

ผลของการฝังท่อทองแดงที่ความลึกแตกต่างกันในชั้นยางมะตอยต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน
ของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบยางมะตอย

Effect of Copper Pipe Embedding at Different Depths in Asphalt Layer on
Thermal Efficiency of Asphalt Solar Water Heaters

ติณณภพ แพงผม¹ จิระศักดิ์ พุกดำ^{2*} และ วิทยา พวงสมบัติ³

Tinnapob Phengpom¹ Jirasak Pukdam^{2*} and Withaya Puangsombuti³

¹สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม

²สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม

³สุดกำแพง 82 หมู่ 5 ถนนพหลโยธิน อำเภอโกสุมพินคร กำแพงเพชร

¹Institute for Innovative Learning, Mahidol University, Nakhonpathom

²Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Design,
Rajamangala University of Technology, Nakhonpathom

³Sood-Kamphaeng, 82 Moo 5, Phaholyothin Road, Kosamphi Nakhon, Kamphaengphet

*E-mail: Jirasak.Puk@rmutr.ac.th

Received: Jul 12, 2022

Revised: Aug 16, 2022

Accepted: Aug 18, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการฝังท่อทองแดงที่ความลึกแตกต่างกันในชั้นยางมะตอยต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบยางมะตอย เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษานี้ทั้งสองแบบ (Type A และ Type B) มีตัวดูดกลืนรังสีที่ทำจากยางมะตอยผสมสำเร็จขนาดเท่ากับ 0.8 เมตร x 0.8 เมตร ด้านบนปิดด้วยแผ่นกระจก ในชั้นยางมะตอยมีการฝังท่อทองแดง สำหรับเครื่องทำน้ำร้อน Type A เพียง 3 ใน 4 ส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลาง (7.5 มิลลิเมตร) ของท่อทองแดงถูกฝังลงไปชั้นยางมะตอย และสำหรับเครื่องทำน้ำร้อน Type B ท่อทองแดงถูกฝังลึกจากผิวของชั้นยางมะตอย 25 มิลลิเมตร จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิสูงสุดของยางมะตอยผสมสำเร็จ และอุณหภูมิน้ำร้อน คือ 69 องศาเซลเซียส และ 53.70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับเครื่องทำน้ำร้อน Type A และ 70.5 องศาเซลเซียส และ 50.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับเครื่องทำน้ำร้อน Type B นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องทำน้ำร้อน Type A มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 80% เฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 57% ส่วนเครื่องทำน้ำร้อน Type B ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 69% เฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 44% การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการฝังท่อทองแดงลงไปยังตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ความลึกแตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

คำสำคัญ: เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ยางมะตอย ตัวดูดกลืนรังสี ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

Abstract

This paper aimed to study the effect of embedding copper pipes at different depths in asphalt layer on thermal efficiency of asphalt solar water heaters. Both solar water heaters (Type A and Type B) used in this study had a solar absorber made from mixed asphalt with the size of 0.8 m x 0.8 m covered with a glass cover. In the asphalt layer, copper pipes were embedded. For the heater Type A, only three quarters of the diameter (7.5 mm) of the copper pipes were embedded in the asphalt layer and for the heater Type B, the copper pipes were embedded 25 mm deep from the surface of the asphalt layer. From this study, it was found that the maximum

temperatures of mixed asphalt and hot water were 69°C and 53.70°C, respectively, for the water heater Type A and 70.5°C and 50.4°C, respectively, for the water heater Type B. Moreover, it was also found that the water heater Type A had the maximum thermal efficiency of 80% with a daily average of 57% while the water heater Type B had the maximum thermal efficiency of 69% with a daily average of 44%. This study indicated that embedding copper pipes into the solar absorbers at different depths affected thermal efficiency of the solar water heaters.

