

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้โดยใช้น้ำร้อนที่ได้จาก
พลังงานรังสีอาทิตย์

STUDY OF HEAT TRANSFER IN THE SOIL FOR PLANTING BY
USING HOT WATER FROM SOLAR ENERGY

ชาติชาย ลีลาสิริวิไล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้โดยใช้น้ำร้อนที่ได้จาก
พลังงานรังสีอาทิตย์

ชาติชาย สีสาสีวิไล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้โดยใช้น้ำร้อนที่ได้จากพลังงานรังสีอาทิตย์

Study of Heat Transfer in the Soil for Planting by Using Hot Water from Solar Energy

ชื่อ - นามสกุล

นายชาติชาย ลีลาสิริวิไล

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานพ แยมแพง, ปร.ด.

ปีการศึกษา

2563

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ศิริชัย เทพา, วท.ด.)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนูศักดิ์ जानทอง, Dr.-Ing.)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานพ แยมแพง, ปร.ด.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 26 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้โดยใช้พลังงานจากพลังงานรังสีอาทิตย์
ชื่อ - นามสกุล	นายชาติชาย ลีลาสิริวิไล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานพ แยมแพง, ประ.ด.
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้โดยใช้พลังงานจากรังสีอาทิตย์ผลิตน้ำร้อนสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในดินเพาะกล้าไม้ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคพืช

โดยทำการทดสอบแผงรับรังสีอาทิตย์เพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละแบบ ดังนี้ แผงรับรังสีอาทิตย์พลาโบล่าแบบไม่สมมาตร แผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ จากนั้นนำแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละแบบมาต่อเพื่อทำระบบผลิตน้ำร้อน โดยมีรูปแบบการจัดวางลำดับตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์เป็น 4 รูปแบบ เพื่อทดสอบหาอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์แต่ละแบบ เลือกระบบผลิตน้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุดไปหยดลงดินเพาะกล้าไม้เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์พบว่า แผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน แผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตร มีประสิทธิภาพ 79.45% 72.25% และ 21.53% ตามลำดับ เมื่อนำแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 แบบมาต่อเป็นระบบผลิตน้ำพลังงานรังสีอาทิตย์ โดยนำอุณหภูมิแวดล้อมเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตรแผงใหญ่เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ น้ำน้ำร้อนที่ได้ไปเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่วางอยู่ตรงกลางระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตรแผงใหญ่และแผงเล็กเพื่อต้องการรับรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากแผง นำน้ำร้อนที่ออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบไปเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ พบว่า สามารถผลิตน้ำร้อนได้ อุณหภูมิ 100 °C ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.004 kg/s มีค่ารังสีอาทิตย์ 991 W/m² นำน้ำร้อนที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ไปหยดลงดินเพาะกล้าไม้ พบว่า สามารถเพิ่มอุณหภูมิของดินเพาะกล้าไม้ที่ระดับความลึก 0 5 10 15 20 25 และ 30 cm มีอุณหภูมิ 75.5 °C 75.3 °C 75.1 °C 74.9 °C 74.7 °C 74.5 °C และ 74.1 °C ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิดินเพาะกล้าไม้ที่เพิ่มขึ้นสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *R. solanacearum* ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชได้

คำสำคัญ : น้ำร้อน รังสีอาทิตย์ แผงรับรังสีอาทิตย์ การถ่ายโอนความร้อน

Thesis Title	Study of Heat Transfer in the Soil for Planting by Using Hot Water from Solar Energy
Name – Surname	Mr. Chatchai Leelasiriwilai
Program	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Manop Yamfang, Ph.D.
Academic Year	2020

ABSTRACT

The objective of this research was to study heat transfer in fertile soil for seedlings using solar energy to heat water for curbing the growth of microorganisms in soil and cultivate seedlings.

The efficiency of various solar collectors including an asymmetric compound parabolic concentrator, a heat pipe evacuated tube solar collector, and a flat plate solar collector were determined. Then, the solar collectors were connected in a series circuit to create hot water system. Four arranged patterns of solar collectors were studied. The pattern that could produce the highest water temperature was used to drip hot water into the soil to study heat transfer in the seedling soil.

The results showed that the efficiency of the asymmetric compound parabolic concentrator, the heat pipe evacuated tube solar collector, and the flat plate solar collector were 79.45%, 72.25%, and 21.53%, respectively. When the three solar collectors were connected in a series circuit and produced hot water from solar energy system, the ambient temperature was heated with a large asymmetric compound concentrator to increase the water temperature. The heated water was put into a flat plate solar collector that placed between a large and a small asymmetric compound concentrator to receive solar energy. Then, the water produced with the flat plate solar collector was put into the heat pipe and evacuated tube solar collector to increase the water temperature. It was found that the last pattern could produce hot water of 100 °C at the flow rate of 0.004 kg/s with solar radiation of 991 W/m². As the result, the temperature of the fertile soil for seedlings could rise at the depth level of 0, 5, 10, 15, 20, 25, and 30 cm, respectively. The water temperature was at 75.5 °C, 75.3 °C, 75.1 °C, 74.9 °C, 74.7 °C, 74.5 °C, and 74.1 °C, respectively. The rise of water temperature could curb *R. solanacearum* which caused the plant diseases.

Keywords: hot water, solar radiation, solar collector, heat transfer

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ แยมแพง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและความช่วยเหลือในทุกขั้นตอนการจัดทำ พร้อมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งผู้ทำวิจัย ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูศักดิ์ งานทอง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อำนวยความสะดวกต่อการศึกษาและเก็บข้อมูลในการทำ วิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและลุง ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามีความพยายาม มุ่งมั่นในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดีตลอดมา ประโยชน์อันพึงมีจาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชาติชาย สีสาสีวิไล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(9)
บทที่ 1 บทนำ	13
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	13
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	15
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	15
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
2.1 พลังงานรังสีอาทิตย์	16
2.2 รังสีอาทิตย์บนพื้นโลก	19
2.3 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์	21
2.4 ตำแหน่งดวงอาทิตย์	22
2.5 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	23
2.6 การถ่ายเทความร้อน	28
2.7 ประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	33
2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับดิน	34
2.8 โรคพีซ	39
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	45
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	45
3.2 ศึกษาข้อมูลและคุณสมบัติของแผงรับรังสีอาทิตย์	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	50
3.4 วิธีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์	52
3.5 วิธีการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อน	54
3.6 การทดลองการถ่ายเทความร้อนดินเพาะกล้าไม้โดยใช้น้ำร้อนที่ได้จากระบบการทำ น้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์	60
3.7 การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้	61
บทที่ 4 ผลการทดลอง	62
4.1 ผลการศึกษาการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์	62
4.2 ผลการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 1	66
4.3 ผลการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 2	68
4.4 ผลการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 3	72
4.5 ผลการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 4	75
4.6 ผลการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้โดยใช้น้ำร้อนที่ได้จากระบบ ผลิตน้ำร้อน	79
4.7 ผลการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้โดยไม่หยदन้ำร้อน	82
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	83
5.1 สรุปผลการวิจัย	83
5.2 การประยุกต์ใช้	84
5.3 ข้อเสนอแนะ	85
บรรณานุกรม	86
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก	90
ภาคผนวก ข	93
ภาคผนวก ค	104
ประวัติผู้เขียน	113

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สภาพการนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่อุณหภูมิห้อง	30
ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	31
ตารางที่ 2.3 สภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) ของผิววัสดุแต่ละชนิด	32
ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดิน ความหนาแน่นของดิน และความพรุนของดิน.....	36
ตารางที่ 2.5 แสดงความจุความร้อนเชิงปริมาตรขององค์ประกอบดินที่สำคัญ	38
ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลทำให้เชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคพืชไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้....	40



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนต่าง ๆ	18
รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทย	19
รูปที่ 2.3 ผลกระทบต่างๆ ต่อรังสีอาทิตย์ในบรรยากาศโลก	20
รูปที่ 2.4 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์	21
รูปที่ 2.5 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง	23
รูปที่ 2.6 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแบนเรียบ	24
รูปที่ 2.7 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบทอสุญญากาศ	25
รูปที่ 2.8 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงทอสุญญากาศ	26
รูปที่ 2.9 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสง	27
รูปที่ 2.10 ลักษณะการถ่ายความร้อนแบบต่างๆ	28
รูปที่ 2.11 การนำความร้อนผ่านผนังขนาดใหญ่มีความหนา Δx และพื้นที่หน้าตัด A	29
รูปที่ 2.12 การระบายความร้อนของไขต้ม ด้วยการพาความร้อนแบบบังคับและแบบอิสระ	31
รูปที่ 3.1 ลักษณะของแผง ACPC ที่ติดตั้งแผ่น Stainless Steel พับขึ้นรูปไว้ด้านหลังแผง สะท้อน	46
รูปที่ 3.2 ลักษณะของแผงสะท้อนรังสีอาทิตย์ แผงเล็ก	47
รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแบนเรียบ	48
รูปที่ 3.4 ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแบนเรียบ	48
รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบทอสุญญากาศชนิดทอความร้อน	49
รูปที่ 3.6 ลักษณะของแผงรับความร้อนแบบทอสุญญากาศ	49
รูปที่ 3.7 สาย Thermocouple Type K	50
รูปที่ 3.8 Data Logger ยี่ห้อ Graphtec	51
รูปที่ 3.9 Pyranometer สำหรับเก็บค่ารังสีอาทิตย์	51
รูปที่ 3.10 การทดลองแผงรับความร้อนแบบรวบรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC)	52
รูปที่ 3.11 การทดลองแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแบนเรียบ	53
รูปที่ 3.12 การทดลองแผงรับรังสีอาทิตย์แบบทอสุญญากาศชนิดทอความร้อน	53

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 รูปแบบการวางแผงรับรังสีอาทิตย์และตำแหน่งอุปกรณ์แบบที่ 1	55
รูปที่ 3.14 รูปแบบการวางแผงรับรังสีอาทิตย์และตำแหน่งอุปกรณ์แบบที่ 2	56
รูปที่ 3.15 รูปแบบการวางแผงรับรังสีอาทิตย์และตำแหน่งอุปกรณ์แบบที่ 3	57
รูปที่ 3.16 รูปแบบการวางแผงรับรังสีอาทิตย์และตำแหน่งอุปกรณ์แบบที่ 4	58
รูปที่ 3.17 ตำแหน่งการหยดน้ำและวัดอุณหภูมิดินเพาะกล้าไม้	60
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราการไหล 0.003 kg/s	62
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s	63
รูปที่ 4.3 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s	63
รูปที่ 4.4 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s	64
รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราการไหล 0.017 kg/s	64
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิน้ำแตกต่างของน้ำเข้า – ออก ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	65
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด	65
รูปที่ 4.8 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 1 ที่อัตราการไหล 0.003 kg/s	66
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 1 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s	67
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 1 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s	67
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า – ออก แต่ละแผงที่อัตราการไหลต่าง ๆ รูปแบบที่ 1	68
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิน้ำสูงสุดของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 1 ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	68

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 2 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s	69
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 2 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s	70
รูปที่ 4.15 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 2 ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s	70
รูปที่ 4.16 อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า – ออก แต่ละแผงที่อัตราการไหลต่าง ๆ รูปแบบที่ 2	71
รูปที่ 4.17 อุณหภูมิน้ำสูงสุดของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 2 ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	71
รูปที่ 4.18 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 3 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s	72
รูปที่ 4.19 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 3 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s	73
รูปที่ 4.20 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 3 ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s	73
รูปที่ 4.21 อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า – ออก แต่ละแผงที่อัตราการไหลต่าง ๆ รูปแบบที่ 3	74
รูปที่ 4.22 อุณหภูมิน้ำสูงสุดของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 3 ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	74
รูปที่ 4.23 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 4 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s	75
รูปที่ 4.24 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 4 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s	76
รูปที่ 4.25 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 34 ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s	77
รูปที่ 4.26 อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า – ออก แต่ละแผงที่อัตราการไหลต่าง ๆ รูปแบบที่ 4	77

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.27 อุณหภูมิน้ำสูงสุดของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 4 ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	78
รูปที่ 4.28 อุณหภูมิของของดินเพาะกล้าไม้ตามคลาสมลึกระดับต่าง ๆ ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s	79
รูปที่ 4.29 อุณหภูมิของของดินเพาะกล้าไม้ตามคลาสมลึกระดับต่าง ๆ ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s	80
รูปที่ 4.30 อุณหภูมิของของดินเพาะกล้าไม้ตามคลาสมลึกระดับต่าง ๆ ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s	81
รูปที่ 4.31 อุณหภูมิของดินเพาะกล้าไม้ที่ไม่มีการหยดน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ	82



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีประชากรประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก เกษตรกรรมเป็นภาคการผลิตที่สำคัญของประชากรไทยมาเป็นระยะเวลายาวนาน ส่งผลให้ประเทศไทยมีจำนวนประชากรในภาคเกษตรไม่น้อยกว่าสามสิบล้านคน [1] ดังนั้นการพัฒนากิจการเกษตรจึงเป็นการพัฒนาที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะจะส่งผลให้ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศมีรายได้สูงขึ้น และมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น

การปลูกพืชเป็นกิจกรรมทางการเกษตรที่ทำกันอย่างแพร่หลายทั่วประเทศ ด้วยลักษณะภูมิประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นเอื้ออำนวยต่อการปลูกพืช เช่น ดิน น้ำ สภาพอากาศ ฯลฯ ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี แต่ในบางครั้งก็ยังมีประสบปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตการปลูกพืช อาทิปัญหาเกี่ยวกับแมลงศัตรูพืชหรือโรคพืชโดยสามารถก่อความเสียหายได้เป็นอย่างมาก ซึ่งโรคพืชที่เกิดจากเชื้อโรคนั้นส่วนนั้นมาจากการปนเปื้อนของดินที่ใช้ในการเพาะปลูก ด้วยลักษณะการทำเกษตรในปัจจุบันเป็นการปลูกพืชชนิดเดียวและต่อเนื่องส่งผลทำให้เกิดการสะสมของเชื้อโรคในดิน หากควบคุมเชื้อในดินได้จะส่งผลดีต่อพืช การควบคุมหรือกำจัดเชื้อในดินมีหลายรูปแบบ โดยเฉพาะการใช้สารเคมีถือได้ว่าเป็นวิธีกำจัดเชื้อโรคในดินที่นิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากสามารถนำมาใช้งานได้สะดวกหาซื้อได้ง่าย แต่ก็ส่งผลกระทบต่อดินเสื่อมสภาพเกิดการปนเปื้อนสารพิษในดิน มีผลเสียในระยะยาว การยับยั้งเชื้อโรคในดินด้วยความร้อนจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจเพื่อลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการควบคุมเชื้อโรคในดินด้วยสารเคมี

ดินเป็นเทหวัตถุธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลกอยู่บางๆ เกิดขึ้นจากการแปรสภาพหรือผุพังของหินและแร่ และอินทรีย์วัตถุผสมคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกัน ดินมีความสำคัญต่อพืชเป็นอย่างมาก การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินนั้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คุณสมบัติของดินที่สำคัญได้แก่ สมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางชีวภาพ คุณสมบัติของดินเหล่านี้มีความสัมพันธ์ต่อกัน คุณสมบัติบางประการของดินเปลี่ยนไปจะส่งผลให้คุณสมบัติอีกประการหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปด้วย กระบวนการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นในดินโดยกลไกต่างๆ ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนมีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดิน ซึ่งอุณหภูมิดินมีความสำคัญ

ในการกำหนดอัตราและทิศทางของการเกิดกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมีและชีวภาพ เช่น กระบวนการระเหยของน้ำในดินกระบวนการแตกตัว กระบวนการรวมตัว การเปลี่ยนแปลงสมดุลทางเคมี การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารเคมี กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปของสารเคมีโดยจุลินทรีย์ในดิน การเปลี่ยนสถานะของสารเคมีจากสถานะหนึ่งไปอีกสถานะหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงความเหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดิน คือ พลังงานความร้อนที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ ในเวลากลางวันพื้นดินมีการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนเอาไว้ทำให้ผิวดินมีอุณหภูมิสูงเกิดการส่งผ่านพลังงานความร้อนลงสู่ดินชั้นล่างด้วยกระบวนการนำความร้อน จนกระทั่งเวลากลางคืนพื้นโลกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าบรรยากาศแวดล้อมส่งผลทำให้ดินชั้นล่างเกิดการส่งผ่านพลังงานความร้อนไปยังผิวดินด้วยกระบวนการนำความร้อนเช่นเดียวกันกระบวนการถ่ายโอนความร้อนดังกล่าวขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางความร้อนและทางฟิสิกส์ของดิน เช่นค่าสภาพการดูดกลืนความร้อน ค่าสภาพการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น และความพรุน เป็นต้น

พลังงานมีความสำคัญต่อสิ่งต่างๆ บนโลกนี้เป็นอย่างมากเป็นสิ่งจำเป็นที่ชีวิตดำรงอยู่ต่อไป จากความสำคัญดังกล่าวทำให้แนวโน้มของการใช้พลังงานสูงขึ้น ซึ่งสวนทางกับแหล่งพลังงานต่างๆ บนโลกที่มีแนวโน้มลดลงแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้กันนั้นจะอยู่ในรูปของฟอสซิลแบบต่างๆ ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติและถ่านหินพลังงานเหล่านี้เกิดจากการทับถมกันของซากพืชซากสัตว์ที่ตายแล้ว ใช้เวลานานนับล้านปีใต้ดินหรือท้องทะเล และเมื่อใช้แล้วก็หมดไปไม่สามารถเกิดได้ทันต่อการใช้งานที่สูงขึ้นในปัจจุบัน ทำให้ต้องมีการใช้พลังงานจากแหล่งอื่นมาทดแทนหรือที่เรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ได้ไม่มีวันหมด ได้แก่พลังงานน้ำ พลังงานลม ชีวมวล แสงอาทิตย์และคลื่น พลังงานเหล่านี้เมื่อใช้แล้วสามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ โดยเฉพาะรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานธรรมชาติที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลาเป็นแหล่งพลังงานที่มหาศาลไม่มีวันหมด พลังงานรังสีอาทิตย์ยังถือเป็นพลังงานสะอาดเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน รังสีอาทิตย์เป็นพลังงานที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบขอบบรรยากาศเรียกว่า รังสีนอกโลก ส่วนของรังสีนอกโลกที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงผิวโลกจะถูกกระจายและดูดกลืนโดยโมเลกุลของก๊าซต่างๆ อนุภาคฝุ่น และเมฆที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการศึกษาเพื่อนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้งานมีความน่าสนใจเป็นอย่างมากเพราะเป็นแหล่งพลังงานที่มีมากมายมหาศาล รวมถึงการถ่ายโอนความร้อนในดินมีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินเป็นอย่างมาก ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะประโยชน์สำหรับ

ด้านเกษตรกรรม ด้านธรณีฟิสิกส์และด้านวิศวกรรม จากความน่าสนใจดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางวิจัยโดยการทำระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์จากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ร่วมกับแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector) และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tube solar collector) เพื่อศึกษาการนำพลังงานจากรังสีอาทิตย์มาใช้งาน และเป็นแหล่งพลังงานให้กับดินเพาะกล้าไม้เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบทำน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector) และแบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tube solar collector)

1.2.2 เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้โดยการหยดน้ำร้อนที่ได้จากระบบการทำน้ำร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการผลิตน้ำร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 2.88 m² แผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector) ขนาด 1.66 m² และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Evacuated tube heat pipe solar collector) ยาว 1.5 m จำนวน 24 ท่อ

1.3.2 ศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้ โดยการหยดน้ำร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นการนำพลังงานจากรังสีอาทิตย์มาใช้เพื่อลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล

1.4.2 ลดภาวะโลกร้อนจากการใช้พลังงานจากฟอสซิล

1.4.3 ทราบถึงอุณหภูมิในดินเพาะกล้าไม้เมื่อใช้น้ำร้อนที่ได้จากระบบการทำน้ำร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์

1.4.4 เป็นองค์ความรู้ในการศึกษาวิจัยต่อเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมมาช้านาน เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตที่มีสภาพภูมิประเทศ ทรัพยากร สิ่งแวดล้อม และภูมิอากาศเอื้ออำนวยต่อการทำการเกษตร ประชากร ส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพทางการเกษตรหรือเกี่ยวข้องมาโดยตลอด แม้ว่าจะพยายามพัฒนาไปสู่ความเป็นประเทศอุตสาหกรรมเพียงใดก็ตาม แต่ก็ยังคงพึ่งพาอาศัยเกษตรกรรมอยู่เช่นเดียวกับประเทศที่ได้พัฒนาไปแล้วทั้งหลาย วิวัฒนาการและพัฒนาการเกษตรของไทยได้เปลี่ยนแปลงได้ตามยุคสมัย ซึ่งการทำเกษตรกรรมในปัจจุบันมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเนื่องจากการใช้สารเคมี ส่วนหนึ่งของการใช้สารเคมีคือการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อในดินที่ทำให้เกิดโรคพืช เนื่องจากวิธีการดังกล่าวสะดวกและรวดเร็ว ทำให้เกษตรกรสามารถปลูกพืชได้ต่อเนื่องเพื่อเร่งการสร้างผลผลิตทางการเกษตร ทำให้สารเคมีตกค้างในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต การใช้พลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อลดปริมาณของเชื้อในดินเป็นการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาทำให้ประโยชน์โดยช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการใช้สารเคมี

