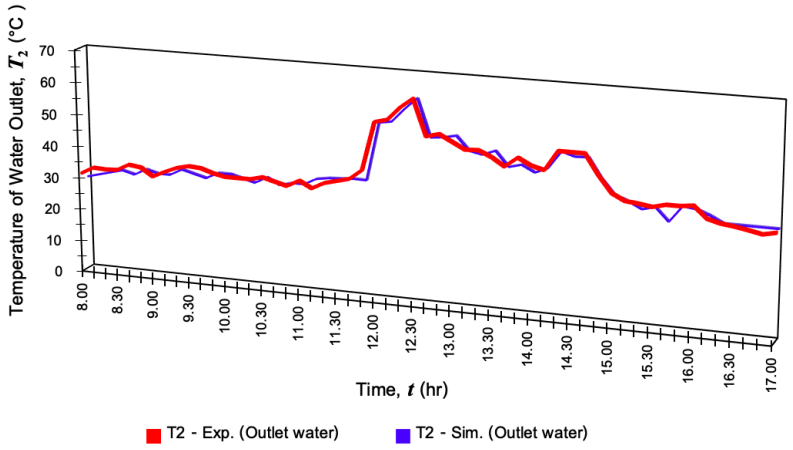
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลกับผลการทดลองของน้ำที่ไหลออกจากช่องทางออกตัวเก็บรังสีดวงในช่วงเวลาระหว่าง 8.00 – 17.00 น. แสดงดังรูปที่ 9 พบว่า อุณหภูมิของน้ำที่ได้จากผลการจำลองมีความสอดคล้องกับผล

http://jeet.siamtechu.net

การทดลอง ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 11.00 ไปจนถึง 12.30 น. โดยอุณหภูมิของน้ำที่ช่องทางออกจากผลการจำลองสูงถึง 64.30 °C ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่ช่องทางออกจากผลการทดลอง คือ 65 °C จากนั้นในช่วงเวลา 12.30 – 17.00 น. อุณหภูมิของน้ำที่ช่องทางออกจากผลการจำลองมีแนวโน้มลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 42.11 °C ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่ช่องทางออกจากผลการทดลอง คือ 43.35 °C

จากตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกที่ได้จากการจำลองกับการทดลองในช่วงเวลา 12.00 – 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เครื่องต้นแบบสามารถทำประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้มีประสิทธิภาพที่ดี พบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการจำลองอยู่ระหว่าง 26.18 – 68.77% ส่วนค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการทดลองอยู่ระหว่าง 27.38 – 69.97% นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ช่องทางออก ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน สังเกตได้ว่า ค่าที่ได้จากผลการจำลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จาผลการทดลอง อาจมีสาเหตุมาจากในการจำลองตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรเชิงแสง (Optical parameters) ซึ่งครอบคลุมถึงการแผ่รังสีความร้อน การพาความร้อน การนำความร้อน และการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของท่อรับรังสีดวงอาทิตย์ มีความผันแปรตามค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่าในการทดลองซึ่งอยู่ในสภาวะแวดล้อมจริง [16]



รูปที่ 9 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิน้ำที่ช่องทางออกจากตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากการจำลองกับการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกที่ได้จากการจำลองกับการทดลอง

ระยะเวลา (ชม.)	$h_{th, Sim.}$ (%)	$h_{th, Exp.}$ (%)	% Error
12.00	49.37	50.57	2.37
12.10	49.69	50.89	2.36
12.20	59.04	60.24	1.99
12.30	68.77	69.97	1.72
12.40	36.94	38.14	3.15
12.50	41.67	42.87	2.80
13.00	35.52	36.72	3.27
13.10	33.85	35.05	3.42

13.20	35.63	36.83	3.26
13.30	31.61	32.81	3.66
ระยะเวลา (ชม.)	$h_{th, Sim.}$ (%)	$h_{th, Exp.}$ (%)	% Error
13.40	26.18	27.38	4.38
13.50	38.04	39.24	3.06
14.00	29.83	31.03	3.87
14.10	29.46	30.66	3.91
14.20	48.71	49.91	2.40
14.30	49.57	50.77	2.36
14.40	49.79	50.99	2.35
14.50	32.39	33.59	3.57
15.00	31.86	33.06	3.63

4.2 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์นั้น ทีมวิจัยทำการวิเคราะห์จากดัชนีชี้วัดของระยะเวลาคืนทุน ต้นทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (10,500 บาท) และผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า แสดงดังสมการที่ 13 และ 14 ตามลำดับ โดยรายละเอียดของระยะเวลาคืนทุนเมื่อเทียบกับเงินลงทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 2 พบว่า ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ประเมินได้จากเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์เทียบเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องทำน้ำอุ่นตามท้องตลาดทั่วไปขนาด 4,500 W [17] ในการทำน้ำร้อนของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์มีค่า 2,939.76 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ (PES) 10,927.38 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 0.96 ปี (PBT)