Keywords: Solar water heater, Asphalt, Solar absorber, Thermal efficiency

1. บทนำ

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและจำนวนประชากร เป็นปัจจัยสำคัญในการใช้พลังงานจึงส่งผลให้เกิดการจัดหาพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะภาคที่อยู่อาศัย ภาคอุตสาหกรรมและภาคบริการของประเทศไทย มีกิจการหลายอย่างที่จำเป็นต้องใช้ความร้อนเพื่อใช้ในครัวเรือน ในการบริการลูกค้า ในกระบวนการผลิต โดยพลังงานสิ้นเปลืองต่าง ๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ถูกนำมาใช้ผลิตความร้อน ซึ่งการใช้พลังงานเหล่านี้เป็นการเพิ่มภาระในด้านค่าใช้จ่าย และสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นภายในประเทศ ดังนั้นเพื่อสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่ดีและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การพัฒนาศักยภาพการผลิตและการใช้พลังงานทางเลือกด้วยเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกทวีปทั่วโลก เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งยังเป็นพลังงานที่สะอาด [1] ประเทศไทยมีความเข้มรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่กระจายตัวในช่วง 17-20 เมกะจูลต่อตารางเมตร-วัน หรือเท่ากับ 5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน [2] อีกทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการทำความร้อนโดยตรงมีต้นทุนต่ำ

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการออกแบบมาเพื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และแปลงเป็นพลังงานความร้อน [3] ซึ่งได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง Padakan and Radagan [4] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน และประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน โดยศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำ อยู่ในช่วง 0.0083-0.02 กิโลกรัมต่อวินาที และความเข้มของแสงอยู่ในช่วง 607-1290 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยอุณหภูมิของน้ำสูงสุดอยู่ในช่วง 50-78 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของระบบอยู่ในช่วง 53-72% ต่อมาระบบทำน้ำร้อนโดยใช้แผงรับรังสีจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

ได้ถูกศึกษาเปรียบเทียบกับระบบใช้ปั๊มความร้อนเพื่อใช้กับอาคารพักอาศัย [5] แผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่รับแสง 2 ตารางเมตร เปรียบเทียบกับปั๊มความร้อนขนาดกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.78 กิโลวัตต์ และ 1.25 กิโลวัตต์ โดยประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 43.8-52.6% ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 4.2-5.5 Duangjaiboon [6] ศึกษาความเป็นไปได้ของระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานของโรงแรมในเขตอำเภอกลาง จังหวัดภูเก็ต โดยติดตั้งใช้ระบบความร้อนทั้งจากเครื่องปรับอากาศจำนวน 2 ตัว ร่วมกับแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 40 ตารางเมตร ผลิตน้ำร้อนได้วันละ 2,987 ลิตรต่อวัน

ตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นองค์ประกอบของระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยเหตุนี้หน้าที่ของมันคือการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนไปยังของเหลวหมุนเวียนภายในระบบ Poomsawat and Poomsawat [7] ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นเอง โดยแผงรับรังสีอาทิตย์เป็นแบบแผ่นเรียบอลูมิเนียมทาดูด้วยสีดำ ขนาด 1 ตารางเมตร ทำมุมเอียง 30 องศา และส่วนของถังเก็บน้ำร้อนมีขนาด 50 ลิตร แผงรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว จำนวน 9 ท่อ ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องมีค่า 55.8% ในขณะที่เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน 3 ประเภท ถูกประเมินประสิทธิภาพทางความร้อนโดย Tchien and Koholé [8] ตัวสะสมแบบแผ่นเรียบแบบที่ 1 เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่วางด้านล่างของท่อ แบบที่ 2 ดูดกลืนรังสีอาทิตย์แผ่นเรียบวางอยู่ในระนาบแนวเดียวกับท่อ และ แบบที่ 3 ดูดกลืนรังสีอาทิตย์แผ่นเรียบเป็นแบบวางไว้ด้านบนของท่อ โดยผลลัพธ์แสดงถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแบบที่ 1 สูงกว่าอีกสองประเภท ต่อมา Yassen et al. [9] ประเมินประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผสม