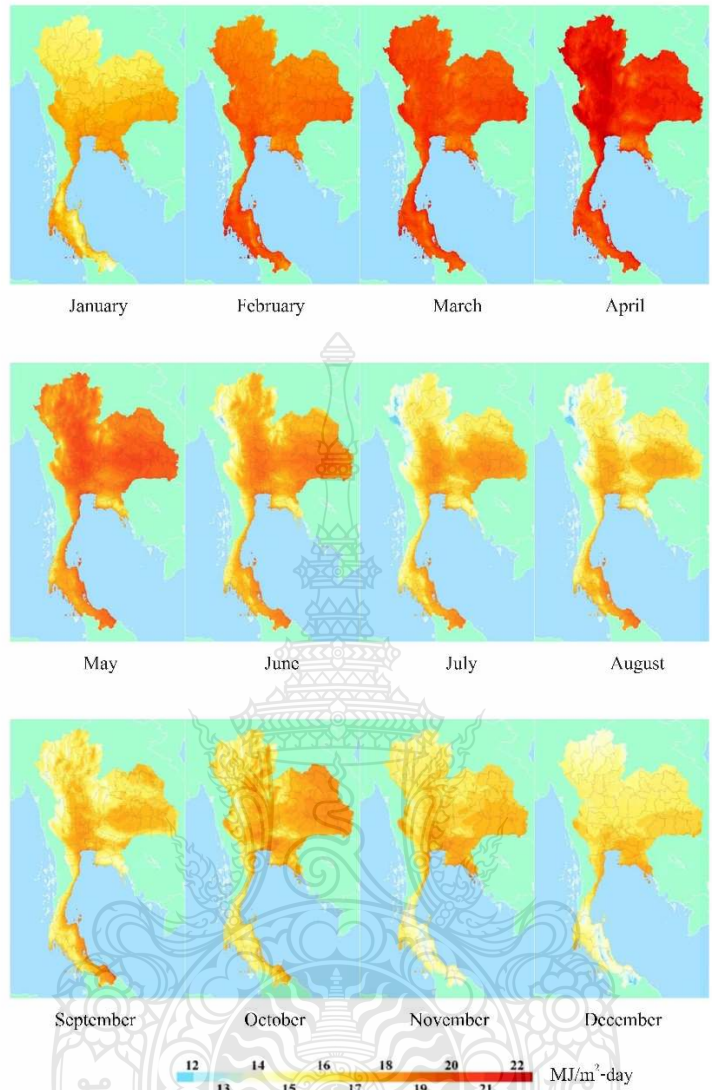
2.1 พลังงานรังสีอาทิตย์ [2]

ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุด ดวงอาทิตย์มีระยะทางห่างจากโลกเฉลี่ยเท่ากับ 1.495978×10^{11} เมตร หรือประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร โดยมีลักษณะเป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูง เปรียบได้กับเตาปฏิกรณ์ที่เกิดปฏิกิริยาฟิวชันของก๊าซที่เป็นส่วนประกอบอย่างต่อเนื่อง ดวงอาทิตย์มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.4 ล้านกิโลเมตร หรือประมาณ 109 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของโลก และมีมวลเท่ากับ 1.989×10^{30} กิโลกรัม หรือประมาณ 3 แสนเท่าของมวลโลก องค์ประกอบทางเคมีของดวงอาทิตย์ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนในปริมาณ 70.67% ที่เหลือเป็นธาตุฮีเลียมและธาตุหนักอื่น ๆ เช่น เหล็ก เนื่องจากดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมของธาตุต่างๆ หลุดออกมา ดังนั้นมวลสารของดวงอาทิตย์จึงมีสถานะเป็นพลาสมา กล่าวคือ ประกอบด้วยไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระ พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวหลายชนิด ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดปฏิกิริยาหนึ่งคือการรวมตัวกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม ปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้มวลบางส่วนของไฮโดรเจนสูญหายไป มวลส่วนที่หายไปคือมวลที่เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานซึ่งจะเกิดขึ้นภายในดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิหลายล้านองศาเซลเซียส พลังงานนี้จะถ่ายเทมาที่ผิวของดวงอาทิตย์และแผ่ออกสู่อวกาศ

2.1.1. ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย [3]

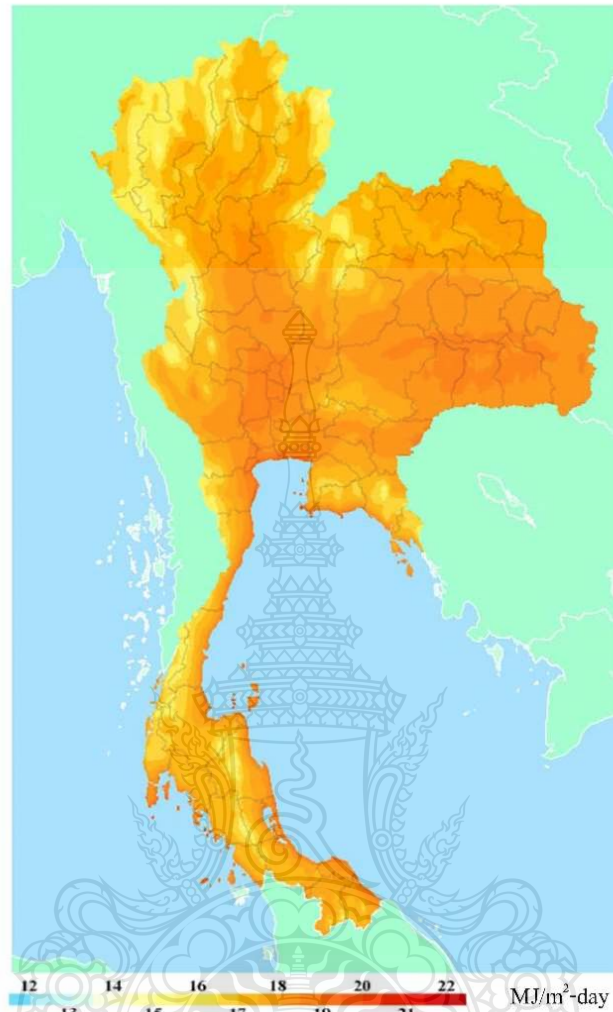
โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นกับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น หรือที่เรียกว่า “ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์” (global radiation) มีหน่วยทางด้านพลังงานเป็น เมกกะจูลต่อตารางเมตร (MJ/m^2) โดยบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเป็นไปตามพื้นที่ มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี กล่าวคือ ในพื้นที่หนึ่ง ๆ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาที่เที่ยงวัน และลดต่ำลงจนถึงช่วงเย็น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศ (air mass) ซึ่งรังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามาถึงพื้นผิวโลก และผลจากมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เช้าจนถึงเย็น สำหรับการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เป็นผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาโดยมีเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญ รังสีอาทิตย์นอกจากจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งและทางเดินของดวงอาทิตย์ตามเวลาในรอบปีแล้ว ยังขึ้นอยู่กับภูมิประเทศด้วย

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (2560) โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร [3] พบว่า การกระจายตามพื้นที่ของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนได้รับอิทธิพลของลมมรสุมและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด สำหรับการกระจายตามพื้นที่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุด ($18\text{-}20 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-day}$) จะอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ และร้อยเอ็ด เมื่อทำการเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี ของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ $17.6 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-day}$ ค่าดังกล่าวลดลงจากแผนที่ฉบับเดิม ($18.0 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-day}$) ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพบรรยากาศในประเทศไทย จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานรังสีอาทิตย์ค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนต่าง ๆ [3]

สำหรับการกระจายของรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี จะเห็นว่าการกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของทุกภาคทั่วประเทศไทยมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่กระจายอยู่ในช่วง 17-20 MJ/m²-day โดยบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศมีพื้นที่ซึ่งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m²-day ปรากฏอยู่เป็นบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด และบริเวณใกล้เคียง จากการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปี ของประเทศไทยพบว่ามีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m²-day

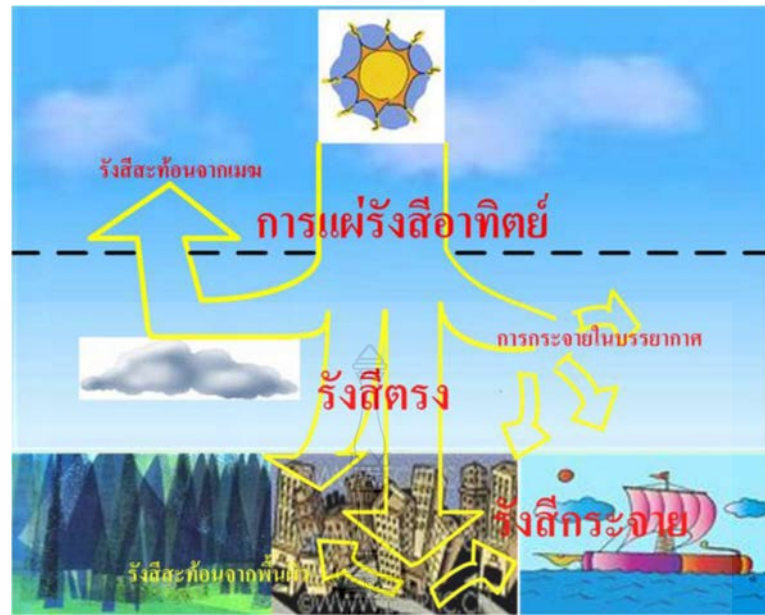


รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทย [3]

เมื่อพิจารณาความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนในปี 2560 นี้มีค่า $17.6 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ สำหรับประเทศไทยจะเห็นว่ามีค่าสูงเหมาะแก่การใช้งานเป็นพลังงานทางเลือก

2.2 รังสีอาทิตย์บนพื้นโลก [4]

รังสีอาทิตย์บนพื้นโลกได้ผ่านกระบวนการดูดกลืนและการแผ่รังสีอาทิตย์โดยก๊าซในบรรยากาศเป็นผลให้สเปกตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไปซึ่งโมเลกุลของก๊าซ ฝุ่นละอองและเมฆ ทำให้รังสีอาทิตย์ กระจัดกระจาย (Scatter) และสะท้อน (Reflect)



รูปที่ 2.3 ผลกระทบต่างๆ ต่อรังสีอาทิตย์ในบรรยากาศโลก [4]

ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของรังสีอาทิตย์เมื่อเข้าสู่บรรยากาศโลกและพื้นโลก เมื่อเทียบกับรังสีเหนือบรรยากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ความเข้มรังสีรวม ความเข้มรังสีที่ความยาวคลื่นใดๆ องค์ประกอบของสเปกตรัมและทิศทาง ประเภทของรังสีอาทิตย์บนพื้นโลกที่ควรทราบ

2.2.1 รังสีตรง (Direct solar radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกบนผิวรับแสงด้วยทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ซึ่งทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีตรงมีทิศทางแน่นอนและมีลำแสงขนานจึงสามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีตรงได้

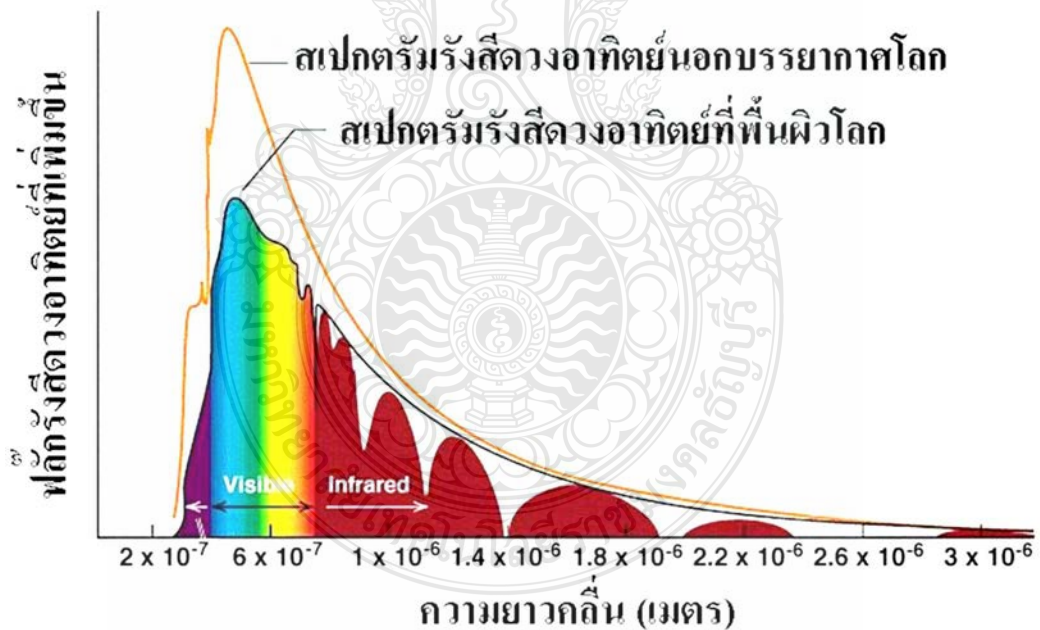
2.2.2 รังสีกระจาย (Diffused radiation) เป็นรังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจาย โดยก๊าซและฝุ่นละอองรวมถึงวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางในท้องฟ้าจึงไม่สามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีกระจายได้

2.2.3 รังสีรวม (Total or Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น (ไม่เกิน 4 ไมโครเมตร) ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวจากการแผ่รังสีของพื้นโลกและบรรยากาศ โดยกรณีผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง (Incline plane) รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและรังสีกระจายจากพื้นโลก อาคารบ้านเรือน ซึ่งเกิดจากส่วนที่สะท้อนกลับจากพื้นโลก ในกรณีนี้เรียกว่า Total Radiation แต่กรณีผิวรับแสงเป็นพื้นแนวราบ (horizontal plane) รังสีรวมบนพื้นราบประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ไม่มีรังสีกระจายที่มาจากพื้นโลก เรียกรังสีรวมบนพื้นแนวราบว่า Global Radiation

การเปลี่ยนแปลงของรังสีรวม รังสีตรงและรังสีกระจายในวันที่ฟ้ากระจ่างและวันที่ฟ้ามีเมฆ เนื่องจากปริมาณเมฆ ฝุ่นละออง และหมอกควันมีความแตกต่างกันตามฤดูกาล ดังนั้นปริมาณรังสีรวม รังสีกระจาย และรังสีตรงจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี สำหรับประเทศไทย ฤดูแล้งมีค่ารังสีรวมและรังสีตรงสูงเพราะท้องฟ้าโปร่ง แต่ฤดูฝนจะมีรังสีส่วนมากเป็นรังสีกระจายและรังสีรวมน้อย

2.3 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ [4]

รังสีอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงในรูปของสเปกตรัม ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีน้อยกว่านอกชั้นบรรยากาศ เพราะในชั้นบรรยากาศเกิดการดูดกลืน การกระจายแสง และสะท้อนแสง สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ประกอบด้วย อัลตราไวโอเลตมีความยาวคลื่นน้อยกว่า 380 นาโนเมตร แสงขาวหรือแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และอินฟราเรดมีความยาวคลื่นมากกว่า 700 นาโนเมตร ซึ่งสเปกตรัมของแสงขาวมีความยาวคลื่น 380-700 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.4 สามารถแยกเป็น 7 สีเรียงลำดับความยาวคลื่นจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสดและแดง และการตอบสนองต่อสเปกตรัมของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะ



รูปที่ 2.4 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ [4]

สาเหตุที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีน้อยกว่านอกชั้นบรรยากาศ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกดูดกลืนโดยอะตอมและโมเลกุลของก๊าซ โดยช่วงอัลตราไวโอเลตถูกดูดกลืนด้วยอะตอม

ของออกซิเจน ไนโตรเจน และโมเลกุลของออกซิเจน (O_2), โอโซน (O_3) และโมเลกุลของไนโตรเจน (N_2) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของบรรยากาศ ทำให้แสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านบรรยากาศจนถึงพื้นโลกแทบจะไม่มีคลื่นช่วงอัลตราไวโอเล็ต ช่วงแสงอินฟราเรดจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำ (H_2O) และโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นล่างของบรรยากาศ ภายในระยะทาง 50 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นช่วงชั้นบรรยากาศที่มี H_2O และ CO_2 อยู่มาก พลังงานแสงช่วงอินฟราเรดที่ถูกดูดกลืนเกือบทั้งหมดทำให้บรรยากาศร้อน หรือทำให้พลังงานจลน์ของโมเลกุลอากาศสูงขึ้น และทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น

2.4 ตำแหน่งดวงอาทิตย์ [2]

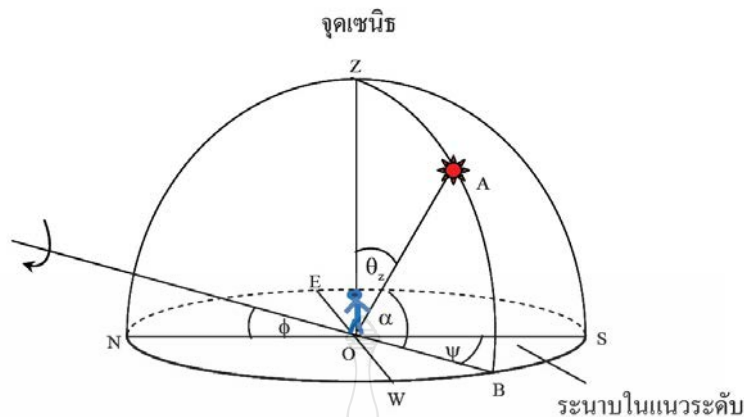
ในการคำนวณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบต่างๆ ทั้งที่อยู่นอกบรรยากาศโลกและที่พื้นผิวโลก จำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า ในการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะพิจารณาว่าท้องฟ้าเป็นครึ่งหนึ่งของทรงกลม ที่เรียกว่า ทรงกลมท้องฟ้า โดยมีผู้สังเกตเป็นศูนย์กลาง เนื่องจากท้องฟ้ามีขนาดใหญ่มาก หรือมีรัศมีเป็นอนันต์ (infinity) ดังนั้น การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จึงใช้มุมเพียง 2 มุม หรือใช้ส่วนโค้ง (arc) ของทรงกลมท้องฟ้า 2 ส่วนโค้ง ก็สามารถระบุตำแหน่งได้ ในงานด้านรังสีอาทิตย์สามารถบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ 2 ระบบ ดังนี้

2.3.1 ระบบที่ใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง (horizontal system) ระบบนี้จะอาศัยมุม 2 มุม ในการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (รูปที่ 2.5) ดังนี้

1) มุมอาซิมุท (azimuth, Ψ) เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ (OS ในรูปที่ 2.5) ไปยังภาพฉาย (projection) ของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์บนระนาบในแนวระดับ (OB) โดยมีค่าเป็นบวกถ้าเงาตั้งกล่าวอยู่ซีกตะวันออก และเป็นลบถ้าเงาตั้งกล่าวอยู่ซีกตะวันตกของท้องฟ้า หรือ $-180^\circ \leq \Psi \leq 180^\circ$

2) มุมอัลติจูด (altitude, α) หรือมุมเงยเป็นมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ (OA) กับภาพฉายของเส้นตรงตั้งกล่าวบนระนาบในแนวระดับ(OB) ซึ่งจะมีค่าจาก 0 ถึง 90 องศา สำหรับมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ (OA) กับเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับจุดเซนิต (OZ) จะเรียกว่า มุมเซนิต (zenith angle, θ_z) ซึ่งนิยมใช้บอกตำแหน่งดวงอาทิตย์เช่นกัน โดยที่ $\theta_z = 90 - \alpha$

การบอกตำแหน่งโดยใช้ระบบระนาบในแนวระดับอ้างอิง มีข้อดี คือ เข้าใจได้ง่ายแต่มีข้อด้อยคือ ค่ามุมอาซิมุท และมุมอัลติจูด จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงดวงอาทิตย์ตก และเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปีด้วย



รูปที่ 2.5 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง [2]