ตารางที่ 2 การประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก

รายการอุปกรณ์	**ปริมาณการใช้ไฟฟ้า**		**ผลประหยัด (PES)**	**ระยะเวลาคืนทุน (PBT)**
	(kWh/ปี)	**(บาท/ปี)**	**(บาท/ปี)**	**(ปี)**
เครื่องทำน้ำอุ่นทั่วไป	3,240	12,043.40	10,927.38	0.96
เครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก	300.24	1,116.02		

5.สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองกับการทดลอง และผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการพัฒนาเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบท มีรายละเอียดดังนี้ 1) ในช่วงเวลาที่ทำการทดลองตั้งแต่ 11.00 – 12.30 น. ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 950.12 W/m^2 นอกจากนี้อุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าและที่ทางออกของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ รวมทั้งอุณหภูมิอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 36.88, 45 และ 36.94 ^{o}C ตามลำดับ 2) ในช่วงเวลาที่ทำการทดลองตั้งแต่ 12.30 – 17.00 น. ค่าความ

เข้มรังสีดวงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงโดยเฉลี่ย 675.52 W/m^2 นอกจากนี้อุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าและที่ทางออกของท่อตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ รวมทั้งอุณหภูมิอากาศมีแนวโน้มลดลงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 34.85, 42.63 และ 36.09 $^{\circ}$C ตามลำดับ 3) ในระหว่างช่วงเวลา 12.00 – 15.00 น. ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกอยู่ระหว่าง 27.38 – 69.97% 4) เครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกยังสามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงถึง 65 $^{\circ}$C 5) การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์นั้น ทีมวิจัยทำการวิเคราะห์จากดัชนีชี้วัดของระยะเวลาคืนทุน ต้นทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (10,500 บาท) และผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยรายละเอียดของระยะเวลาคืนทุนเมื่อเทียบกับเงินลงทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แสดงผลการคำนวณ พบว่า ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ประเมินได้จากเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์เทียบเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องทำน้ำอุ่นตามท้องตลาดทั่วไปขนาด 4,500 W ในการทำน้ำร้อนของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์มีค่า 2,939.76 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 10,927.38 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 0.96 ปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบพาราโบลิกสำหรับผลิตน้ำร้อนใช้ในพื้นที่ชนบท ทีมผู้วิจัยเสนอแนะให้เพิ่มการออกแบบระบบหมุนตามดวงอาทิตย์ (Solar tracking system) เพื่อช่วยให้ตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์สามารถรับรังสีตรง (Direct beam) จากดวงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นตลอดทั้งวันส่งผลให้ช่วงเวลา 15.00 – 17.00 น. มีค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใช้สารละลายนาโนทดแทนการใช้น้ำเป็นสารทำงานและการนำชุดตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบพาราโบลิกมาต่อขนานเพื่อพื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ก็ถือเป็นทางเลือกหนึ่ง อย่างไรก็ตามควรพิจารณาควบคู่กับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วยเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการนำไปใช้งานในพื้นที่ชนบท

6. รายการตัวย่อและสัญลักษณ์

A_s	พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์, m^2
C_w	ค่าความจุความร้อนของน้ำ, kJ/kg.°C
G_k	ผลของพลังงานจลน์ที่มีต่อของไหลขณะที่ไหลแบบปั่นป่วนซึ่งเกิดจากเกรเดียนท์ความเร็วของของไหล, -
G_b	ผลของพลังงานที่มีต่อของไหลขณะที่ไหลแบบปั่นป่วนซึ่งเกิดจากแรงลอยตัวที่มากระทำต่อของไหล, -
I_t	ค่ารังสีดวงอาทิตย์, W/m^2
m	มวลของน้ำร้อน, kg
P	แรงดันที่มากระทำต่อของไหล, N/m^2
PBT	ระยะเวลาคืนทุน, ปี
PES	ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า, บาท/ปี
Q_u	ปริมาณความร้อนของน้ำที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์, W
Dt	ช่วงเวลาในการรับรังสีดวงอาทิตย์, s
T_i, T_1	อุณหภูมิของน้ำร้อนขาเข้าจากท่อรับรังสีดวงอาทิตย์, °C
T_o, T_2	อุณหภูมิของน้ำร้อนขาออกจากท่อรับรังสีดวงอาทิตย์, °C
TPI	ต้นทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก, บาท
u,v,w	ความเร็วในแนวแกน x, y และ z, m/s
x,y,z	แกนในพิกัดฉาก, -
r_{liquid}	ความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3