ร่วมกับพื้นผิวตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบลูกฟูก โดยทำการทดสอบสองกรณีแบบอัตราการไหล 0.005, 0.0091 และ 0.013 กิโลกรัมต่อวินาที และไม่มีอัตราการไหล ผลการวิจัยพบว่าในกรณีที่ไม่มีไหล อุณหภูมิของน้ำในถังสูงสุดคือ 78 องศาเซลเซียส และ 58 องศาเซลเซียส ในส่วนกรณีที่มีอัตราการไหลประสิทธิภาพความร้อนสะสมรายวันคือ 59%, 65% และ 67% ตามลำดับ นอกจากนี้ Bhowmik and Amin [10] ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบจากการสร้างต้นแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นสะท้อนแสงลงมายังตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และประสิทธิภาพการสะสมของระบบดีขึ้นประมาณ 10% Chantawong and Thantong [11] ศึกษาสมรรถนะทางความร้อน ของผนังเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อการทำน้ำร้อน อย่างง่าย เพื่อศึกษาการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร พบว่าผนังเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตน้ำร้อนได้ 36-62 องศาเซลเซียส และช่วยลดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ร้อยละ 61.76 เมื่อเทียบกับผนังชั้นเดียว จากนั้นในปี 2019 [12] และ 2020 [13] เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสีขนาด 0.5 เมตร X 1.0 เมตร ได้ถูกออกแบบและติดตั้งบริเวณพื้นที่หลังคาที่มีขนาดพื้นที่ 2.24 ตารางเมตร โดยหลังคาทำมุม 30 องศา หันไปทางทิศใต้ เพื่อศึกษาการลดความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ตัวบ้าน และทำการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีสมรรถนะเชิงความร้อนสูง และสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวบ้านได้ ประมาณ 5-12 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2.5 ปี นอกจากนี้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการตัวรับรังสีอาทิตย์และถังสะสมความร้อนเข้าด้วยกันโดยใช้ตัวดูดกลืนรังสีที่ทำจากยางมะตอยผสมสำเร็จ พื้นที่ดูดกลืนรังสี 1 ตารางเมตร และถังสะสมความร้อนบรรจุน้ำ 100 ลิตร ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยรายวันอยู่ที่ 43.5% [14]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลของการฝังท่อทองแดงที่มีความลึกแตกต่างกันในชั้นยางมะตอยที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นชนิดใช้วัสดุยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวรับรังสี

อาทิตย์มีขนาด 0.8 เมตร x 0.8 เมตร แผงรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ทำมุมเอียง 15 องศา กับแนวระดับ

การทดลองดำเนินการด้วยการกำหนดค่าความลึกของการฝังท่อทองแดงที่มีความลึกแตกต่างกันในชั้นยางมะตอยแตกต่างกันสองแบบดังแสดงใน Figure 1 ได้แก่ Type A เพียง 3 ใน 4 ส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลาง (หรือ 7.5 มิลลิเมตร) ของท่อทองแดงถูกฝังลงไปชั้นยางมะตอย และ Type B ท่อทองแดงที่ถูกฝังลงในยางมะตอยผสมสำเร็จที่มีความลึก 25 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างภายนอกของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากเหล็กแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร ครอบด้วยแผ่นปิดกระจกใสหนา 4 มิลลิเมตร วางไว้ด้านบนช่องว่างอากาศขนาด 50 มิลลิเมตร ยางมะตอยผสมสำเร็จหนา 50 มิลลิเมตร ทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ขนาดท่อทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 9.52 มิลลิเมตร ฉนวนที่ใช้รองด้านล่างยางมะตอยผสมสำเร็จทำมาจากโฟมอีพีเอสหนา 50 มิลลิเมตร และโครงสร้างภายนอกของเครื่องถูกหุ้มด้วยฉนวนพียูหนา 10 มิลลิเมตร เพื่อลดการสูญเสียความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

รูปแบบการทดลองระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีหลักการคือเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบลงที่ตัวเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไปเนื่องจากกระจกที่วางปิดอยู่ด้านบน และส่วนผ่านเข้ามาจะกระทบกับตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ทำจากยางมะตอยผสมสำเร็จทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น และท่อทองแดงได้รับความร้อนจากแผ่นดูดรังสีอาทิตย์ จากนั้นท่อทองแดงจะถ่ายเทความร้อนไปยังของเหลวในท่อด้วยการพาความร้อน ซึ่งได้รับการออกแบบให้มีปั๊มเป็นตัวส่งแรงดันของเหลวซึ่งเป็นน้ำประปา โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE, 93-77 ที่อัตราการไหลคงที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที [7] รูปแบบของระบบเครื่องทำน้ำร้อนที่ทดสอบไม่มีถังสะสมความร้อน เพื่อทราบถึงผลต่างที่ชัดเจนอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและทางออกจากตัวเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และทราบถึงการนำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ ณ เวลาและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้ออกมา การทดลองมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Type K thermocouple) สำหรับวัดอุณหภูมิที่ผิวกระจก ดูดกลืนรังสีอาทิตย์ น้ำเข้า-ออกจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมภายนอก ดังแสดงในแผนผัง Figure 2 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer, Kipp & Zonan, <2% uncertainty) ถูกติดตั้งที่แผงรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงาน