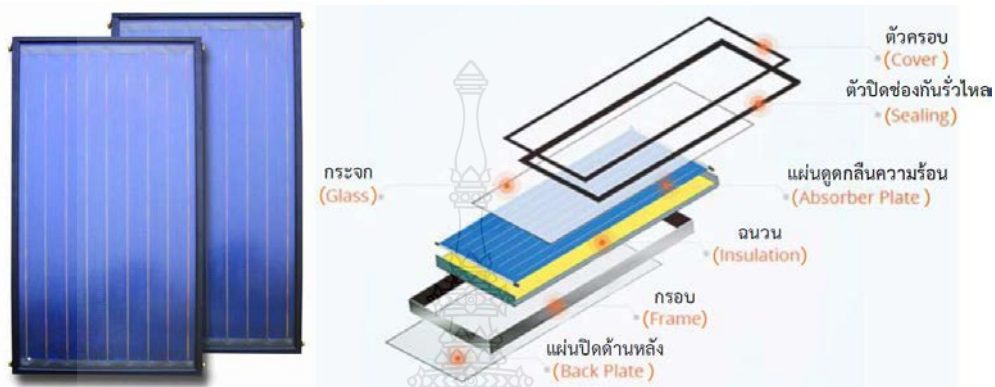
2.5 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (solar collector) [5]

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทให้กับของไหลที่ไหลภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำให้ของไหลดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ดีจะต้องมีความสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี สูญเสียความร้อนที่น้อย และสามารถถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนให้แก่ของไหลได้รวดเร็ว โดยทั่วไปตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะยึดติดอยู่กับที่และหันหน้าไปทางทิศใต้ รวมทั้งเอียงทำมุมประมาณ ละติจูดของตำแหน่งที่ติดตั้ง ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่ 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

2.5.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector) มีกระจกแบบแผ่นเรียบปิดปกคลุมด้านบน ทำหน้าที่รับรังสีอาทิตย์เข้าสู่ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากนั้นรังสีอาทิตย์ไปตกกระทบแผ่นดูดกลืนความร้อน ที่ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ดี เช่น แผ่นโลหะเคลือบสีดำ เป็นต้น เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นดูดกลืนความร้อน จะเปลี่ยนความยาวคลื่นกลายเป็นความร้อน ทำให้แผ่นดูดกลืนความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นให้แก่ท่อทองแดงที่ติดตั้งด้านบนของแผ่นโลหะโดยแผ่นโลหะจะเคลือบสีดำเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้แก่ น้ำที่จะถูกจ่ายเข้าสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบเรียบผ่านท่อทองแดงเหล่านี้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูญเสียให้แก่สิ่งแวดล้อม จึงมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบไปด้วย ตัวครอบ ตัวปิดช่องกันรั่วไหล กรอบ ฉนวนกันความร้อน และแผ่นปิดด้านหลังเพื่อปิดกั้นการรั่วไหลของอากาศร้อนภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ออกไปยังภายนอก

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถผลิตน้ำร้อนที่ออกจากแผง มีอุณหภูมิสูงสุด 65 องศาเซลเซียส ดังนั้นช่วงการทำงานที่เหมาะสมของการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ร่วมกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จึงอยู่ในช่วง 40-60 องศาเซลเซียส และนิยมใช้ในการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ของโรงแรม หอพัก และบ้านเรือน เป็นต้น



รูปที่ 2.6 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแบบแผ่นเรียบ [5]

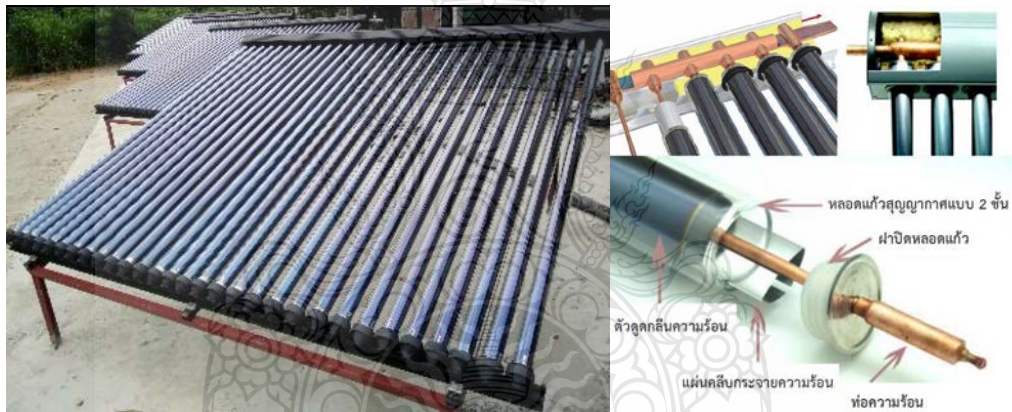
2.5.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tube solar collector)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tube solar collector) จะมีการนำท่อความร้อนหรือฮีทไปป์ (Heat pipe) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทหนึ่ง มาประยุกต์ในการผลิตน้ำร้อน โดยท่อความร้อนจะบรรจุสารทำงานที่มีจุดเดือดต่ำไว้ภายใน เพื่อใช้ในการถ่ายเทความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังน้ำร้อน

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศมีหลักการทำงาน คือ รังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านหลอดแก้วสุญญากาศด้านนอก มากระทบตัวดูดกลืนความร้อนที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ สีดำเพื่อเปลี่ยนรังสีอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานความร้อน เมื่อตัวดูดกลืนความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะถ่ายเทความร้อนโดยกระบวนการนำความร้อนผ่านครีบกกระจายความร้อน ที่ทำจากโลหะที่มีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ดี เพื่อนำความร้อนไปยังท่อความร้อน สาเหตุหลักที่ต้องมีการติดตั้งแผ่นครีบกกระจายความร้อน เนื่องจากพื้นที่ช่องว่างระหว่างหลอดแก้วด้านนอกกับท่อความร้อน จะถูกดูดอากาศออกจนหมดกลายเป็นสุญญากาศ และทำการปิดกั้นอากาศรั่วไหลเข้าไปในพื้นที่ช่องว่างดังกล่าวด้วยฝาปิดหลอดแก้ว ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนได้ เนื่องจากไม่มีอากาศเป็นตัวกลางในการพาความร้อน จึงต้องนำโลหะมาเป็นสื่อกลางในกระบวนการนำความร้อน จากตัวดูดกลืนความร้อนไปยังท่อความร้อน จากนั้นความร้อนที่ไปสัมผัสกับผิวท่อความร้อน จะเกิดกระบวนการนำความร้อนผ่านผิวท่อทองแดง ไปยังสารทำงานด้านในและทำให้สารทำงานเดือดกลายเป็นไอ เคลื่อนที่ไป

ยังส่วนบนของท่อความร้อน จากนั้นท่อความร้อนต่อกันแบบอนุกรมโดยใช้ชุดยึดท่อความร้อน ซึ่งน้ำที่ ต้องการนำมาเพิ่มอุณหภูมิจะถูกจ่ายเข้าสู่ท่อทองแดงของชุดยึดท่อความร้อน เพื่อรับความร้อนจากไอ สารทำงาน ทำให้สารทำงานควบแน่นกลายเป็นของเหลว และไหลกลับไปยังด้านล่างของท่อ ความร้อน เพื่อรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์อีกครั้งต่อไป

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศมีการสูญเสียความร้อนภายในอุปกรณ์น้อยกว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ เนื่องจากมีการป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยกระบวนการของ สุญญากาศ ดังนั้นจึงสามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงถึง 105 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตน้ำร้อน ในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส นิยมนำมาประยุกต์ร่วมกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และ นิยมนำไปใช้ในกระบวนการด้านวิศวกรรมพลังงานเช่น กระบวนการอบแห้ง และเพิ่มอุณหภูมิน้ำก่อน เข้าหม้อต้มไอน้ำ (Boiler) เป็นต้น ไม่นิยมนำมาใช้ในด้านสาธารณสุขใดๆ เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงและอาจ ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานได้

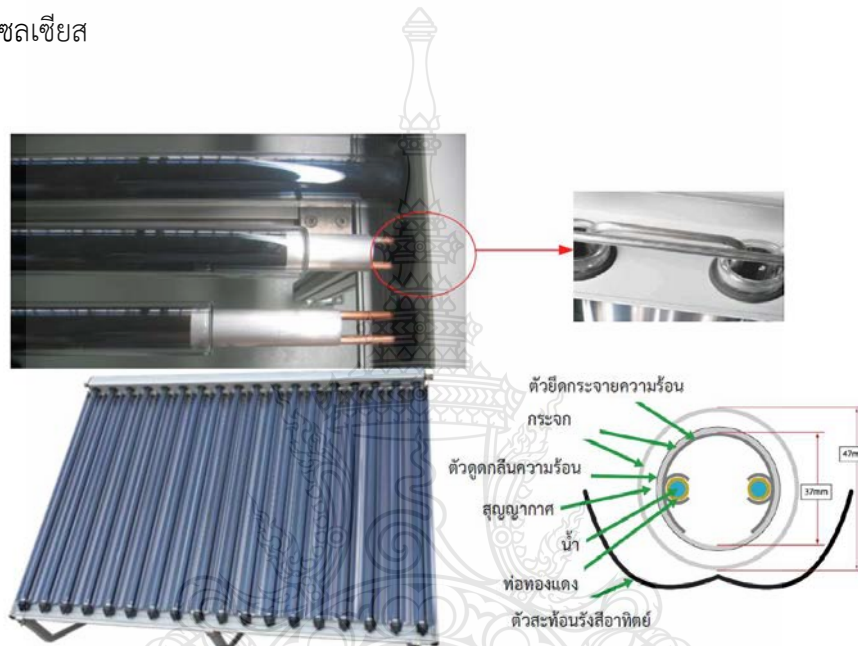


รูปที่ 2.7 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ [5]

2.5.3 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงท่อสุญญากาศ (Compound parabolic concentrating evacuated tube solar collector, CPC)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงท่อสุญญากาศ (Compound parabolic concentrating evacuated tube solar collector, CPC) มีลักษณะคล้ายกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ ท่อสุญญากาศ แต่มีตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์ด้านหลัง เพื่อสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ระหว่างท่อ แก้วสุญญากาศ ให้สะท้อนกลับมากระทบท่อแก้วสุญญากาศอีกครั้ง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ตัว เก็บรังสีอาทิตย์แต่ทั้งนี้ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงท่อสุญญากาศ ที่มีการผลิตเพื่อใช้งานในเชิง พาณิชยกรรม มีการออกแบบท่อความร้อนภายในหลอดแก้วสุญญากาศ แตกต่างกัน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่

1 ใช้ท่อความร้อนที่บรรจุสารทำงานในการถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำ เหมือนกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ ซึ่งมีใช้งานค่อนข้างน้อยเนื่องจากราคาสารทำงานที่บรรจุในหลอดแก้วสุญญากาศมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ราคาของตัวเก็บรังสีสูงตามไปด้วยรวมทั้งมีโอกาสเกิดการรั่วไหลของสารทำงานได้อีกด้วย ดังนั้นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงท่อสุญญากาศรูปแบบที่ 2 จึงมีการใช้น้ำวิ่งเข้าสู่หลอดแก้วสุญญากาศแทนการใช้สารทำงาน สำหรับการถ่ายเทความร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 จึงเป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยม ในการผลิตความร้อนอุณหภูมิสูงมากกว่า 120 องศาเซลเซียส



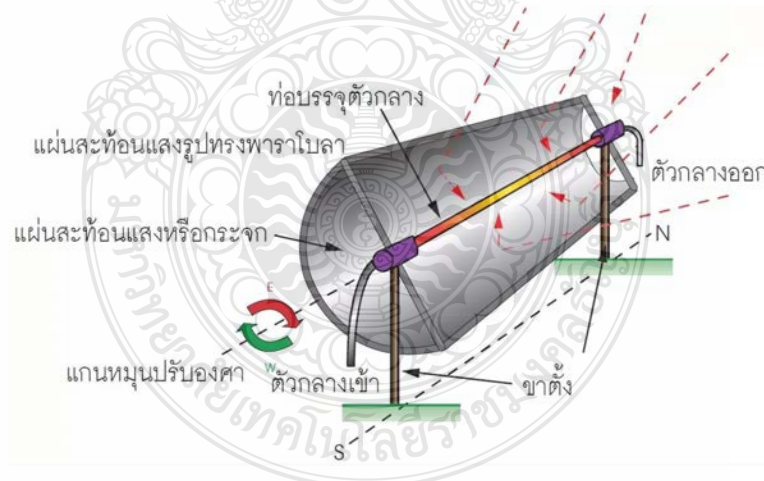
รูปที่ 2.8 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงท่อสุญญากาศ [5]

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงท่อสุญญากาศ มีหลักการทำงานในการผลิตความร้อน คือ รังสีอาทิตย์วิ่งผ่านหลอดแก้วสุญญากาศ กระแทกตัวดูดกลืนความร้อนที่มีผิวสีดำ ทำให้อุณหภูมิตัวดูดกลืนดังกล่าวสูงขึ้น และถ่ายเทความร้อนให้แก่ตัวยึดกระจายความร้อน เพื่อกระจายความร้อนให้แก่ น้ำ ที่วิ่งผ่านท่อทองแดงหรือท่ออะลูมิเนียม เพื่อรับความร้อนจากการนำความร้อนและการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) ร่วมกัน ซึ่งแตกต่างกับลักษณะการนำความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานในระบบที่เกิดการพาความร้อน จากกระบวนการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ เพื่อเคลื่อนที่จากด้านล่างไปด้านบน และเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวเพื่อเคลื่อนที่จากด้านบนสู่ด้านล่าง โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงท่อสุญญากาศที่ใช้น้ำวิ่งภายในหลอดแก้ว จะใช้ปั๊มน้ำในการขับเคลื่อนน้ำในสถานะของเหลวเข้าสู่หลอดแก้ว จากนั้นน้ำจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและถูกส่งต่อไปยังหลอดแก้วสุญญากาศในลำดับถัดไป หรือมีการต่อยอดร่วมกันของหลอดแก้วแต่ละหลอดแบบ

อนุกรมทำให้น้ำร้อนที่ออกจากหลอดแก้วสุญญากาศในลำดับถัดไป มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีอุณหภูมิของไหลมากกว่า 100 องศาเซลเซียส และกลายสถานะเป็นไอน้ำ จากนั้นจะเคลื่อนที่เข้าสู่กระบวนการใช้งานหรือถึงพักต่อไป ในบางกรณีมีการออกแบบการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ให้สามารถทำงานภายใต้ความดันในระบบปิดที่มากกว่า 1 บาร์ (เกจ) เพื่อเปลี่ยนจุดเดือดของน้ำให้สูงมากกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิในช่วงประมาณ 90-130 องศาเซลเซียส ที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

2.5.4 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสง (Compound parabolic concentrator, CPC)

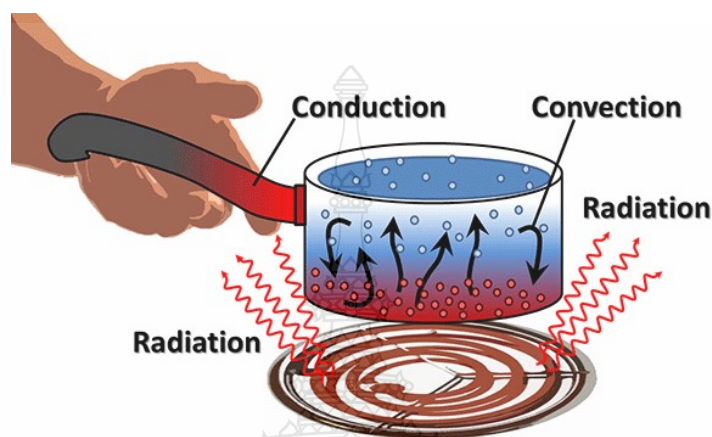
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสง (Compound parabolic concentrator, CPC) มีแผ่นสะท้อนแสง (reflector) รูปทรงพาราโบลารวมรังสีอาทิตย์ไปยังจุดโฟกัส ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งแนวท่อที่มีตัวกลาง (medium) ไหลผ่านทำให้ดูดกลืนความร้อนได้ในปริมาณสูงมาก โดยมีอุณหภูมิสูงถึง 290-400 องศาเซลเซียส กรณีที่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง ถ้าติดตั้งตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิก จำนวนมากพอ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้น้ำกลายสภาพเป็นไอน้ำแรงดันสูงป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิกยังสามารถออกแบบให้มีระบบติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าเพื่อรับแสงอาทิตย์จากรังสีตรง (direct radiation) ความเข้มสูงได้ตลอดทั้งวัน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานให้สูงขึ้นได้อีกด้วย



รูปที่ 2.9 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสง [6]

2.6 การถ่ายเทความร้อน [7]

พลังงานความร้อนสามารถถ่ายเทจากสสารหนึ่งไปยังอีกสสารหนึ่ง โดยมีสื่อตัวกลางหรือไม่มีก็ได้ การถ่ายเทความร้อนแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี โดยแต่ละแบบมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.10 ลักษณะการถ่ายความร้อนแบบต่างๆ [8]

2.6.1 การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อนในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ (คล้ายการนำไฟฟ้า) ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะท้อนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือจึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น

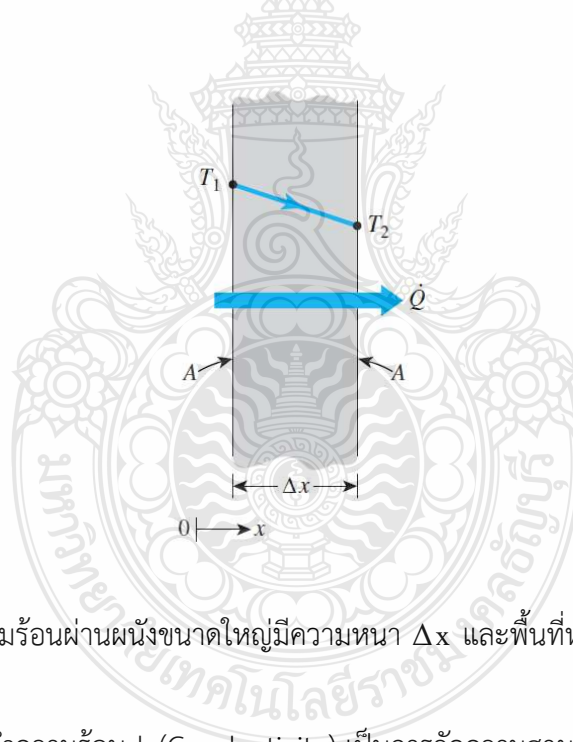
อัตราของการนำความร้อนผ่านตัวกลางขึ้นกับรูปทรงเรขาคณิตของตัวกลาง ความหนาแน่นของตัวกลาง และชนิดของวัสดุที่เป็นตัวกลางรวมทั้งความแตกต่างของอุณหภูมิตามขวางของตัวกลาง การนำความร้อนผ่านผนังขนาดใหญ่ที่มีความหนา และพื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายโอนความร้อน A แสดงในรูปที่ 2.10 ความแตกต่างของอุณหภูมิ คือ $\Delta T = T_2 - T_1$ จากการทดลอง พบว่า อัตราการถ่ายโอนความร้อนเป็นสองเท่าเมื่อให้ความแตกต่างของอุณหภูมิ ΔT หรือพื้นที่หน้าตัด A มี

ค่าเป็นสองเท่า และมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งเมื่อความหนาแน่นของผนัง L มีค่าเป็นสองเท่า ดังนั้นจึงสรุปว่า อัตราการนำความร้อนผ่านชั้นระนาบเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของชั้น นั่นคือ

$$\text{อัตราของการนำความร้อน} \propto \frac{\text{(พื้นที่)(ความแตกต่างของอุณหภูมิ)}}{\text{ความหนา}}$$

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W}) \quad (2.1)$$

โดยที่ k เรียกว่า สภาพการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal conductivity) เป็นค่าคงที่ หมายถึง การวัดความสามารถนำความร้อนของวัสดุในลิมิตของ Δx เขียนสมการในรูปของดิฟเฟอเรนเชียล เรียกสมการนี้ว่ากฎของฟูเรียร์ (Fourier's law of heat conduction) dT/dx คือ เกรเดียนต์อุณหภูมิ (ความชันเส้นโค้งของอุณหภูมิต่อตำแหน่ง $T-x$) ความร้อนถูกนำในทิศทางของอุณหภูมิลดลงและเกรเดียนต์อุณหภูมิมักมีค่าเป็นลบเมื่ออุณหภูมิลดลงกับความหนาที่เพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้น เครื่องหมายลบที่เติมข้างหน้าของเทอมทางขวามือสมการ 2.2 ทำให้การถ่ายโอนความร้อนทิศทาง x มีปริมาณเป็นบวก