http://jeet.siamtechu.net

η_{liquid} ความหนืดของของไหล, Pa.s

η_t ความหนืดของของไหลที่ไหลแบบปั่นป่วน, Pa.s

h_{th} ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, %

7. เอกสารอ้างอิง

[1] V. Pranesh, R. Velraj, S. Christopher, and V. Kumaresan, A 50 Year Review of Basic and Applied Research in Compound Parabolic Concentrating Solar Thermal Collector for Domestic and Industrial Applications, Solar Energy, 187, 2019, pp. 293-340.

[2] A.E. Kouche, F.O. Gallego, Modeling and Numerical Simulation of a Parabolic Trough Collector using an HTF with Temperature Dependent Physical Properties, Mathematics and Computers in Simulation, 192, 2022, pp. 430-451.

[3] สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์ ประพันธ์ พิกุลทอง และธเนศ วิลาศมงคลชัย. การตอบสนองของระบบสะสมพลังงานสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา: กรณีศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความไม่สม่ำเสมอ. Journal of Energy and Environment Technology. Volume 7, Issue 1, January-June 2020, pp. 1-12.

[4] ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล กฤษณะ จันทสิทธิ์ และธีรวัฒน์ ชื่นอัศดงคต. ระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน. Journal of Energy and Environment Technology. Volume 9, Issue 1, January-June 2022, pp. 11-22.

[5] S.E. Ghasemi, A.A. Ranjbar, and A. Ramiar, Three-Dimensional Numerical Analysis of Heat Transfer Characteristics of Solar Parabolic Collector with Two Segmental Rings, Journal of Mathematics and Computer Science, 7, 2013, pp. 89-100.

[6] C. Tzivanidis, E. Bellos, D. Korres, K.A. Antonopoulos, and G. Mitsopoulos, Thermal and Optical Efficiency Investigation of a Parabolic Trough Collector, Case Studies in Thermal Engineering, 6, 2015, pp. 226-237.

[7] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and N. Said, A Linear Fresnel Reflector as a Solar System for Heating Water: Theoretical and Experimental Study, Case Studies in Thermal Engineering, 8, 2016, pp. 176-186.

[8] M. Ghodbane, B. Boumeddane, A Numerical Analysis of the Energy Behavior of a Parabolic Trough Concentrator, Journal of Fundamental and Applied Sciences, 8(3), 2016, pp. 671-691.

[9] J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 4th edition, 2013, published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

[10] Y. Jaluria, Design and Optimization of Thermal Systems, 3rd edition, 2020, published by CRC press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, United States.

[11] สมบูรณ์ โอตรวรรณะ เกียรติศักดิ์ เหงี่ยมสูงเนิน และอธิพงษ์ มาลาทิพย์. “คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรม”. พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์หนังสือสำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, ปทุมธานี, 2562.

[12] E. Aydina, P. Eichholtzb, and E. Yonderc, The Economics of Residential Solar Water Heaters in Emerging Economies: The Case of Turkey, Energy Economics, 75, 2018, pp. 285-299.

[13] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (1 ตุลาคม 2565). อัตราค่าไฟฟ้า-การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.pea.co.th/ Portals/0/demand_response/Electricity%20Reconsider.pdf?ver=2018-10-01-155123-370.

[14] S. Gharehdaghi, S.F. Moujaes, and A.M. Nejad, Thermal-Fluid Analysis of A Parabolic Trough Solar Collector of A Direct Supercritical Carbon Dioxide Brayton Cycle: A Numerical Study, Solar Energy, 220, 2021, pp. 766-787.

[15] A.E. Kouche, F.O. Gallego, Modeling and Numerical Simulation of A Parabolic Trough Collector using An HTF with Temperature Dependent Physical Properties, Mathematics and Computers in Simulation, 192, 2022, pp. 430-451.

[16] J. Immonen, K. Mohammadi, and K.M. Powell, Simulating A Solar Parabolic Trough Collector Plant Used for Industrial Process Heat using An Optimized Operating Scheme that Utilizes Flexible Heat Integration, Solar Energy, 236, 2022, pp. 756-771.

[17] Officemate. (9 ตุลาคม 2565). เครื่องทำน้ำอุ่น Stiebel Eltron WL 45 EC, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.officemate.co.th /en /stiebel-eltron-เครื่องทำน้ำอุ่น - stiebel-eltron-wl-45-ec-stiebel-eltron-ofmy004983.