แสงอาทิตย์ติดตั้งที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม โดยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำมุมเอียง 15 องศา และหันไปทางทิศใต้ ทำการทดสอบในเดือนกุมภาพันธ์ โดยเก็บข้อมูลทุก 1 นาที

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ หาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{q_u}{A_c I_T} \quad (1)$$

โดยที่

q_u = ค่าความร้อนที่น้ำได้รับจากแผงตัวรับรังสีอาทิตย์ (วัตต์)

A_c = พื้นที่แผงรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ (ตารางเมตร)

I_T = ความเข้มรังสีอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

ค่าความร้อนของน้ำที่ได้รับจากแผงตัวรับรังสีอาทิตย์ q_u หาได้จากสมการ

$$q_u = \dot{m} c_p (T_{w,o} - T_{w,i}) \quad (2)$$

โดยที่

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำในแผงตัวรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ (กิโลกรัมต่อวินาที)

c_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (จุดต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส)

$T_{w,i}$ = อุณหภูมิน้ำไหลเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ (องศาเซลเซียส)

$T_{w,o}$ = อุณหภูมิน้ำไหลออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ (องศาเซลเซียส)

เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ (Percentage of water temperature increase, % WTI) ที่ทางออก เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถหาได้จากสมการ

$$\% WTI = \left(\frac{T_{w,o} - T_{w,i}}{T_{w,i}} \right) \times 100 \quad (3)$$

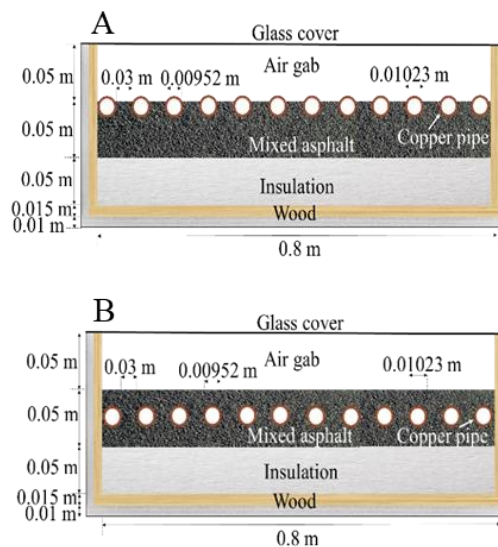


Figure 1 Asphalt solar water heaters. (A) Type A and (B) Type B

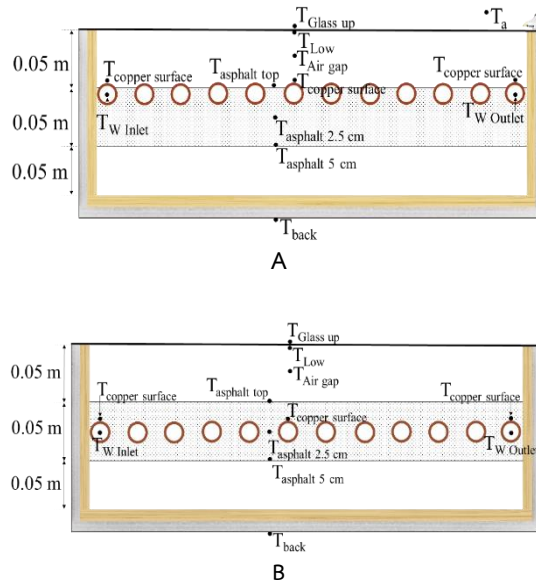


Figure 2 Positions for temperature measurement for Type A (A) and Type B (B) asphalt solar water heaters