รูปที่ 2.11 การนำความร้อนผ่านผนังขนาดใหญ่มีความหนา Δx และพื้นที่หน้าตัด A [7]

สภาพการนำความร้อน k (Conductivity) เป็นการวัดความสามารถในการนำความร้อน เช่น น้ำและเหล็กมีค่า $k = 0.608$ และ $k = 80.2$ ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งชี้ว่าเหล็กนำความร้อนได้ดีกว่าน้ำเกือบ 100 เท่าของน้ำที่สามารถทำได้ นิยามของ k คือ อัตราของการถ่ายโอนความร้อนผ่านความหนาหนึ่งหน่วยของวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยความแตกต่างของอุณหภูมิ k มีค่ามากชี้ว่าวัสดุนำความร้อนได้ดี และถ้ามีค่าน้อยชี้ว่าวัสดุนำความร้อนได้น้อยหรือเป็นฉนวน (Insulator) ทองแดงและเงินนำไฟฟ้าได้ดีและนำความร้อนได้ดีเช่นเดียวกัน มีค่า k สูง วัสดุจำพวก ยาง ไม้ นำความร้อนได้ไม่ดีและมีค่า k ต่ำ

ตารางที่ 2.1 สภาพการนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่อุณหภูมิห้อง [7]

วัสดุ	k (W/m.K)	วัสดุ	k (W/m.K)
เพชร	2300	น้ำ(ของเหลว)	0.607
เงิน	429	ผิวหนัง	0.37
ทองแดง	401	ไม้(ไอล์)	0.17
อะลูมิเนียม	237	อิเลียม(ก๊าซ)	0.152
เหล็ก	80.2	ยางอ่อน	0.140
ปรอท(ของเหลว)	8.54	ไฟเบอร์กลาส	0.043
แก้ว	0.78	อากาศ(ก๊าซ)	0.026
อิฐ	0.72	ยูเรเทน, โฟมแข็ง	0.026

2.6.2 การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ในสสารสองสถานะคือ ของเหลวและก๊าซ เนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยจะมีทิศทางลอยขึ้นเท่านั้น เนื่องจาก เมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นต่ำลง และสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความหนาแน่นสูงกว่า) ก็จะลงมาแทนที่ ปรากฏการณ์นี้มีตัวอย่างคือ การเกิดลมบก ลมทะเล เป็นต้น การพาความร้อนยังสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) การพาความร้อนแบบธรรมชาติหรือแบบอิสระ (Natural or Free Convection) หมายถึงการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใดๆ ทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่เกิดจากแรงลอยตัวของของไหลที่เกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ความหนาแน่นของของไหลเปลี่ยนแปลง

2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) หมายถึง การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น

อัตราของการพาความร้อนนิยมใช้สมการที่เรียกว่า กฎการทำให้เย็นของนิวตัน (Newton's law of cooling) ซึ่งได้มาจากการสังเกตว่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิคือ

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA(T_s - T_\infty) \quad (\text{W}) \quad (2.2)$$

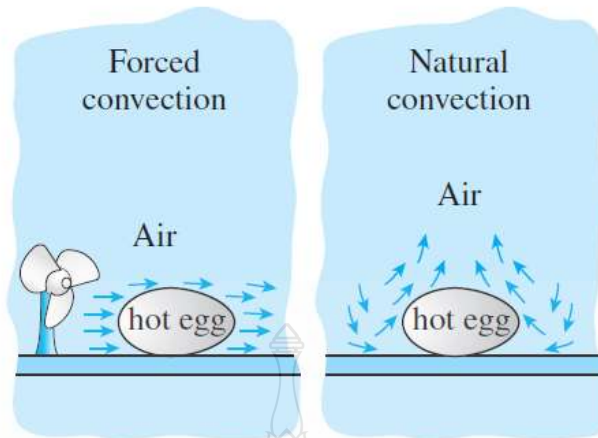
โดย

h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

A คือ พื้นที่ผิวที่การถ่ายโอนการพาความร้อน (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิที่ผิว ($^\circ\text{C}$)

T_∞ คือ อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ไกลเพียงพอจากผิวหน้า ($^\circ\text{C}$)



รูปที่ 2.12 การระบายความร้อนของไข่ต้ม ด้วยการพาความร้อนแบบบังคับและแบบอิสระ [7]

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง ขึ้นกับตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการพาความร้อน เช่น รูปร่างผิว ธรรมชาติการเคลื่อนที่ของของไหล คุณสมบัติของของไหล และความเร็วของก้อนของไหล ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน [7]

ชนิดของการพา	h ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
การพาความร้อนธรรมชาติของก๊าซ	2-25
การพาความร้อนธรรมชาติของของเหลว	10-1,000
การพาความร้อนถูกบังคับของก๊าซ	25-250
การพาความร้อนถูกบังคับของของเหลว	50-20,000
การเดือดและการควบแน่น	2,500-100,000

2.6.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยมีต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ดังเช่น การนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า $-270^\circ C$ หรือ 0 K (เคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว เช่น การตากปลาแห้ง ตากเสื้อผ้ากลางแจ้ง ทั้งนี้การแผ่รังสี คือการถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องผ่านตัวกลางใดๆ เช่น ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ถือเป็นความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี โดยที่วัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ สีของวัตถุ วัตถุ

สีดำหรือสีเข้มดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุสีขาวหรือสีอ่อน และ ผิวกว้าง วัตถุผิวขรุขระดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุผิวเรียบและขัดมัน

การแผ่รังสีเป็นปรากฏการณ์เชิงปริมาณของของแข็ง ของเหลว และก๊าซทั้งหมดปลดปล่อย (Emit) ดูดกลืน (Absorb) หรือส่งผ่าน (Transmit) การแผ่รังสีที่องศาต่างๆ การแผ่รังสีเป็นปรากฏการณ์เชิงผิว สำหรับของแข็งที่ทึบแสง (Opaque) เช่น โลหะ ไม้ และหิน เพราะการแผ่รังสีที่ถูกปลดปล่อยออกจากบริเวณภายในของวัสดุดังกล่าวไม่สามารถไปถึงพื้นผิว และการแผ่รังสีที่ตกกระทบบนวัตถุนี้ปกติจะถูกดูดกลืนไว้เพียงสองหรือสามไมครอนจากผิว การแผ่รังสีที่ปลดปล่อยจากผิวที่อุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ TS มีอัตราเร็วสูงที่สุดกาได้จาก Stefan-Boltzmann law คือ

$$\dot{Q}_{\text{emit,max}} = \sigma AT_s^4 \quad (\text{W}) \quad (2.3)$$

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ เรียกว่าค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann ผิวกว้างที่ปลดปล่อยการแผ่รังสีที่อัตราเร็วสูงสุดนี้ เรียกว่า วัตถุดำและการแผ่รังสีที่ถูกปลดปล่อยโดยวัตถุดำเรียกว่าการแผ่รังสีวัตถุดำ การแผ่รังสีที่ถูกปล่อยออกจากผิวของวัตถุจริงจะมีค่าน้อยกว่าการแผ่รังสีที่ถูกปล่อยโดยวัตถุดำที่อุณหภูมิเดียวกัน คือ

$$\dot{Q}_{\text{emit}} = \epsilon \sigma AT_s^4 \quad (\text{W}) \quad (2.4)$$

ϵ = สภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) ของผิว สำหรับวัตถุดำ $\epsilon = 1$

ตารางที่ 2.3 สภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) ของผิววัสดุแต่ละชนิด [8]

วัสดุ	ค่า Emissivity (ϵ)
อลูมิเนียมพอยล์	0.07
อลูมิเนียม	0.82
ทองแดงขัดเงา	0.03
ทองคำขัดเงา	0.03
สแตนเลสขัดเงา	0.17
สีดำ	0.98
สีขาว	0.90
กระดาษขาว	0.92-0.97
ผิวหนังของมนุษย์	0.95
ไม้	0.82-0.92
น้ำ	0.96
ดิน	0.93-0.96

2.7 ประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ [9]

ประสิทธิภาพ (efficiency) เป็นตัวบ่งชี้กระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานหรือการถ่ายโอนพลังงานว่าเกิดประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ได้มากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปจะระบุประสิทธิภาพหรือสมรรถนะอยู่ในรูปอัตราส่วนของสิ่งที่ปรารถนาจะได้ออกมาต่อสิ่งที่ต้องการป้อนเข้าไป

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{สิ่งที่ปรารถนาจะได้ออกมา}}{\text{สิ่งที่ป้อนเข้าไป}} \quad (2.5)$$

ความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.5 เป็นนิยามกว้างๆ ของประสิทธิภาพ การกล่าวถึงประสิทธิภาพอย่างเจาะจงจะสามารถทำได้เมื่อทราบลักษณะการทำงานของอุปกรณ์นั้น ๆ ในที่นี้จะกล่าวถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สำหรับงานวิจัยนี้ ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับรังสีอาทิตย์ก็เปรียบเสมือนพลังที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งหาได้จาก

$$Q_{in} = A_c G_t \quad (2.6)$$

โดย

G_t คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)

A_c คือ พื้นที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ (m^2)

ส่วนสิ่งที่ต้องการหรือสิ่งที่ปรารถนาจะได้ออกมาคือของไหลที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์จนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งหาได้จาก

$$Q_{out} = \dot{m} c_p (T_{out} - T_{in}) \quad (2.7)$$

โดย

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของไหล (kg/s)

c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล ($kJ/kg^\circ C$)

T_{in} คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลเข้าสู่ตัวรับรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)

T_{out} คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลออกสู่ตัวรับรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)

ดังนั้น ประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จึงสามารถหาได้จาก

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (2.8)$$

การหาประสิทธิภาพดังกล่าวเป็นการพิจารณาเพื่อหาประสิทธิภาพรวมของแผงรับรังสีอาทิตย์โดยไม่วิเคราะห์แยกหรือจำแนกอุปกรณ์ของแผงรับรังสีอาทิตย์แบบต่าง ๆ

2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับดิน [10]

ดิน หมายถึง วัตถุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการสลายตัวทางกายภาพ และทางเคมีของหิน และแร่ รวมกับสารอินทรีย์ ที่เกิดจากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์เป็นผิวชั้นบนที่ห่อหุ้มโลก ซึ่งดินจะมีลักษณะและคุณสมบัติต่างกันไปในที่ต่าง ๆ ตามสภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ วัตถุต้นกำเนิดสิ่งมีชีวิตและระยะเวลาการสร้างตัวของดิน ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีประโยชน์และมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะมนุษย์ซึ่งได้อาศัยดินในการสร้างที่อยู่อาศัย ทำการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์เพื่อให้ได้อาหาร และเกิดปัจจัยสำคัญอื่นๆ อีก เช่น เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค เป็นต้น นับเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เป็นผลที่ได้จากดินทั้งทางตรงและทางอ้อมทั้งสิ้น

2.8.1 ประเภทของดิน

ดินสามารถจำแนกตามลักษณะของเนื้อดิน แบ่งได้ 3 ชนิด

2.8.1.1 ดินทราย เป็นดินที่มีอนุภาคของทรายเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าร้อยละ 85 เนื้อดินมีการเกาะตัวกันหลวมๆ มองเห็นเป็นเม็ดเตี้ยๆ ได้ ถ้าสัมผัสดินที่อยู่ในสภาพแห้งจะรู้สึกสากมือ เมื่อลองกำดินที่แห้งนี้ไว้ในอุ้งมือแล้วคลายมือออกดินก็จะแตกออกจากกันได้ แต่ถ้ากำดินที่อยู่ในสภาพชื้นจะสามารถทำให้เป็นก้อนหลวมๆ ได้ แต่พอสัมผัสจะแตกออกจากกันทันที

2.8.1.2 ดินร่วน เป็นดินที่เนื้อดินค่อนข้างละเอียดนุ่มมือในสภาพดินแห้งจะจับกันเป็นก้อนแข็งพอประมาณ ในสภาพดินชื้นจะยืดหยุ่นได้บ้าง เมื่อสัมผัสหรือคลึงดินจะรู้สึกนุ่มมือแต่อาจจะรู้สึกสากมืออยู่บ้างเล็กน้อย เมื่อกำดินให้แน่นในฝ่ามือแล้วคลายมือออก ดินจะจับกันเป็นก้อนไม่แตกออกจากกัน เป็นดินที่มีการระบายน้ำได้ดีปานกลาง จัดเป็นเนื้อดินที่มีความเหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก

2.8.1.3 ดินเหนียว เป็นดินที่มีเนื้อละเอียด ในสภาพดินแห้งจะแตกออกเป็นก้อนแข็งมาก เมื่อเปียกน้ำแล้วจะมีความยืดหยุ่น สามารถปั้นเป็นก้อนหรือคลึงเป็นเส้นยาวได้ เป็นดินที่มีการระบายน้ำและอากาศไม่ดี แต่สามารถอุ้มน้ำ ดูดียึด และแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้ดี เหมาะที่จะใช้ทำนาปลูกข้าวเพราะเก็บน้ำได้นาน

2.8.2 ชนิดของหน้าดินที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืช

ดินชั้นบน หรือ ชั้นไถพรวน มีความสำคัญต่อการเพาะปลูกพืชมาก เนื่องจากรากของพืชส่วนมากจะชอบไชหาอาหาร ณ ดินชั้นนี้ เป็นชั้นที่มีอินทรีย์วัตถุสูงกว่าชั้นอื่น ปกติดินชั้นบนจะมีสีเข้ม หรือคล้ำกว่าชั้นอื่น ๆ ใช้สำหรับการทำการเพาะปลูกพืชทั่ว ๆ ไป จะต้องมีความหนาตั้งแต่ 0 – 15 ซม.

ส่วนดินชั้นล่าง รากพืชของต้นไม้ยืนต้น จะมีรากชอนไชลงไปถึงชั้นนี้ได้ และมีอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าชั้นบน

2.8.3 ส่วนประกอบของดิน

ส่วนประกอบของดิน โดยธรรมชาติดินจะมีส่วนประกอบ 4 ชนิด คือ

- แร่ธาตุต่าง ๆ หรือ สารอนินทรีย์ เกิดจากการสลายตัวของหินและแร่ต่างๆ เป็นแหล่งกำเนิดธาตุอาหารของพืชและแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน พืชจะดูดขึ้นมาใช้เป็นอาหารได้ซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยผุพังทับถมกัน

- สารอินทรีย์ เกิดจากการทับถมของใบไม้และสัตว์ที่ตายแล้วเรียกรวมว่า ฮิวมัส ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดอาหารของพืชและจุลินทรีย์ที่สำคัญ คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันเป็นส่วนที่ช่วยให้พืชเจริญเติบโต และยังช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น

- น้ำ ได้จากน้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นผิวดินหรือน้ำใต้ดินซึมขึ้นมา น้ำอยู่ในส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างเม็ดดินดินแต่ละชนิดอุ้มน้ำไว้มากน้อยแตกต่างกัน ดินที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก จะมีน้ำในดินประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้พืชดูดน้ำที่มีแร่ธาตุละลายอยู่ไปใช้ได้ และ ทำให้ดินมีความชุ่มชื้นและอ่อนนุ่มลง มีประโยชน์มากสำหรับพืช

- อากาศ แทรกซึมอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินในส่วนที่ไม่มีน้ำ ซึ่งเรียกว่า “ความพรุน” อากาศที่อยู่ในดินมีประโยชน์ออกซิเจนในดินจะมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะรากพืชจะดูดอาหารขึ้นมาใช้ได้นั้นจากพืชจะต้องหายใจ นอกจากนี้ยังช่วยให้ดินมีความร่วนซุยและความอ่อนนุ่มละเอียดกว่าดินชั้นบน

2.8.4 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

- ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของดิน หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลของสารกับปริมาตรของดิน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้คือ ความหนาแน่นอนุภาคดิน (partical density, D_s) และความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density, D_b)

1. ความหนาแน่นอนุภาคดิน หมายถึง มวลของดินแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็งของดิน ดังสมการ

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (2.9)$$

โดย

ρ_s คือ ความหนาแน่นอนุภาคดิน (kg/m^3)

m_s คือ มวลของอนุภาคดิน กรัม (kg)

V_s คือ ปริมาตรของอนุภาคดิน (m^3)

2. ความหนาแน่นรวมของดิน หมายถึงมวลของดินแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรรวมของส่วนที่เป็นของแข็งของดิน ดังสมการ

$$\rho_b = \frac{m_{sd}}{V_{ts}} \quad (2.10)$$

โดย

σ_b คือ ความหนาแน่นรวมของดิน (kg/m^3)

m_{sd} คือ มวลของดินแห้ง กรัม (kg)

V_{ts} คือ ปริมาตรของดิน m^3

- ความพรุน (Porosity)

ความพรุนของดิน คือ ส่วนที่เป็นช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ช่องว่างในเม็ดดินจะเป็นที่อยู่ของน้ำและอากาศภายในดิน ซึ่งการถ่ายเทอากาศและการระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับความพรุนของดิน ความพรุน หาได้จากการคำนวณ เมื่อทราบค่าความหนาแน่นรวม และความหนาแน่นเนื้อของวัสดุ สามารถหาค่าความพรุนได้จากสมการ

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \right) \times 100 \quad (2.11)$$

โดย

ε คือ ความพรุนของดิน

ρ_b คือ ความหนาแน่นรวมของดิน (kg/m^3)

ρ_s คือ ความหนาแน่นอนุภาคดิน (kg/m^3)

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดิน ความหนาแน่นของดิน และความพรุนของดิน [10]

ชนิดของเนื้อดิน	ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	ความพรุนของดิน (%)
ทราย (sand)	1.55	42
ดินร่วนปนทราย (sandy loam)	1.40	48
ดินร่วน (loam)	1.2	55
ดินร่วนปนตะกอน (silt loam)	1.15	56
ดินร่วนเหนียว (clay loam)	1.1	59
ดินเหนียว (clay)	1.05	60

2.8.5 ความชื้นของดิน (Soil water content, θ)

ความชื้นของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดิน โดยจะระบุเป็นสัดส่วน ระดับความชื้นดิน สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1) ระดับความชื้นโดยมวล (mass water content, θ_m)

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s} \quad (2.12)$$

โดย

m_w คือ มวลของน้ำ (kg)

m_s คือ มวลของดิน (kg)

2) ระดับความชื้นโดยปริมาตร (volume water content, θ_v)

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_s} \quad (2.13)$$

$$\theta_v = \frac{\rho_b \theta_m}{\rho_w} \quad (2.14)$$

โดย

V_w คือ ปริมาตรของน้ำ (m^3)

V_s คือ ปริมาตรของดิน (m^3)

ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

2.8.6 การถ่ายเทความร้อนของดิน [10]

นอกจากการถ่ายเทความร้อนทั้งสามแบบที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ปรากฏการณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดิน คือกระบวนการใช้พลังงานความร้อนไปกับการกลายเป็นไอ (latent heat of evaporation) หรือการควบแน่นของน้ำ (latent heat of condensation) เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันหนึ่งที่อยู่ในดิน การเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ ต้องมีความร้อนบางส่วนปลดปล่อยออกมาหรือถูกดูดกลืน จึงกล่าวได้ว่ามีความร้อนเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชั้นหน้าตัดดิน

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกในเรื่องการส่งผ่านความร้อนในชั้นดินคือ แหล่งกำเนิดและแหล่งดูดซับความร้อนในหน้าตัดดินนอกเหนือจาก การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน แหล่งกำเนิดหรือแหล่งดูดซับความร้อนในชั้นหน้าตัดดิน อาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมี เช่นการเกิดสารประกอบทางเคมีในดิน ซึ่งบางครั้งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน หรือบางครั้งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

ร้อน ส่วนปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดในดินก็เป็นเช่นเดียวกัน กล่าวคืออาจมีการดูดกลืนและคายพลังงาน ความร้อนออกมา ซึ่งการเพิ่มหรือลดลงของพลังงานความร้อนมีผลทำให้อุณหภูมิของดินเปลี่ยนแปลงได้

กระบวนการนำความร้อนเป็นกระบวนการที่สำคัญซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิที่สำคัญ แต่การที่ดินจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปจากเดิมมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิภายในดินด้วย และความสามารถในการยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังกล่าว ซึ่งคุณสมบัติของดินเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้แก่ ความสามารถในการนำความร้อน และ ความจุความร้อนของดิน สำหรับการนำความร้อนของดิน จะกำหนดความสามารถของดิน ในการนำ ความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนความจุความร้อนจะทำหน้าที่ ป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การหาค่าความจุความร้อนของดิน (C, J/m³ .K) อาจทำได้ง่าย ๆ โดยการรวมสัดส่วนความจุ ความร้อนขององค์ประกอบของดินแต่ละตัวเข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ว่า

$$C = \sum f_{si} + f_w + C_w \quad (2.15)$$

โดย

C คือ ความจุความร้อนเชิงปริมาตร (kJ/m³ .K)