3. ผลการวิจัย

ผลการวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมแสดงดัง Figure 3 ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามรังสีอาทิตย์ โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงสุดในช่วงประมาณ 12:40 น. และมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 945 วัตต์ต่อตารางเมตร จากข้อมูลที่ได้สามารถคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์โดยเฉลี่ยทั้งวันตั้งแต่ช่วงเวลา 8:00-16:00 น. ได้เท่ากับ 720 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งถือว่ามีความเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ

เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบลงที่บริเวณผิวกระจกของตัวเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และผ่านเข้ามายังตัวรับรังสีอาทิตย์ทำให้ค่าอุณหภูมิที่แผ่นดูดกลืนความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ทำจากยางมะตอยผสมสำเร็จของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A และ Type B มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกับค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ ซึ่งแสดงใน Figure 4 พบว่าพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีลักษณะเดียวกันตลอดทั้งวัน ค่าความร้อนของยางมะตอยผสมสำเร็จแผ่นดูดกลืนความร้อนจากรังสีอาทิตย์ Type A มีอุณหภูมิบริเวณผิวด้านบนสุด ที่ความลึก 2.5 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตร จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าอุณหภูมิสูงสุด 69 องศาเซลเซียส 66 องศาเซลเซียสและ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 65 องศาเซลเซียส

สำหรับอุณหภูมิที่ยางมะตอยผสมสำเร็จของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type B มีค่าสูงสุด 70.5 องศาเซลเซียส 65 องศาเซลเซียส และ 57 องศาเซลเซียสตามลำดับ และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 64 องศาเซลเซียส โดยเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวด้านบนสุดของตัวดูดกลืนรังสี Type A มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าแบบ Type B สูงสุด 1.5 องศาเซลเซียสเนื่องจากที่ผิวด้านบนสุดของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่มีการฝังท่อทองแดงไว้ในตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ลึกลงไป 7.5 มิลลิเมตร ถูกน้ำซึ่งเป็นของไหลดึงความร้อนจากบริเวณผิวด้านบนของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ออกไป ในทางกลับกันอุณหภูมิของยางมะตอยที่ความลึก 2.5 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตร ของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ Type B มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่า Type A 1 องศาเซลเซียส และ 3 องศาเซลเซียส เนื่องจากท่อทองแดงที่ฝังไว้ที่ความลึก 25 มิลลิเมตร จะดึงความร้อนจากบริเวณรอบ ๆ ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ขึ้นความลึกดังกล่าว และทำให้ความร้อนที่บริเวณดังกล่าวต่ำกว่า Type A

อุณหภูมิน้ำเข้า-ออกจกตัวเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเริ่มทดลองเวลา 6.00 น. อยู่ที่ 24 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิน้ำที่ทางออกจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A และ Type B ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นโดยมีค่าสูงสุด 53.70 องศาเซลเซียส และ 50.4 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.20 น. โดยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A มีค่าอุณหภูมิน้ำร้อนตลอดทั้งวันเฉลี่ย 41.3 องศาเซลเซียส และ Type B มีค่าอุณหภูมิน้ำร้อนตลอด

ทั้งวันเฉลี่ย 38.9 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน Figure 5 นอกจากนี้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A ค่าอุณหภูมิน้ำที่ทางออกเพิ่มขึ้นสูงสุด 22 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำที่ทางเข้า สำหรับค่าอุณหภูมิน้ำที่ทางออกเพิ่มขึ้นสูงสุดของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type B มีค่า 18 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงดัง Figure 6 จากนั้นอุณหภูมิน้ำที่ทางออกของเครื่องทำน้ำร้อนทั้งสองค่อย ๆ ลดต่ำลงตามค่ารังสีอาทิตย์และค่าความร้อนของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A จะมีอุณหภูมิน้ำสูงกว่า Type B เกือบตลอดทั้งวัน ทั้งนี้เนื่องจากผิวบางส่วนของท่อทองแดงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A ได้รับความร้อนโดยตรงจากรังสีอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิน้ำที่ทางออกเพิ่มขึ้นได้เร็วกว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type B ซึ่งไม่ได้รับรังสีอาทิตย์โดยตรง เนื่องจากตัวท่อทองแดงถูกฝังลึกลงไป 2.5 เซนติเมตร จึงต้องมีการสะสมความร้อนที่ผิวด้านบนของยางมะตอยผสมสำเร็จและถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นยางมะตอยด้านบนลงมายังชั้นความลึกที่ทำการฝังท่อทองแดงไว้ โดยเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำในช่วงเวลา 9.00-16.00 น. ในกรณีเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A มีค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ 35% และเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type B มีค่าเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ 30%