\sum คือ สัญลักษณ์มาตรฐานแทนการบวก

f คือ สัดส่วนโดยปริมาตรขององค์ประกอบดินแต่ละชนิด (m³)

s คือ สถานะของแข็ง

i คือ ชนิดขององค์ประกอบดินที่เป็นของแข็ง

w คือ สถานะของเหลว

ตารางที่ 2.5 แสดงความจุความร้อนเชิงปริมาตรขององค์ประกอบดินที่สำคัญ [11]

องค์ประกอบดิน	ค่าความจุความร้อน C (kJ/m ³ .K)	ค่าสภาพการนำความร้อน k (W/m.K)
อากาศ (293K)	1.25	0.025
น้ำ(ของเหลว)	4.20 x10 ³	0.57
น้ำ(ของแข็ง)	1.90 x10 ³	2.20
ดินเหนียว	2.00 x10 ³	-
อินทรีย์วัตถุในดิน	2.60 x10 ³	0.25
แร่ธาตุดินอื่น ๆ	2.00 x10 ³	2.9

การหาค่าการนำความร้อนของดินใดๆ ก็เช่นเดียวกับค่าความจุความร้อน คือจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนโดยปริมาตรขององค์ประกอบดินทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นสถานะใด สำหรับการคำนวณหาค่าการนำความร้อนของดิน สามารถทำได้เช่นเดียวกับการหาค่าความจุความร้อนของดิน แต่แทนที่จะแทนค่า C ให้เปลี่ยนเป็นค่า k แทน

สมมุติฐานว่าการถ่ายเทความร้อนของดินเกิดจากการนำความร้อนเป็นหลัก โดยเป็นการนำความร้อนแบบมิติเดียว ส่วนการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนเกิดขึ้นน้อยมากจึงไม่นำมาวิเคราะห์สมการที่ได้จึงเหลือเพียง

$$Q_s = \frac{k_s A (T_{HI} - T_{LOW})}{L} \quad (2.16)$$

โดย

Q_s	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของดิน (W)
k_s	คือ สภาพการนำความร้อนของดิน (W/m.K)
A	คือ พื้นที่ของดินที่ได้รับความร้อน (m ²)
T_{HI}	คือ อุณหภูมิด้านที่สูง (K)
T_{LOW}	คือ อุณหภูมิด้านที่ต่ำ (K)
L	คือ ความลึกของดิน (m)

2.9 โรคพืช [12]

โรคพืชหมายถึง ลักษณะอาการของพืชที่ผิดไปจากปกติ ซึ่งอาจเกิดขึ้นบนส่วนใดส่วนหนึ่งของต้นพืช หรือตลอดทั้งต้น และรวมไปจนถึงการแห้งตายไปทั้งต้น สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคพืชแบ่งได้ 2 สาเหตุคือ

2.9.1. สาเหตุโรคที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต (nonpathogenic disease)

ได้แก่โรคหรือความผิดปกติของพืชที่เกิดจากการกระทำของสิ่งไม่มีชีวิต เช่น การขาดธาตุอาหาร ธาตุอาหารเป็นพิษ ดินเป็นกรด ดินเค็มจัด ดินเป็นด่าง หรือพิษจากสารเคมีบางชนิด สาเหตุต่างๆ เหล่านี้ทำให้การเจริญเติบโตของต้นพืชผิดปกติ ลำต้นแคระแกร็น มีสีซีด หรือสีผิดปกติ ไม่ให้ผลผลิต โรคพืชซึ่งมีสาเหตุเกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต เป็นโรคที่เกิดเฉพาะที่หรือแหล่ง ไม่สามารถแพร่กระจายหรือระบาดไปยังแหล่งอื่นๆ ได้

2.9.2 สาเหตุโรคที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (pathogenic disease)

มีเชื้อโรคหลายชนิด ที่ทำให้พืชเป็นโรค เชื้อแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการเข้าทำลายพืช และการแพร่ระบาดโรคแตกต่างกัน เช่น โรคพืชที่เกิดจากเชื้อไวรัส (virus) เชื้อไมโคพลาสมา

(mycoplasma) เชื้อแบคทีเรีย (bacteria) เชื้อรา (fungi) และไส้เดือนฝอย โรคพืชจะเกิดขึ้นและสามารถแพร่กระจายระบอดออกไปได้ถ้าหากมีเชื้อสาเหตุเหล่านี้ ตลอดจนมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเกิดและการแพร่กระจายของโรคพืชนั้น ๆ การแพร่กระจายของโรคพืชอาศัย น้ำฝน ความชื้น ลม ดิน หรือโดยการถ่ายทอด (transmission) ผ่านทางเมล็ดพันธุ์ ส่วนขยายพันธุ์ หรือโดยแมลง

ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลทำให้เชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคพืชไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ [13]

เชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคพืช	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hrs)
<i>Ralstonia solanacearum</i>	55	1
<i>Sclerotium rolfsii</i>	50	0.25
<i>Phytophthora parasitica</i>	50	0.25
<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	55	24

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดิน และการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ควบคุมเชื้อในดิน มีงานวิจัยที่ศึกษาเฉพาะการถ่ายเทความร้อนในดิน และการผลิตน้ำร้อน ที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายเพื่อมุ่งเน้นศึกษาประเด็นที่สำคัญคือ

จรวินทร์ คชรินทร์ และคณะ [14] ได้ศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้เอทานอลเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีแผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบติดตั้งแผงคอนเดนเซอร์ จำนวน 4 แผงมีขนาดพื้นที่ 0.914 m² ด้านบนปิดด้วยกระจกหนา 5 mm จำนวน 1 ชั้น มีถังน้ำร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm สูง 50 cm หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน และมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขดคอยล์อยู่ภายในถังน้ำร้อน โดยใช้สารเอทานอลเป็นสารทำงานไหลเวียนภายในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำในสภาพที่เดือดกลายเป็นไอ จากผลการทดลองการสร้างแผงรับรังสีสามารถทำให้อุณหภูมิสูงได้ ถึง 82 องศาเซลเซียส จึงทำให้สารเอทานอลสามารถเดือดกลายเป็นไอขับเคลื่อนตัวเองให้ไหลเวียนภายในระบบผลิตน้ำร้อน สามารถทำให้น้ำภายในถังเก็บมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 69 องศาเซลเซียสโดยการถ่ายเทความร้อนได้ดีอยู่ในช่วงระหว่างเวลา 12.00-13.30 นาฬิกา และจากผลการทดลองยังสามารถนำผลการทดลองที่ได้มาคิดคำนวณ เพื่อหาสมรรถนะทางความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์ โดยได้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์สูงสุด ที่ 77 เปอร์เซ็นต์ และยังสามารถนำผลการทดลองที่ได้มาคิดคำนวณ เพื่อหาสมรรถนะทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อนโดยได้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อนที่ 30 เปอร์เซ็นต์

สรวิศ สอนสารี และคณะ [15] ได้ทำการพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบ พาราโบลา โดยการออกแบบสร้าง และทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ ท่อสุญญากาศชนิดฮีทไปป์ร่วมกับแผ่นสะท้อนรูปประกอบพาราโบลาทดสอบตามมาตรฐาน ISO 9806 - 1 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 78% สัมประสิทธิ์การสูญเสีย ความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ a1 และ a2 มีค่าเท่ากับ 3.55 และ 0.0600 W/m²-°C ตามลำดับ ผลที่ ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นำมาหาค่าพลังงานที่ผลิตได้ โดยใช้ข้อมูลปริมาณรังสีอาทิตย์ และ อุณหภูมิแวดล้อมของ จ.พิษณุโลก พบว่า พลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ผลิตได้ในแต่ละเดือนมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 113.28 kWh/m² หรือเท่ากับ 1,359.32 kWh/m² ต่อปี และเมื่อวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ผลิต ได้เปรียบเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์อื่นๆ ที่ทางวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ทดสอบ พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดฮีทไปป์ร่วมกับแผ่นสะท้อนรูปประกอบพาราโบลา สามารถผลิตพลังงานรายปีได้สูงกว่า 1,200 kWh/m² ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มี ความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนได้สูง

ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์ และคณะ [16] ได้ศึกษาการประเมินค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ ตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิดสามารถผลิตได้โดยได้ทำการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ตาม มาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77 และตัวรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ตามมาตรฐาน ISO 9806-1 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์และการสูญเสียความร้อนรวม ของตัวรับรังสีทั้งนี้ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่นำมาทดสอบทั้งหมด 10 แผง ซึ่งแบ่งออกเป็นแบบแผ่นเรียบ จำนวน 8 แผง และแบบหลอดแก้วสุญญากาศ Heat Pipe จำนวน 2 แผง โดยมีการกำหนดเงื่อนไขใน การทดสอบภายใต้สภาวะเดียวกันคืออุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้า อุณหภูมิน้ำออกและค่าพลังงาน แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเฉลี่ยรายปีของประเทศไทยเท่ากับ 1,800 kWh/m² ซึ่งจากการทดสอบ พบว่าความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนของรังสีอาทิตย์จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มี ความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 500 kWh/m² กลุ่มสองที่มี ความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนเท่ากับ 501-899 kWh/m² และกลุ่มสามที่มีความสามารถ ในการผลิตพลังงานความร้อนมากกว่า 900 kWh/m² โดยตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบ หลอดแก้วสุญญากาศชนิด Heat Pipe ที่นำมาทดสอบนั้นมีค่าการผลิตพลังงานความร้อนอยู่ในระดับสูง

นิรมล สุภาพรมและคณะ [17] ได้มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนด้วยตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม ตัวสะท้อนรังสี อาทิตย์ถูกออกแบบตามหลักการของรางพาราโบลาและรางพาราโบลาผสม ใช้โปรแกรม Solid work ช่วยจำลองแนวรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนและช่วยออกแบบตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์รูปแบบต่างๆ ที่เหมาะสม เพื่อใช้ติดตั้งร่วมกับแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนที่มีพื้นที่ 2 ตาราง

เมตร ในขั้นตอนการทดลองนั้น ได้สร้างแบบจำลองของแผงรับรังสีที่มีการติดตั้งตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบที่ดีที่สุด และประดิษฐ์อุปกรณ์เพื่อใช้วัดแสงสะท้อนจากตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่สร้างขึ้น จากการศึกษาพบว่า ตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบที่ 2 (พาราโบลาคือ) เหมาะสมที่สุด สามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้เฉลี่ย 40.07 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้น 27.03 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มี ซึ่งปริมาณรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนกลับมายังตัวรับรังสีจะส่งผลให้แผงรับรังสีอาทิตย์รับความร้อนได้มากขึ้น ดังนั้นการติดตั้งตัวสะท้อนรังสีรูปแบบดังกล่าวอาจเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนได้เช่นกัน

รุ่งทวี ผดากาล และสุรชัย รดาตาร [18] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนเพื่อนำไปพัฒนาให้ระบบดียิ่งขึ้น โดยปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกับประสิทธิภาพของระบบ คือ อัตราการไหลของน้ำในระบบ และความเข้มแสงที่ระบบได้รับ ดังนั้น จุดมุ่งหมายของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อพิจารณาผลของอัตราการไหลของน้ำกับความเข้มของแสงต่อประสิทธิภาพของระบบ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแสงในรูปแบบอื่นได้โดยทำการออกแบบและพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนซึ่งเป็นระบบเปิดประกอบด้วย แผงรับแสงแบบแผ่นโค้งรูปพาราโบลามีพื้นที่รับแสง 2.24 m^2 และใช้กระจกเงาในการสะท้อนแสง ท่อรับแสงเป็นท่อสุญญากาศมีพื้นที่ 0.27 m^2 ทำการทดลองในห้องทดลอง เพื่อควบคุมความเข้มของแสง อัตราการไหลของน้ำในระบบ และอุณหภูมิห้องทดลอง การทดลองนี้ทำการจำลองแสง โดยใช้แสงจากหลอดไฟ เพราะต้องการควบคุมความเข้มแสงให้คงที่ และปรับความเข้มแสงได้ การทดลองแบ่งออกเป็น 3 การทดลองดังนี้ การทดลองที่ 1 ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำที่ความเข้มแสงคงที่ จากผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของระบบอยู่ในช่วง 72% อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงรับแสงสูงสุดที่ 53°C ที่อัตราการไหลของน้ำในระบบ 0.0083 kg/s และที่ความเข้มแสงคงที่ 607.50 W/m^2 การทดลองที่ 2 ทำการปรับความเข้มแสงที่อัตราการไหลของน้ำคงที่ พบว่าประสิทธิภาพของระบบอยู่ที่ประมาณ 70% อุณหภูมิของน้ำออกจากแผงรับแสงสูงสุดที่ 78°C อัตราการไหลของน้ำคงที่ 0.0083 kg/s และความเข้มแสง $1,290.75 \text{ W/m}^2$ การทดลองที่ 3 ทดสอบระบบโดยใช้มาตรฐาน ASHRAE 93-97 โดยทำการปรับอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าแผงรับแสงที่ค่าต่าง ๆ ที่อัตราการไหลของน้ำคงที่ 0.02 kg/s ทำการทดลองที่ความเข้มแสงคงที่ 881.26 W/m^2 ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าแผงรับแสง 37°C อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงรับแสงสูงสุดที่ประมาณ 50°C และประสิทธิภาพของระบบประมาณ 53% จากผลการศึกษาที่ได้ทำให้ทราบว่าอัตราการไหลของน้ำและความเข้มของแสงมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำที่ได้ และประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนโดยอัตราการไหลของน้ำและความเข้มแสงเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ได้จากระบบและประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ชิตชนก แสตนศรี ศิริชัย เทพา และคณะ [19] ได้ศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ *Rastonia solanacearum* ในดินด้วยความร้อนแทนที่การใช้สารเคมี การอบดินด้วยไอน้ำ และการเผาหน้าดิน โดยการประยุกต์ใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (CPC) ที่มีท่อสุญญากาศเป็นเป้ารับรังสีในการผลิตน้ำร้อนและจ่ายผ่านไปตามท่อบนผิวดินและที่ความลึกระดับต่างๆ ในช่วงบ่ายของวันเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของดิน จากผลการศึกษาพบว่าที่ปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 588.56 W/m^2 น้ำขาเข้าอุณหภูมิ $32.7 \text{ }^\circ\text{C}$ ไหลผ่านระบบผลิตน้ำร้อนด้วยอัตราการไหล 0.012 kg/s มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น $48.8 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเท่ากับ $43.1 \text{ }^\circ\text{C}$ และประสิทธิภาพตัวรวมรังสีเฉลี่ย 21.10% ซึ่งน้ำร้อนที่ได้สามารถนำมาใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในดินได้

Santosh Kumar Singh และคณะ [20] ได้ศึกษาและออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตน้ำร้อนโดยใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีพลังงานความร้อนทดแทนที่ใช้กระบวนการสร้างความร้อน หรือพื้นที่รับความร้อน โดยใช้แผ่นเหล็กและท่อกลมขนาด 10 ซม. เป็นตัวดูดซับความร้อน ทาสีดำเพื่อดูดซับความร้อนได้สูงสุด ประสิทธิภาพของระบบจากการทดลองสำหรับอัตราการไหลของมวล 0.0015 kg/s ประสิทธิภาพรายวัน 11% ได้มาด้วยอัตราการไหลของมวลขั้นต่ำ 0.0015 kg/s

Soteris A. Kalogirou [21] ได้ศึกษาการสะสมและการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ ในขั้นต้นจะมีการวิเคราะห์ปัญหาสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการใช้แหล่งพลังงานดั้งเดิมและนำเสนอประโยชน์ของระบบพลังงานหมุนเวียน การใช้พลังงานรังสีอาทิตย์ประเภทต่าง ๆ รวมถึงตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ หลอดแก้วสุญญากาศ รางพาราโบลา เลนส์เฟรส จานพาราโบลาและระบบหอคอยรวมแสง ตามด้วยการวิเคราะห์ทางความร้อนและทางอุณหพลศาสตร์ของตัวสะสมและอธิบายวิธีการที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพ การใช้งานทั่วไปของตัวสะสมความร้อน เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมไซฟอนเก็บสะสมแบบบูรณาการระบบทางตรงและทางอ้อม และระบบการสูบน้ำ การกลั่นน้ำทะเล ระบบพลังงานความร้อนซึ่งประกอบด้วยรางพาราโบลา หอพลังงานและระบบงานพลังงานแสงอาทิตย์และการใช้งานทางเคมี จากการศึกษาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่ได้จำกัดพื้นที่ใช้งานแค่เพียงด้านบนเท่านั้น มีการใช้งานในแบบอื่นอีกมากมาย สามารถนำไปใช้ได้กับระบบที่มีความหลากหลาย สามารถให้ประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อมและการลงทุน ที่สำคัญจึงควรใช้เมื่อใดก็ตามที่เป็นไปได้

นฤทธิ์ กล่อมพงษ์ และคณะ [22] ได้ทำการจำลองแบบเชิงตัวเลขของการถ่ายโอนความร้อนในดินภายใต้เงื่อนไขสภาพภูมิอากาศธรรมชาติทั่วไป โดยอาศัยสมการสมดุลพลังงานที่มีพื้นฐานมาจากกลไกการถ่ายโอนความร้อนเป็นสมการควบคุมและใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งเป็นเงื่อนไขสภาพแวดล้อม

ทางภาคใต้ของประเทศไทย ในแบบจำลองนี้ได้อาศัยระเบียบวิธีผลต่างอันตะแบบชัดแจ้งสำหรับการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยและใช้ระเบียบวิธีทำซ้ำหนึ่งชั้นของเกาส์-ไซเดล สำหรับการคำนวณหาอุณหภูมิดิน ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับพัฒนารหัสคอมพิวเตอร์จากแบบจำลองได้ ทำนายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินรายชั่วโมงที่ระดับพื้นผิวถึงระดับความลึก 3 m ของ 4 วันสำคัญทางดาราศาสตร์ ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า อุณหภูมิดินทั้ง 4 วัน มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในช่วงระดับความลึก 0-0.5 m ที่ระดับความลึกมากกว่า 0.5 m อุณหภูมิดินมีค่าคงที่ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิดินมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่บริเวณผิวดิน

Andrej Kapjor และคณะ [23] ได้ศึกษาการกักเก็บและปลดปล่อยความร้อนโดยอิสระตามสภาพแวดล้อมของดินในเวลา 240 ชั่วโมง โดยแบ่งเป็นรอบกักเก็บ 12 ชั่วโมง และรอบการปลดปล่อย 12 ชั่วโมง มีการแสดงอุณหภูมิในเวลาต่าง ๆ ของการจำลองการทำงาน จากแบบจำลองในการเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ ให้กับดินเพื่อให้เกิดการสะสมความร้อน ในระหว่างช่วงเวลาที่ไม่มี การเพิ่มอุณหภูมิให้กับดิน แต่อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยการกระจายอุณหภูมิความร้อนจากจุดที่มีการเพิ่มอุณหภูมิให้กับดินไปยังส่วนที่เย็นกว่า ของปริมาตรควบคุม แม้ว่าผลกระจายอุณหภูมิจะมีการลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาที่กำหนด อุณหภูมิโดยรวมยังคงใกล้เคียงกัน เห็นได้ชัดว่าดินนั้นมีศักยภาพในการยับยั้งความร้อนที่สะสมอยู่ในวงจรความร้อนแบบซ้ำๆ



บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้ โดยใช้ความร้อนที่ได้จากการพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3 ชนิด ได้แก่ 1. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collector) 2. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Heat Pipe Evacuated tube solar collector) 3. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Compound Concentrator Solar Collector, ACPC) ต่อกันเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นและหยดลงดินเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดิน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 3.1.1 ศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 3.1.2 วิเคราะห์ข้อมูลปรึกษา สอบถาม ขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ
- 3.1.3 วิเคราะห์และออกแบบระบบการทำน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบต่าง ๆ
- 3.1.4 ทดลองและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ แผงรับรังสีอาทิตย์ แต่ละแบบ
- 3.1.5 ทดลองและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ โดยต่อแผงรับรังสีอาทิตย์ แต่ละแบบเข้ากัน ให้เป็นระบบทำน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์
- 3.1.6 ทดลองและวิเคราะห์ การถ่ายเทความร้อนในดินโดยใช้น้ำร้อนที่ได้จากระบบการทำน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์
- 3.1.7 ทดลองและวิเคราะห์ อุณหภูมิของดินเพื่อใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดินเพาะกล้าไม้
- 3.1.8 วิเคราะห์และแก้ไขปรับปรุงปัญหาที่เกิดจากการทดลอง
- 3.1.9 สรุปผลการทดลองของงานวิจัย
- 3.1.10 จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3.2 ศึกษาข้อมูลและคุณสมบัติของแผงรับรังสีอาทิตย์