เมื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนที่สะสมที่บริเวณยางมะตอยผสมสำเร็จซึ่งถูกนำมาใช้เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยค่าการ

สะสมความร้อนที่เกิดขึ้นในรายชั่วโมงซึ่งแสดงใน Figure 7 จะเห็นได้ว่าค่าความร้อนที่สะสมที่ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A มีค่าสูงกว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type B เกือบตลอดทั้งวัน โดยตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A สามารถสะสมความร้อนได้สูงสุด 19.25 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ Type B สามารถสะสมความร้อนได้สูงสุด 19 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีค่าการสะสมความร้อนที่บริเวณตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์แตกต่างกันตลอดทั้งวันเฉลี่ย 0.25 กิโลวัตต์ชั่วโมง อีกทั้งค่าพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่น้ำได้รับจากแผงตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ Type A มีค่าสูงสุด 1830 วัตต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่า Type B 180 วัตต์ โดยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ Type B ค่าพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์สูงสุด 1650 วัตต์ นอกจากนี้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนทั้ง 2 แบบยังแสดงให้เห็นใน Figure 8 โดยประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A มีค่าสูงสุด 80% เฉลี่ยตลอดทั้งวัน (ช่วงเวลา 8.00-15.00น.) 57% และเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type B มีค่าสูงสุด 69% เฉลี่ยตลอดทั้งวัน 44% ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่า Type B เฉลี่ยทั้งวัน 12% แสดงดัง Figure 9

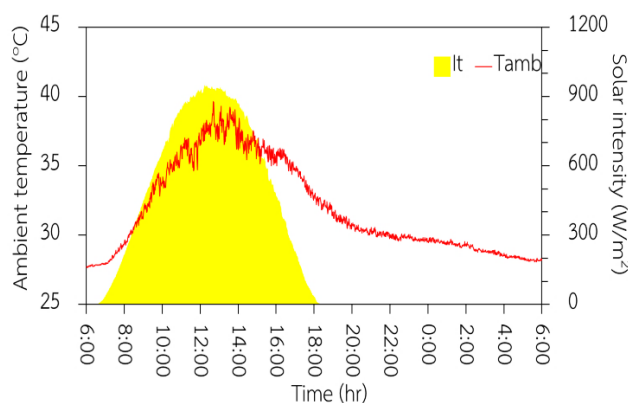


Figure 3 Solar intensity and ambient temperature at different times

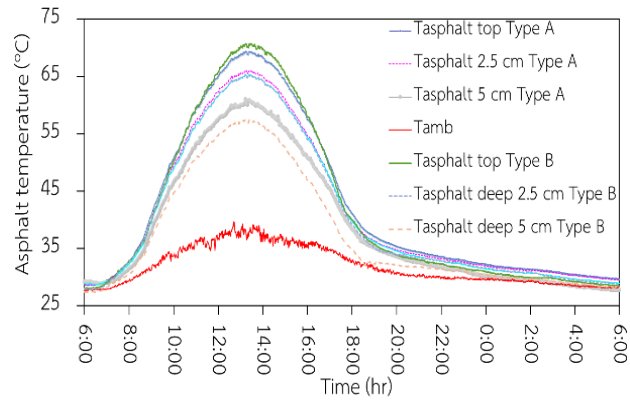


Figure 4 Comparison of asphalt temperature between Type A and Type B asphalt solar water heaters

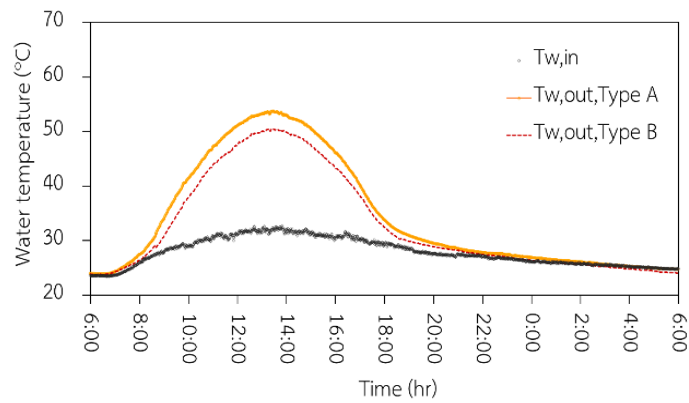


Figure 5 Comparison of water temperature between Type A and Type B asphalt solar water heaters