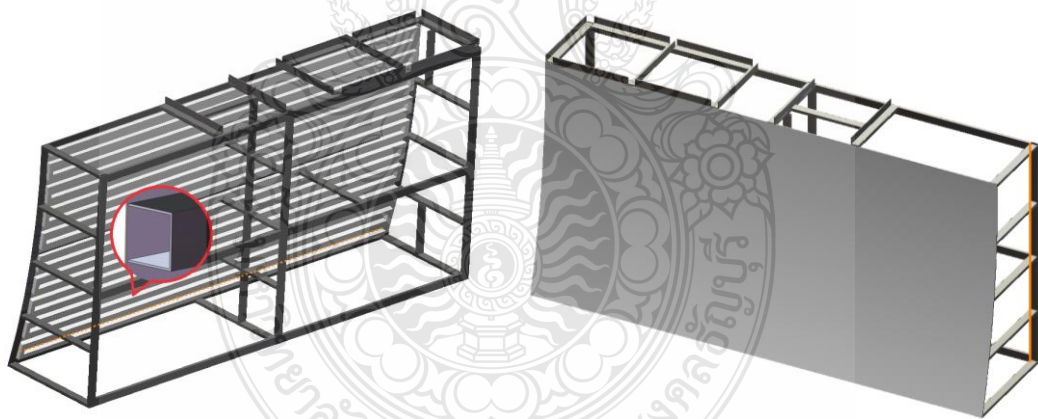
3.2.1 แผงรับรังสีอาทิตย์ (Solar collector)

แผงรับรังสีอาทิตย์หรือตัวเก็บรังสีอาทิตย์ คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทให้กับของไหลที่ไหลภายใน

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำให้ของไหลดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งจะต้องมีความสามารถ ดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี สูญเสียความร้อนที่น้อย และสามารถถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนให้แก่ของไหลได้ รวดเร็ว โดยทั่วไปตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะยึดติดอยู่กับที่และหันหน้าไปทางทิศใต้ รวมทั้งเอียงทำมุม ประมาณละติจูดของตำแหน่งที่ติดตั้ง ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่ หลายชนิด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้แผงรับรังสีอาทิตย์ดังนี้

3.2.1.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Compound parabolic concentrator, ACPC)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงแบบไม่สมมาตร มีแผ่นสะท้อนแสง (reflector) รูปทรงพาราโบลาช่วยรวมรังสีอาทิตย์สะท้อนไปยังจุดโฟกัส ณ ตำแหน่งที่ต้องการ พื้นที่รับ แสงขนาด 2.4 m x 1.2 m เนื่องจากแผ่นสะท้อนมีความร้อนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยติดตั้ง แผ่น Stainless Steel พับขึ้นรูป ลักษณะเป็นท่อรูปสี่เหลี่ยมเชื่อมติดกับด้านหลังแผงรับรังสีอาทิตย์ พาราโบลาแบบไม่สมมาตรดังรูปที่ 3.1 จำนวน 19 ท่อ เชื่อมติดตามแนวนอน เพื่อถ่ายเทความร้อนจาก แผงสะท้อนไปยังน้ำที่สัมผัสกับแผงรับรังสีอาทิตย์โดยตรง ทำให้น้ำที่ไหลผ่านแผงสะท้อนมีอุณหภูมิ สูงขึ้นและด้านหลังแผงจะมีการหุ้มฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศแวดล้อม

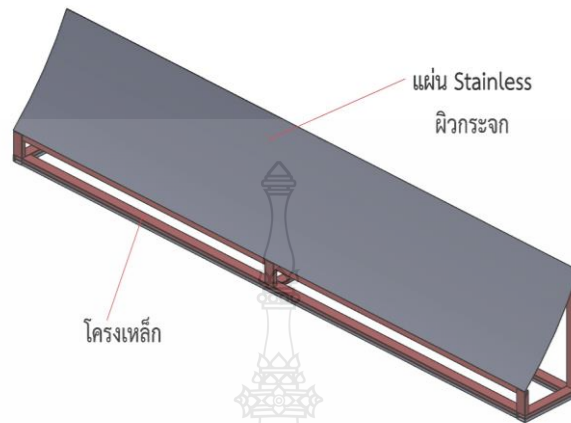


รูปที่ 3.1 ลักษณะของแผง ACPC ที่ติดตั้งแผ่น Stainless Steel พับขึ้นรูป ไว้ด้านหลังแผงสะท้อน

3.2.1.2 ตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Reflector)

ตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์เป็นตัวเพิ่มความเข้มรังสีดวงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ ทำให้มีความเข้มของรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นประมาณ 1.1-10.0 เท่า โดยไม่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

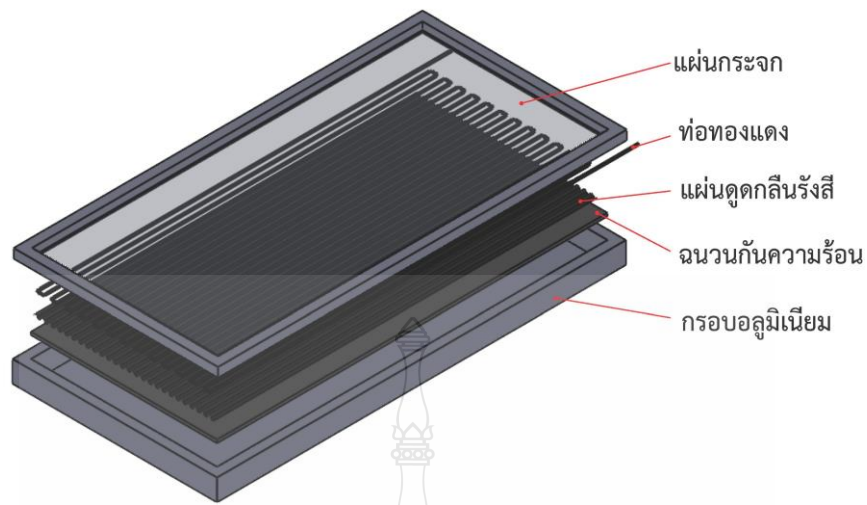
ตลอดเวลา แต่อาจจะต้องมีการปรับตำแหน่งเป็นบางครั้ง ตามทิศทางของดวงอาทิตย์ ตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์ทำจากแผ่น Stainless ผิวกระจก ขนาด 2.4 m x 0.5 m เป็นแผงสะท้อนเล็ก



รูปที่ 3.2 ลักษณะของแผงสะท้อนรังสีอาทิตย์ แผงเล็ก

3.2.1.3 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ มีกระจกแบบแผ่นเรียบปิดด้านบน ทำหน้าที่รับรังสีอาทิตย์เข้าสู่ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากนั้นรังสีอาทิตย์ไปตกกระทบแผ่นดูดกลืนความร้อน ที่ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ดี เช่น แผ่นโลหะเคลือบสีดำ เป็นต้น เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นดูดกลืนความร้อน จะเปลี่ยนความยาวคลื่นกลายเป็นความร้อน ทำให้แผ่นดูดกลืนความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นให้แก่ท่อทองแดงที่ติดตั้งด้านบนของแผ่นโลหะ โดยแผ่นโลหะจะเคลือบสีดำเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้แก่ น้ำที่จะถูกจ่ายเข้าสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบเรียบผ่านท่อทองแดงเหล่านี้ ทั้งนี้ เพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูญเสียให้แก่สิ่งแวดล้อม จึงมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบไปด้วย ตัวครอบ ตัวปิดช่องกันรั่วไหล กรอบ ฉนวนกันความร้อน และแผ่นปิดด้านหลังเพื่อปิดกั้นการรั่วไหลของอากาศร้อนภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ออกไปยังภายนอก ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ในการทดลองมีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 1.62 m² มีท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ยาวท่อละ 1.9 m จำนวน 26 ท่อวางเรียงขนานกันในแนวตั้งท่อเชื่อมต่อกันเป็นวงกลมเป็นวงแหวนเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำ วางอยู่บนแผ่นสังกะสีลอนเล็กทาสีดำทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอาทิตย์ตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

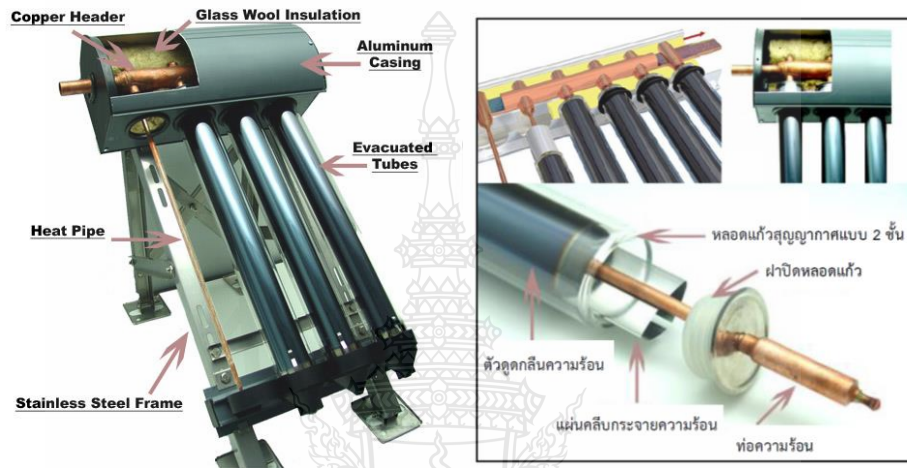


รูปที่ 3.4 ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

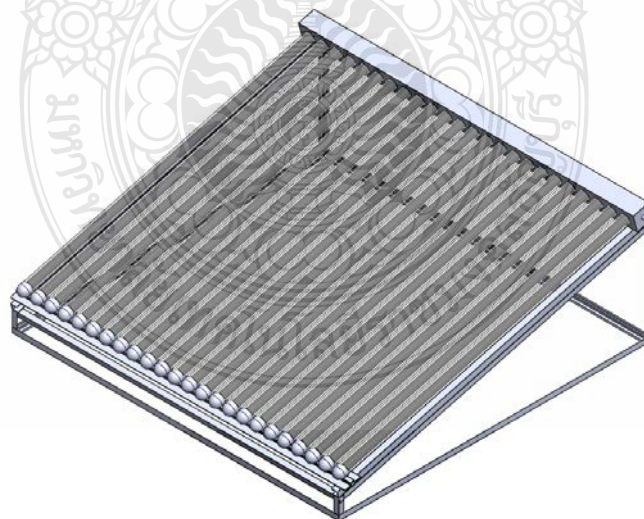
3.2.1.4 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Heat Pipe Evacuated tube solar collector)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ ได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดของไหลโดยตรง(Direct flow through or water in glass) โดยใช้ของไหลไหลอยู่ภายในหลอดแก้วสุญญากาศเพื่อรับความร้อนโดยตรงจากแผงรับรังสีอาทิตย์ และชนิดท่อความร้อน (Heat pipe) โดยท่อ

ความร้อนจะบรรจุกุสารถางานที่มีจุดเดือดต่ำไว้ภายใน เพื่อใช้ในการถ่ายเทความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังน้ำ ลักษณะรูปร่างของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด จะคล้ายกัน ในส่วนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นชนิดท่อความร้อน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อหลอดแก้วสุญญากาศมีขนาด 47 mm ยาว 1.5 m จำนวน 24 ท่อ ภายในท่อหลอดแก้วสุญญากาศมีท่อความร้อนซึ่งบรรจุกุสารถางานอยู่ภายใน เพื่อทำหน้าที่ส่งถ่ายความร้อน



รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน [5]



รูปที่ 3.6 ลักษณะของแผงรับความร้อนแบบท่อสุญญากาศ

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนอกจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ แล้วนั้นในการทดลองหรือทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ยังมีอุปกรณ์เพิ่มเติมดังนี้

3.3.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Type K)

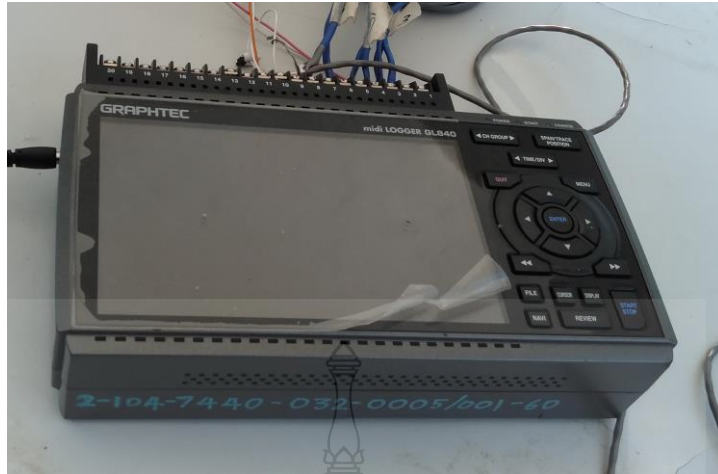
เทอร์โมคัปเปิล คือเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิซึ่งประกอบด้วยโลหะต่างชนิดกัน 2 เส้น เชื่อมปลายทั้งสองเข้าด้วยกันทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิของโลหะทั้งสองไม่เท่ากัน ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถแปลงเป็นค่าอุณหภูมิได้ ช่วงวัดอุณหภูมิตั้งแต่ $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ และค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.7 สาย Thermocouple Type K

3.3.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ Graphtec รุ่น GL840

เครื่องบันทึกข้อมูล คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า แล้วทำการบันทึกค่าที่วัดได้ในรูปแบบของสัญญาณลงในเครื่อง ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ เช่นนำไปบันทึกค่า อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น และยังสามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการอ่านข้อมูลจาก Memory ของ Datalogger มาเสนอบนหน้าจอได้ เพื่อนำค่าดังกล่าวมาใช้วิเคราะห์เพื่อหาผลที่ได้จากการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.8 Data Logger ยี่ห้อ Graphtec

3.3.3 อุปกรณ์วัดค่าการแผ่รังสีอาทิตย์ (Pyranometer) ยี่ห้อ EKO รุ่น ML-01

อุปกรณ์วัดค่าการแผ่รังสีอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์วัดค่าการแผ่รังสีอาทิตย์ บนพื้นที่ราบ โดยไพรานอมิเตอร์จะวัดรังสีอาทิตย์จากทุกทิศทาง เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบที่ thermopile ความร้อนที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าและแปลงค่าผ่านสมการ ให้เป็นหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งอุปกรณ์นี้ใช้สำหรับการวัดรังสีรวม และรังสีกระจาย



รูปที่ 3.9 Pyranometer สำหรับวัดค่ารังสีอาทิตย์

3.4 วิธีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์นั้นจะทำการทดลองแยกแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด โดยการทดลองจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขและขั้นตอนที่เหมือนกันดังนี้

3.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด

1. ระยะเวลาในการดำเนินการทดลองจะเริ่มที่เวลา 09:00 น. และสิ้นสุดการทดลองในเวลา 16:00 น. เนื่องจากเวลาดังกล่าวมีค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่มากพอสำหรับการทดลอง

2. ปล่อยน้ำไหลผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์โดยควบคุมอัตราการไหลคงที่และบันทึกค่า

3. ทำการบันทึกค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ ทุก ๆ 10 นาที

4. ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ ทุก ๆ 10 นาที

5. ปรับอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์ ตามปริมาณการทดลองในแต่ละกรณี โดยมีเงื่อนไขที่แตกต่างกันดังนี้

กรณีที่ 1 ใช้น้ำอัตราการไหล 0.20 ลิตร/นาที

กรณีที่ 2 ใช้น้ำอัตราการไหล 0.25 ลิตร/นาที

กรณีที่ 3 ใช้น้ำอัตราการไหล 0.50 ลิตร/นาที

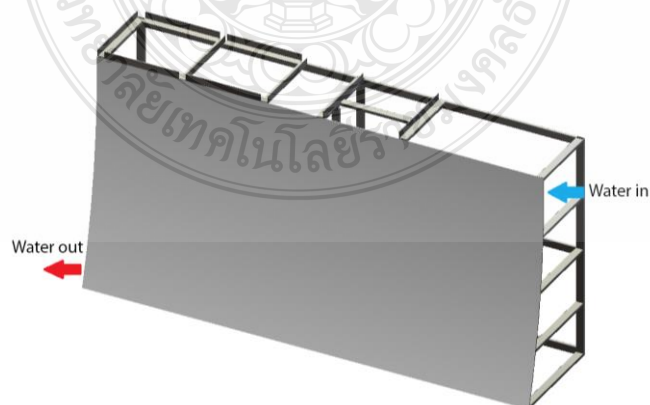
กรณีที่ 4 ใช้น้ำอัตราการไหล 0.75 ลิตร/นาที

กรณีที่ 5 ใช้น้ำอัตราการไหล 1.00 ลิตร/นาที

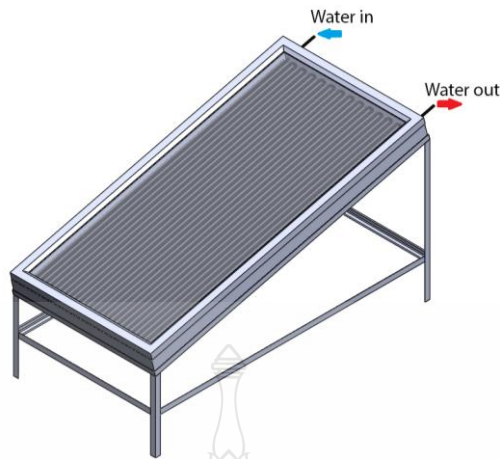
6. จัดเก็บข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.4.2 เตรียมการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด

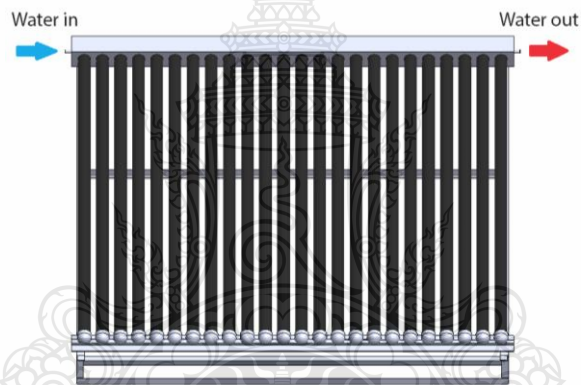
3.4.2.1 นำแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละแบบติดตั้งในพื้นที่โล่งแจ้ง โดยแยกการทดลองครั้งละหนึ่งแผงตาม รูปด้านล่าง



รูปที่ 3.10 การทดลองแผงรับความร้อนแบบวางรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC)



รูปที่ 3.11 การทดลองแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



รูปที่ 3.12 การทดลองแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน

3.4.2.2 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple Type K) บริเวณน้ำเข้าและน้ำออกของแผงรับรังสีอาทิตย์

3.4.2.3 ติดตั้งสายเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple Type K) เข้ากับเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูล (Data Logger)

3.4.2.4 ติดตั้งเครื่องวัดค่าการแผ่รังสีอาทิตย์ ในบริเวณที่ใกล้กับแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ทำการทดลอง

3.4.2.5 เติมน้ำเข้างถังที่ใช้ปล่อยน้ำเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ และเตรียมถังรับน้ำที่ออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ โดยถังเก็บน้ำที่นำมาใช้ต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนของน้ำที่ได้จากแผงรับรังสีอาทิตย์

3.4.3 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

3.4.3.1 เริ่มต้นการทดลองโดยปล่อยน้ำในอัตราการไหลคงที่ ในเวลา 09:00 น. และสิ้นสุดในเวลา 16:00 น.

3.4.3.2 บันทึกค่าความเข้มข้นรังสีอาทิติย์และอุณหภูมิน้ำเข้า-น้ำออก

3.4.3.3 ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำตามเงื่อนไขในแต่ละกรณีศึกษา

3.4.3.4 เปลี่ยนชนิดของแผงรับรังสีอาทิติย์ และทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนดำเนินการทดลอง

3.5 วิธีการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อน

การทดลองเพื่อหาอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อน จากนำแผงรับรังสีอาทิติย์ทั้ง 3 แบบ มาต่ออนุกรมเพื่อให้น้ำที่ได้ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยวิธีการทดลองและรูปแบบการจัดวางตำแหน่งของตัวเก็บรังสีอาทิติย์มีดังนี้

3.5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อน

การทดลองเพื่อหาอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อน โดยการนำแผงรับรังสีอาทิติย์ทั้งหมดมาต่ออนุกรมกัน มีรูปแบบการวางตำแหน่งที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ และอยู่ภายใต้เงื่อนไขและขั้นตอนที่เหมือนกันดังนี้

1. ระยะเวลาในการดำเนินการทดลองจะเริ่มที่เวลา 09:00 น. และสิ้นสุดการทดลองในเวลา 16:00 น. เนื่องจากเวลาดังกล่าวมีค่าความเข้มของรังสีอาทิติย์ที่มากพอสำหรับการทดลอง

2. ปล่อยน้ำไหลผ่านแผงรับรังสีอาทิติย์โดยควบคุมอัตราการไหลคงที่และบันทึกค่า

3. ทำการบันทึกค่าความเข้มของรังสีอาทิติย์ ทุก ๆ 10 นาที

4. ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิติย์ ทุก ๆ 10 นาที

5. ปรับอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านระบบผลิตน้ำร้อน ตามปริมาณการทดลองในแต่ละกรณี โดยมีเงื่อนไขที่แตกต่างกันดังนี้

กรณีที่ 1 ใช้น้ำอัตราการไหล 0.20 ลิตร/นาที

กรณีที่ 2 ใช้น้ำอัตราการไหล 0.25 ลิตร/นาที

กรณีที่ 3 ใช้น้ำอัตราการไหล 0.50 ลิตร/นาที

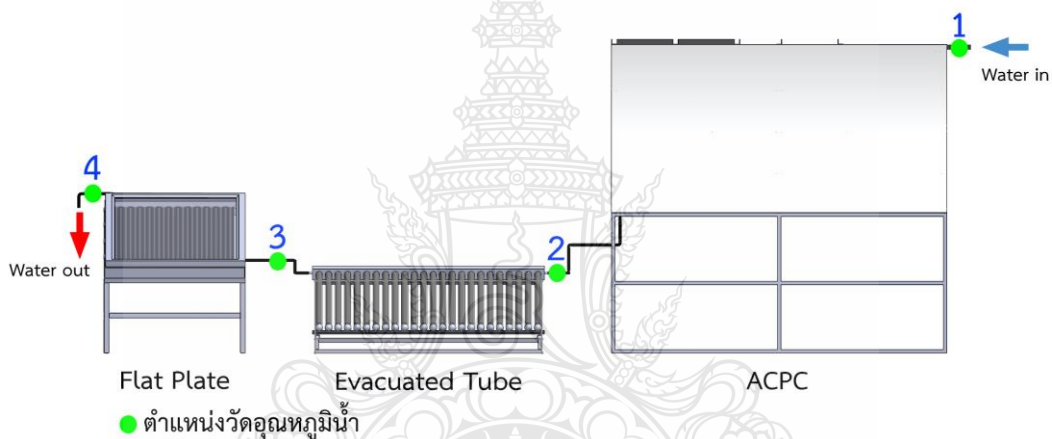
กรณีที่ 4 ใช้น้ำอัตราการไหล 0.75 ลิตร/นาที

6. จัดเก็บข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.5.2 การจัดวางตัวตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์

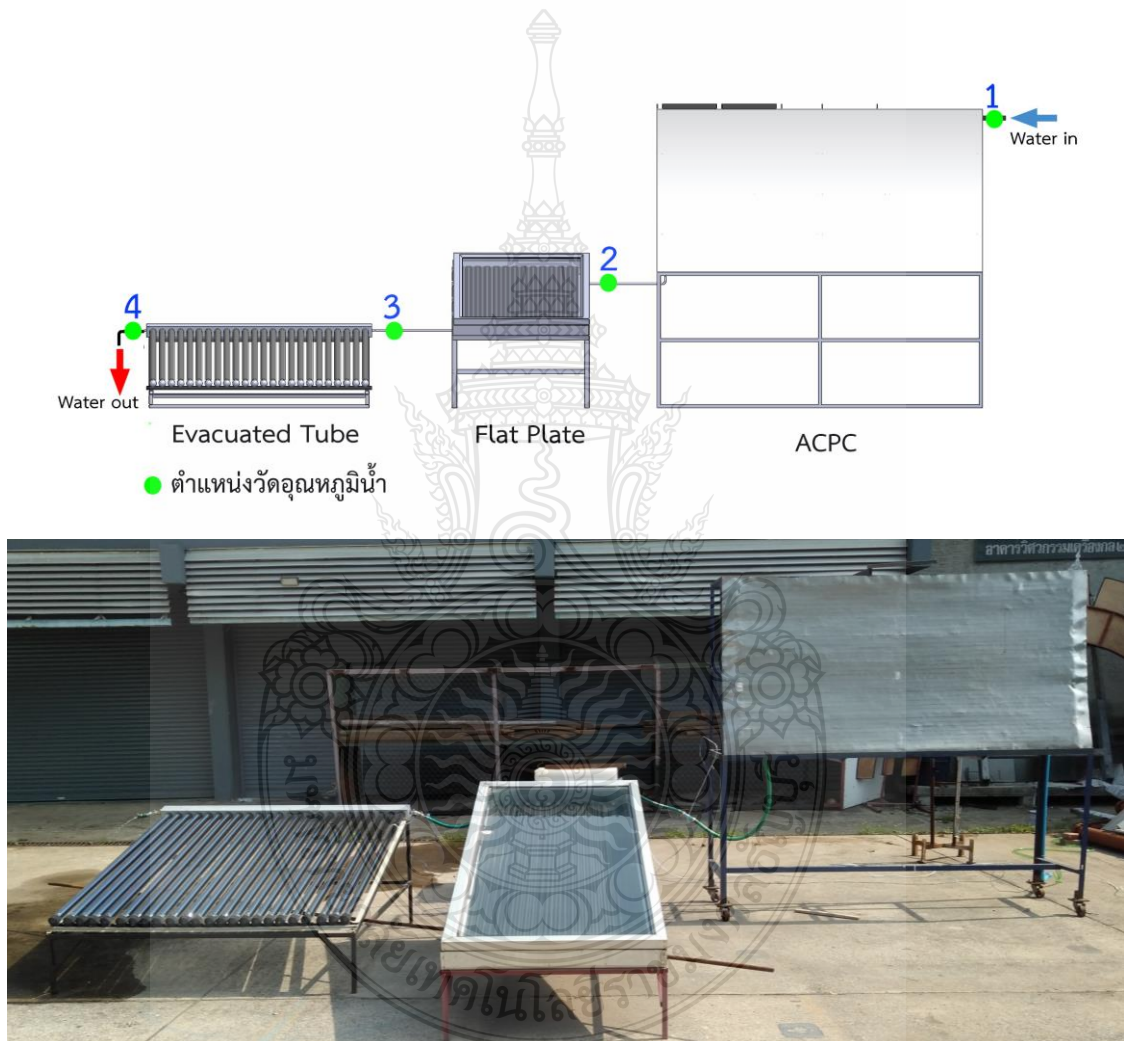
การจัดวางตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์จะมีรูปแบบการจัดวาง 4 รูปแบบโดยมีตำแหน่งการวางของแผงรับรังสีอาทิตย์ดังนี้

3.5.2.1 รูปแบบที่ 1 นำแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละแบบมาต่ออนุกรมกัน ซึ่งเริ่มจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ตามด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดต่อความร้อน และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ตามลำดับ การทดลองได้ปล่อยน้ำอุณหภูมิแวดล้อมเข้าสู่ตำแหน่งที่ 1 ผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ออกไปยังตำแหน่งที่ 2 เข้าสู่แผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดต่อความร้อน และเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบในตำแหน่งที่ 3 น้ำจะออกจากระบบผลิตน้ำในตำแหน่งที่ 4 เป็นอุณหภูมิสูงสุดที่ระบบผลิตน้ำร้อนทำได้



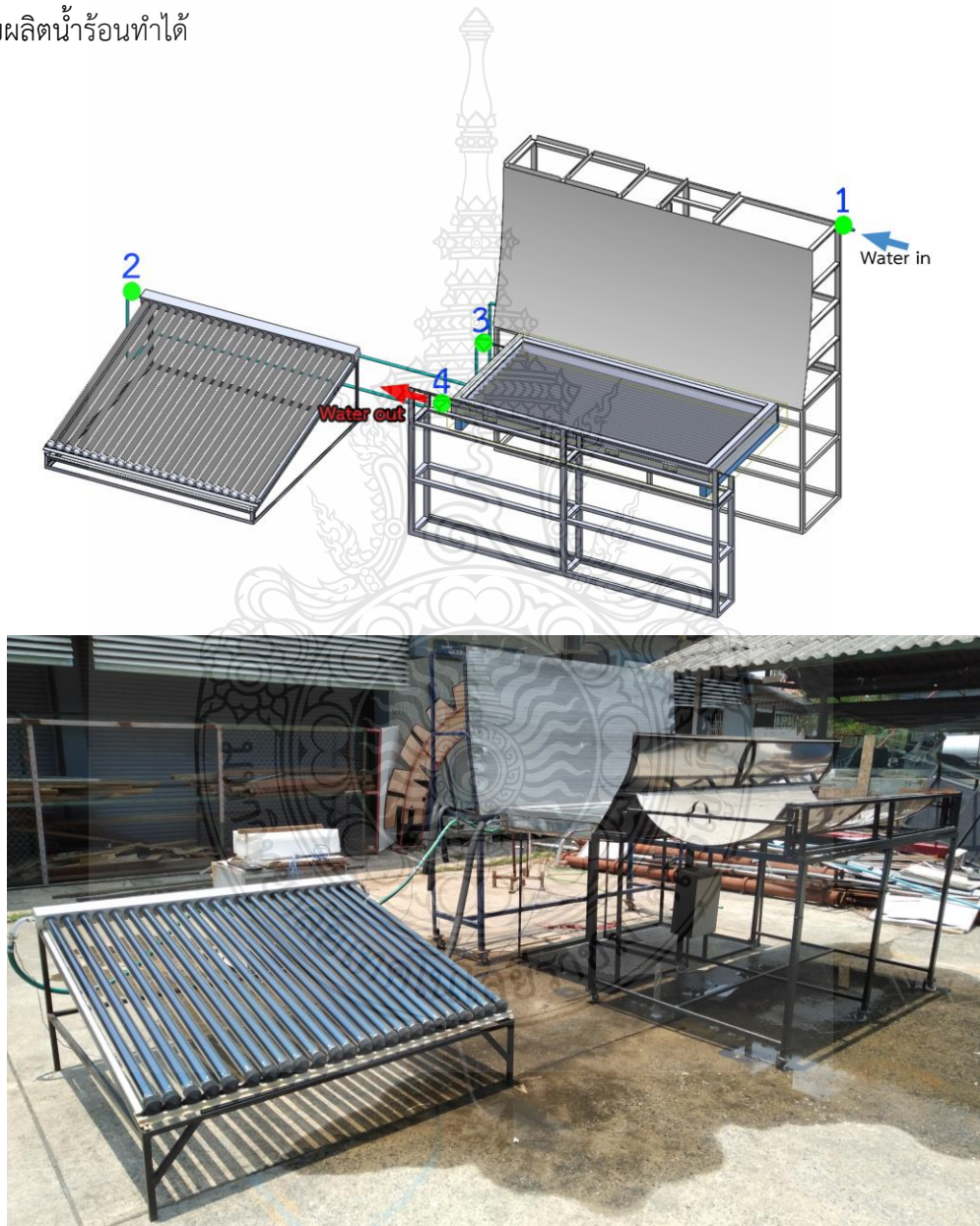
รูปที่ 3.13 รูปแบบการวางแผงรับรังสีอาทิตย์และตำแหน่งอุปกรณ์แบบที่ 1

3.5.2.2 รูปแบบที่ 2 นำแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละแบบมาต่ออนุกรมกัน ซึ่งเริ่มจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ตามด้วย แผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดต่อความร้อนตามลำดับ การทดลองได้ปล่อยน้ำอุณหภูมิแวดล้อมเข้าสู่ตำแหน่งที่ 1 ผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ออกไปยังตำแหน่งที่ 2 เข้าสู่แผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดต่อความร้อนในตำแหน่งที่ 3 น้ำจะออกจากระบบผลิตน้ำในตำแหน่งที่ 4 เป็นอุณหภูมิสูงสุดที่ระบบผลิตน้ำร้อนทำได้



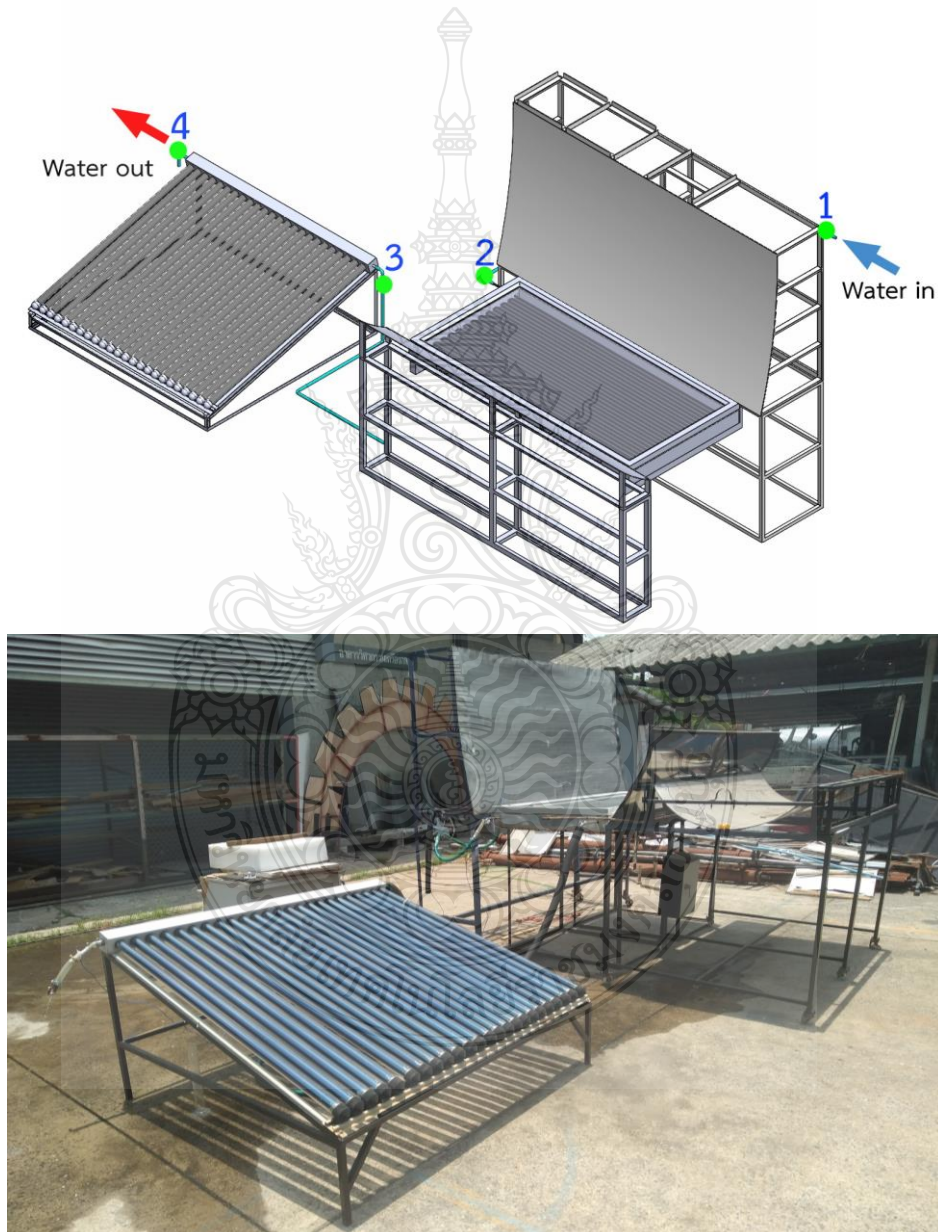
รูปที่ 3.14 รูปแบบการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์และตำแหน่งอุปกรณ์แบบที่ 2

3.5.2.3 รูปแบบที่ 3 การจัดวางตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์จะคล้ายการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 1 โดยเพิ่มแผงสะท้อนรังสีอาทิตย์เพื่อเพิ่มปริมาณรังสีอาทิตย์ให้มากขึ้นและนำแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบติดตั้งระหว่างกลางของแผงสะท้อน การทดลองได้ปล่อยน้ำอุณหภูมิแวดล้อมเข้าสู่ตำแหน่งที่ 1 ผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ออกไปยังตำแหน่งที่ 2 เข้าสู่แผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน และเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบในตำแหน่งที่ 3 น้ำจะออกจากระบบผลิตน้ำในตำแหน่งที่ 4 เป็นอุณหภูมิสูงสุดที่ระบบผลิตน้ำร้อนทำได้



รูปที่ 3.15 รูปแบบการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์และตำแหน่งอุปกรณ์แบบที่ 3

3.5.2.4 รูปแบบที่ 4 การจัดวางตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์จะคล้ายการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 3 แต่มีการปรับรูปแบบน้ำเข้าและออก การทดลองได้ปล่อยน้ำอุณหภูมิแวดล้อมเข้าสู่ตำแหน่งที่ 1 ผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ออกไปยังตำแหน่งที่ 2 เข้าสู่แผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนในตำแหน่งที่ 3 น้ำจะออกจากระบบผลิตน้ำในตำแหน่งที่ 4 เป็นอุณหภูมิสูงสุดที่ระบบผลิตน้ำร้อนทำได้



รูปที่ 3.16 รูปแบบการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์และตำแหน่งอุปกรณ์แบบที่ 4

3.5.2.5 ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple Type K) บริเวณน้ำเข้าและน้ำออก ของแผงรับรังสีอาทิตย์ในแต่ละจุด

3.5.2.6 ติดตั้งสายเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple Type K) เข้ากับเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูล (Data Logger)

3.5.2.7 ติดตั้งเครื่องวัดค่าการแผ่รังสีอาทิตย์ 2 จุด จุดที่ 1 บริเวณที่ใกล้กับแผงรับรังสีอาทิตย์ที่กำลังทดลอง และจุดที่ 2 บริเวณแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ติดตั้งระหว่างกลางของแผงสะท้อน

3.5.2.8 เติมน้ำเข้างถังที่ใช้ปล่อยน้ำเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ และเตรียมถังรับน้ำที่ออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์

3.5.3 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

3.5.3.1 เริ่มต้นการทดลองโดยปล่อยน้ำในอัตราการไหลคงที่ ในเวลา 09:00 น. และสิ้นสุดในเวลา 16:00 น.