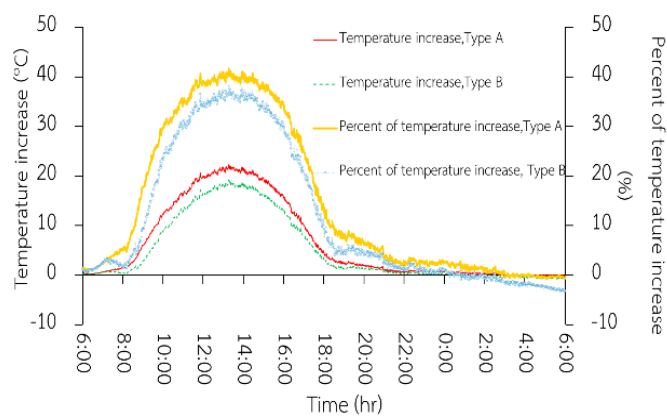


Figure 6 Comparison of outlet water temperature and percent of temperature increase between Type A and Type B asphalt solar water heaters

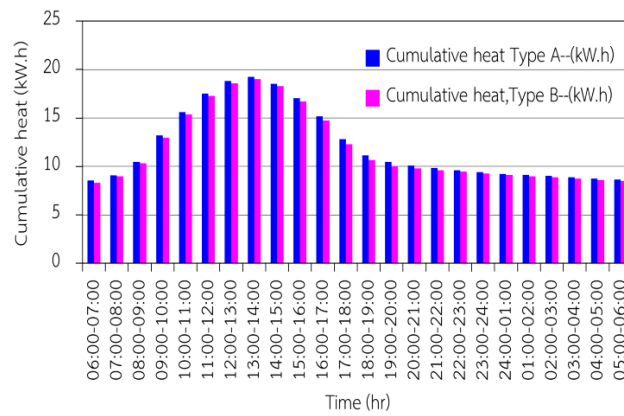


Figure 7 Comparison of absorber plate cumulative heat between Type A and Type B asphalt solar water heaters

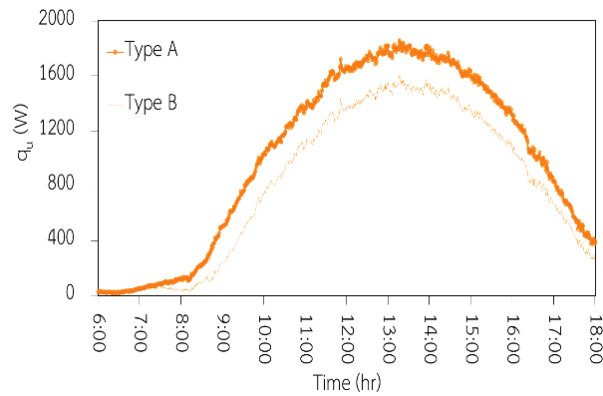


Figure 8 Comparison of useful energy between Type A and Type B asphalt solar water heaters

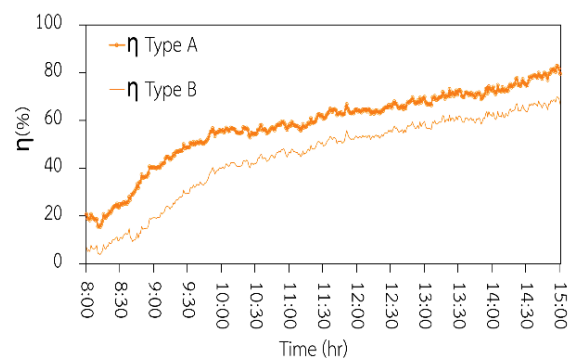


Figure 9 Comparison of efficiency between Type A and Type B asphalt solar water heaters

4. บทสรุป

การศึกษาผลของการฝังท่อทองแดงที่มีความลึกแตกต่างกันในชั้นยางมะตอยที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบยางมะตอยผสมสำเร็จเป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาด 0.8 เมตร x 0.8 เมตร ซึ่งท่อทองแดงถูกฝังลงในยางมะตอยผสมสำเร็จที่มีความลึก 7.5 มิลลิเมตร (Type A) และท่อทองแดงถูกฝังลงในยางมะตอยผสมสำเร็จที่มีความลึก 25 มิลลิเมตร (Type B) จากการศึกษาทดลองพบว่าค่ารังสีอาทิตย์ และค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของน้ำที่ทางออกจากตัวเครื่องทำน้ำร้อน โดยอุณหภูมิของยางมะตอยผสมสำเร็จของ Type A มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 65 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิมายางมะตอยผสมสำเร็จของ Type B มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 64 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนที่สะสมที่บริเวณยางมะตอยมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันตลอดทั้งวัน 0.25 กิโลวัตต์ชั่วโมง สำหรับอุณหภูมิน้ำที่ทางออกของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A มีอุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุด 53.7 องศาเซลเซียส และ สูงกว่า Type B สูงสุด 3.3 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากผิวบางส่วนของท่อทองแดงได้รับความร้อนโดยตรงจากรังสีอาทิตย์ทำให้มีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้เร็วกว่า โดยประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Type A และที่ Type B มีค่าสูงสุด 80% และ 69% ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ 2565 เลขที่สัญญา A21/2565 และขอขอบคุณ “สุดกำแพง” (soodkampaeng582@gmail.com) ที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

6. References

[1] Sarachitti, R. and et al. 2011. Thermal performance analysis and economic evaluation of roofintegrated solar concrete collector. **Energy and Buildings.** 43(6): 1403-1408.

- [2] Ministry of Energy. 2018. **Alternative Energy Development Plan 2018-2037 (AEDP 2018-2037).** Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (in Thai)
- [3] Duffie, J.A. and Beckman, W.A. 1980. **Solar Engineering of Thermal Process.** New York: Wiley Interscience Publication.
- [4] Padakan, R. and Radagan, S. 2010. A study of the factors that affect the efficiency of hot water systems. **Kasetsart Engineering Journal.** 70: 96-109. (in Thai)
- [5] Riamsuwan, S. 2012. **Comparison of Hot Water Systems between Using Heat Pump and Using Flat Plate Solar Collector for Residential Building.** M.Sc. Thesis, Chulalongkorn University. (in Thai)
- [6] Duangjaiboon, K. 2018. Feasibility Study on Hybrid Solar Hot Water for hotel building. **Academic Journal Uttaradit University.** 13(1): 65-78. (in Thai)
- [7] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1977. **Methods of Testing Determine the Thermal Performance of Solar Collectors. ASHRAE Standard 93-77.** New York: American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers.
- [8] Poomsawat, S. and Poomsawat, W. 2019. A study of the efficiency of a solar water heater. **Srinakharinwirot University Engineering Journal.** 1: 66-77 (in Thai)
- [9] Tchien, G. and Kohole, W.Y. 2018. A numerical investigation of three different thermosyphon solar water heating systems. **International Journal of Ambient Energy.** 39(6): 637-648.
- [10] Yassen, T.A., Mokhlif, N.D. and Elewi, M.A. 2019. Performance investigation of an integrated solar water heater with corrugated absorber surface for domestic use. **Renewable Energy.** 138: 266-273.

- [11] Bhowmik, H. and Amin, R. 2017. Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector. **Energy Reports**. 3: 119-123.
- [12] Chantawong, P. and Thantong, P. 2013. Study of a solar collector wall for domestic hot water and natural ventilation of a model house in a tropical climate. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**. 15(3): 21-29. (*in Thai*)
- [13] Pukdum, J., Phengpom, T. and Sudasna, K. 2019. Thermal performance of mixed asphalt solar water heater. **International Journal of Renewable Energy Research**. 9(2): 712-720.
- [14] Pukdum J., Sudasna, K. and Phengpom, T. 2020. Experimental study on heat gain reduction and economic evaluation of mixed asphalt solar water heater. **Journal of Engineering and Applied Science**. 15(1): 327-334.