3.5.3.2 บันทึกค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิน้ำเข้า-น้ำออกของแผงในแต่ละจุด

3.5.3.3 ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำตามเงื่อนไขในแต่ละกรณีศึกษา

3.5.3.4 เปลี่ยนรูปแบบการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์ และทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนดำเนินการทดลอง

3.5.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละแผงรวมถึงข้อมูลที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ นำมาคำนวณหาประสิทธิภาพในช่วงสภาวะคงตัวจากสมการ

$$\eta = \frac{m c_p (T_{out} - T_{in})}{A_c G_t} \quad (3.1)$$

โดย

η คือ ประสิทธิภาพของแผงหรือระบบรับรังสีอาทิตย์

m คือ อัตราการไหลเชิงมวลของไหล (kg/s)

c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล (kJ/kg°C)

T_{in} คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลเข้าสู่ตัวรับรังสีอาทิตย์ (°C)

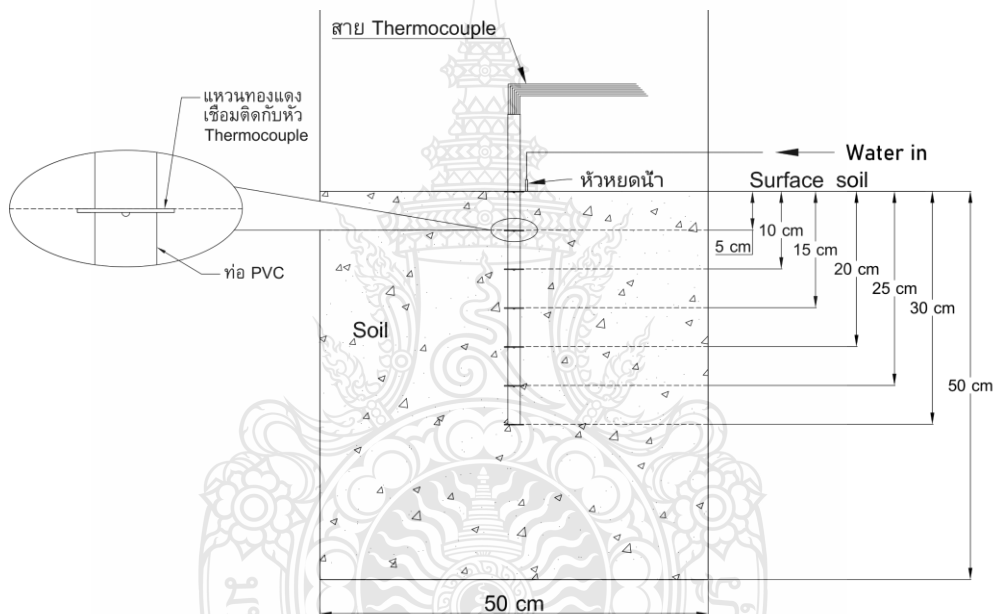
T_{out} คือ อุณหภูมิของไหลที่ไหลออกสู่ตัวรับรังสีอาทิตย์ (°C)

G_t คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m²)

A_c คือ พื้นที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ (m²)

3.6 การทดลองการถ่ายเทความร้อนดินเพาะกล้าไม้โดยใช้น้ำร้อนที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์

ในการทดลองการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้ โดยใช้ระบบการผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ที่สามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงที่สุดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับดิน โดยนำดินใส่ในกระบะให้มีปริมาตรดินขนาด $0.5 \times 0.5 \times 0.5 \text{ m}^3$ และทำการหยดน้ำร้อนที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์ จากนั้นทำการบันทึกอุณหภูมิดินทุกตำแหน่ง พร้อมทั้งอุณหภูมิแวดล้อมและค่าความชื้นของรังสีอาทิตย์ทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ติดต่อกัน ตำแหน่งของจุดหยดน้ำ และตำแหน่งวัดอุณหภูมิของดินโดยมองจากด้านข้าง แสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.17 ตำแหน่งการหยดน้ำและวัดอุณหภูมิดินเพาะกล้าไม้

3.7 การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้

3.7.1 การกระจายอุณหภูมิในดินเพาะกล้าไม้เมื่อมีการหยดน้ำและสถานะคงตัว

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง เมื่อหยดน้ำร้อนที่ได้จากระบบการทำน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิสูง ในอัตรา 16 ml/min ลงในดินเพาะกล้าไม้โดยมีการพิจารณาเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณดังนี้

1. สมมุติฐานในการคำนวณ

- การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและดินเพาะกล้าไม้เป็นการวิเคราะห์ใน 1 มิติ (ตามความลึกของดิน)
- ดินเพาะกล้าไม้ที่ใช้เป็นดินเนื้อเดียวกันหรือมีคุณสมบัติเหมือนกัน และอนุภาคของดินเพาะกล้าไม้ไม่มีการเคลื่อนตัว
- ค่าความจุความร้อน (Thermal Conductivity) ของดินเพาะกล้าไม้ไม่แปรผันตามอุณหภูมิ
- การถ่ายเทความร้อนและมีการไหลของน้ำอย่างสม่ำเสมอในแนวตั้งทิศทางเดียว
- น้ำไหลผ่านดินโดยไม่มีการดูดซึม และองค์ประกอบของดินด้านบนและด้านล่างมีความแตกต่างกันน้อยมาก รวมทั้งดินไม่มีค่าความร้อนแฝง และค่าความชื้นของดินเพาะกล้าไม้แต่ละระดับความลึกมีค่าคงที่
- ตัวแปรทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมอากาศมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการ
- ลักษณะการถ่ายเทความร้อนถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้ มีค่าการนำความร้อนเป็นหลักส่วนการพาและการแผ่รังสีความร้อนมีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคำนวณ

จากสมการ สามารถหาค่าการนำความร้อนในดินเพาะกล้าไม้ได้จาก

$$Q_s = \frac{k_s A (T_{HI} - T_{LOW})}{L} \quad (3.2)$$

โดย

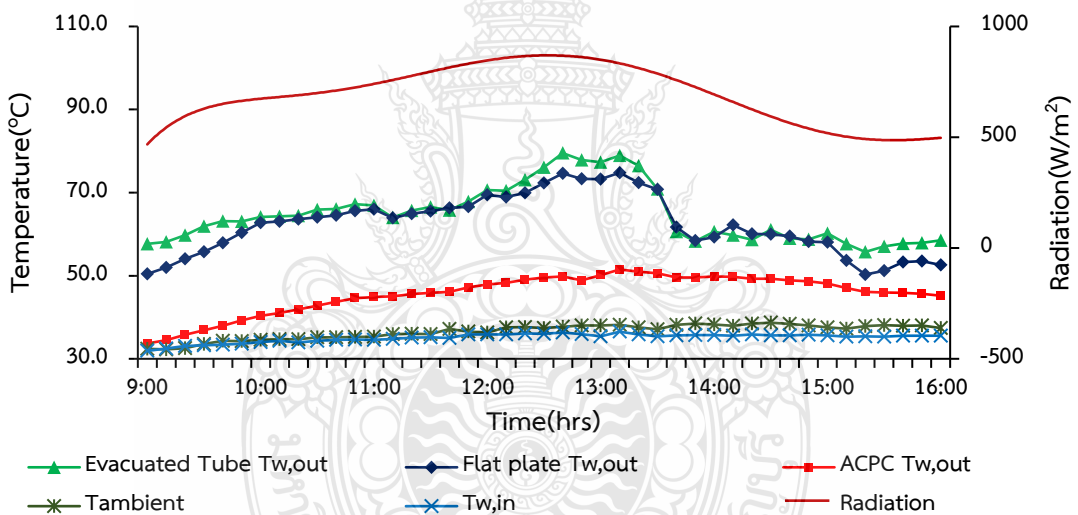
Q_s	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของดิน (W)
k_s	คือ สภาพการนำความร้อนของดิน (W/m.K)
A	คือ พื้นที่ของดินที่ได้รับความร้อน (m^2)
T_{HI}	คือ อุณหภูมิด้านที่สูง (K)
T_{LOW}	คือ อุณหภูมิด้านที่ต่ำ (K)
L	คือ ความลึกของดิน (m)

บทที่ 4

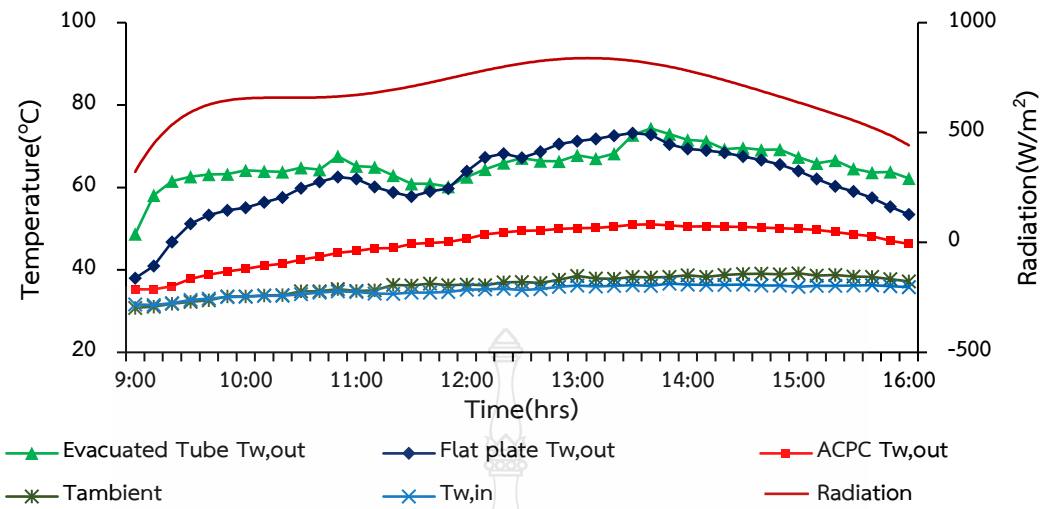
ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์

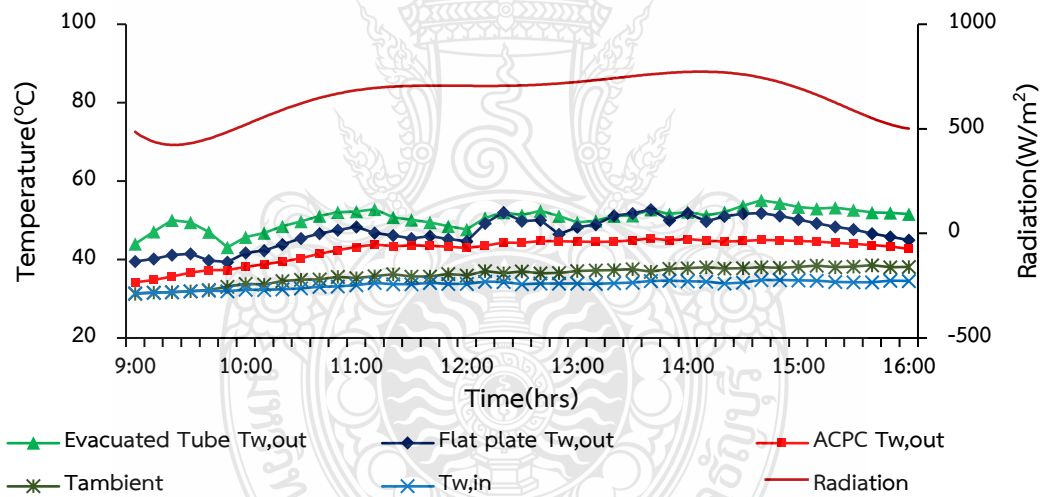
จากการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด โดยการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ หันไปทางทิศใต้ ทำการบันทึกอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกจากแผงแต่ละแผงรวมถึงค่ารังสีอาทิตย์ มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ 0.003 kg/s (0.2 litre/min) 0.004 kg/s (0.25 litre/min) 0.008 kg/s (0.5 litre/min) 0.0125 kg/s (0.75 litre/min) และ 0.017 kg/s (1 litre/min) เริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 09:00 น. - 16:00 น. ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



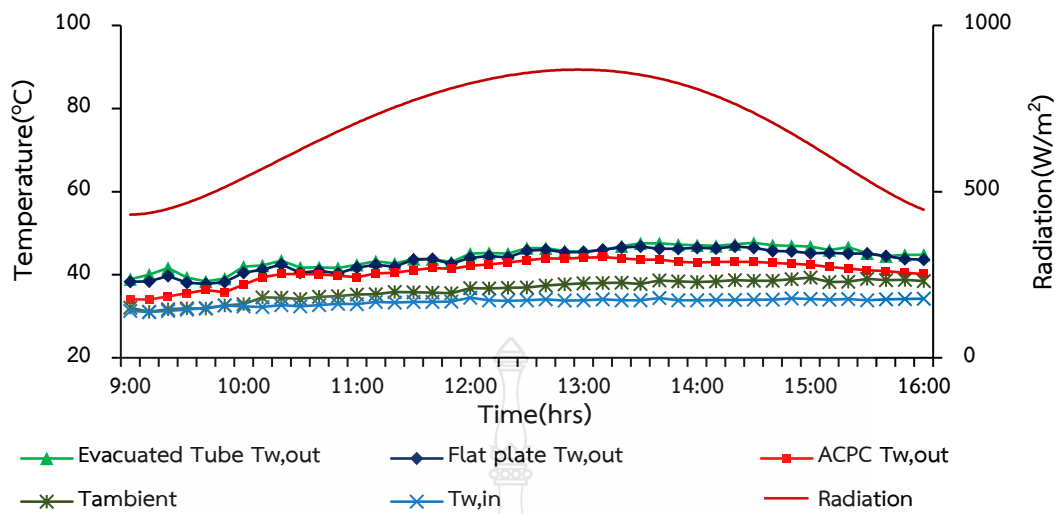
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราการไหล 0.003 kg/s



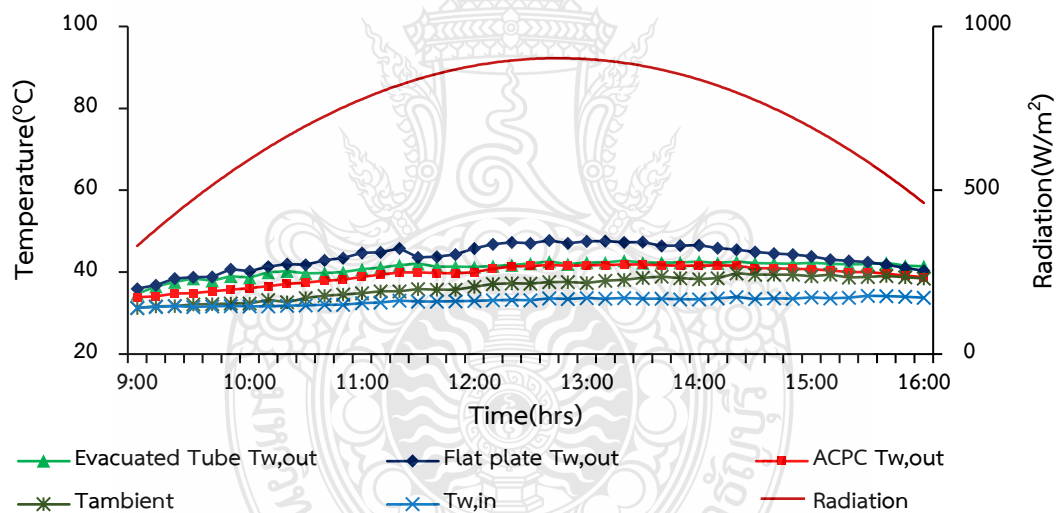
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s



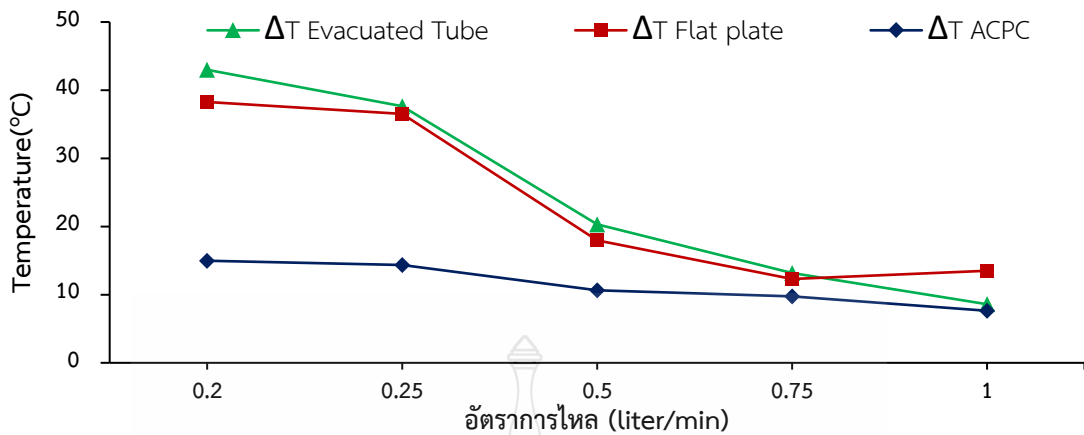
รูปที่ 4.3 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s

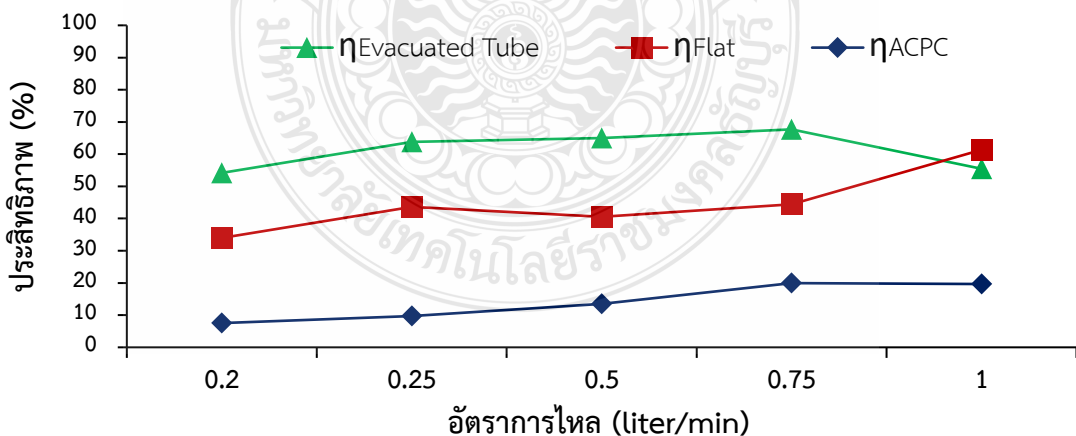


รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราการไหล 0.017 kg/s



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า - ออก ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

จากการทดลองหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ ทั้ง 3 แบบ จากรูปที่ 4.6 พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 0.003 kg/s (0.2 litre/min) มีความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกมากที่สุด โดยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน มีความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออก สูงสุดที่ 43 °C ตามด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออก สูงสุดที่ 38.3 °C และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) มีความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 15 °C ค่ารังสีอาทิตย์เท่ากับ 964 W/m² อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นอุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า - ออก ของแผงรับรังสีอาทิตย์จะลดลง

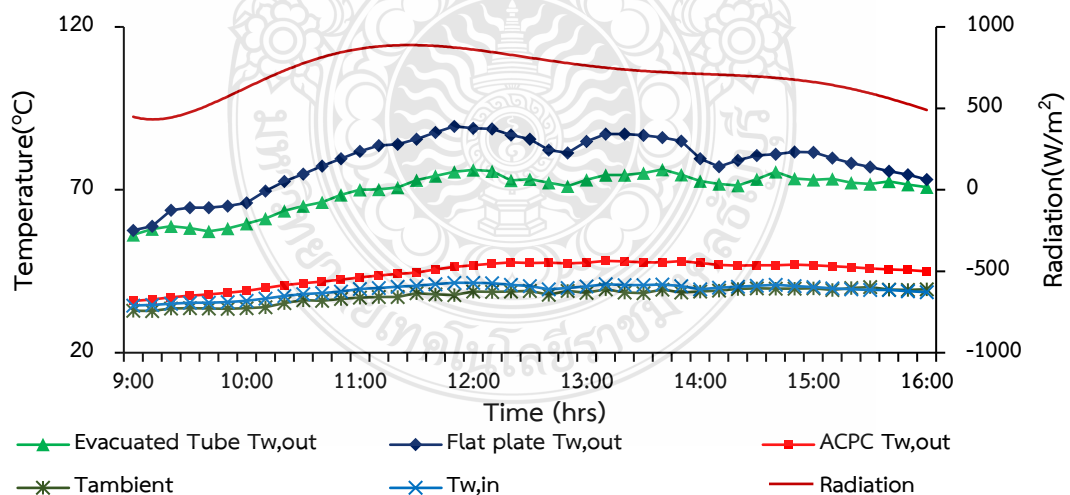


รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด

การทดลองหาประสิทธิภาพดังกล่าวจากรูปที่ 4.7 พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Heat Pipe Evacuated tube solar collector) มีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 67.7% ที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.0125 kg/s (0.75 liter/min) ตามด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collector) โดยมีประสิทธิภาพสูงสุด 61.34% ที่อัตราการไหล 0.017 kg/s (1 liter/min) ส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Compound Concentrator Solar Collector, ACPC) ให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุดทุกช่วงอัตราการไหล โดยมีประสิทธิภาพสูงสุด 19.94% ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s (0.75 liter/min)

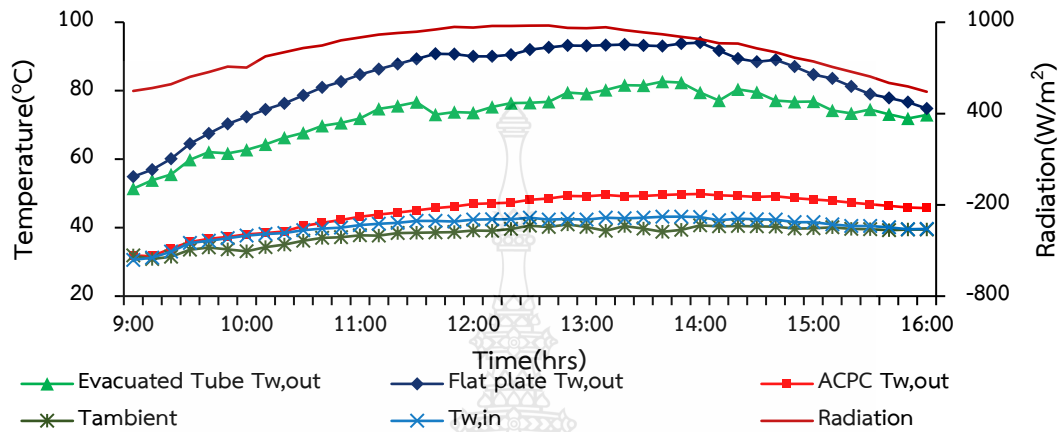
4.2 ผลการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 1

จากการพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมร่วมกันระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) แผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector) และ แผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Heat Pipe Evacuated tube solar collector) โดยการศึกษาลำดับการจذبของตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนดังกล่าว เริ่มจากรูปแบบที่ 1 นำแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละแบบมาต่ออนุกรมกัน โดยเริ่มจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ตามด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ตามรูปที่ 3.10 ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



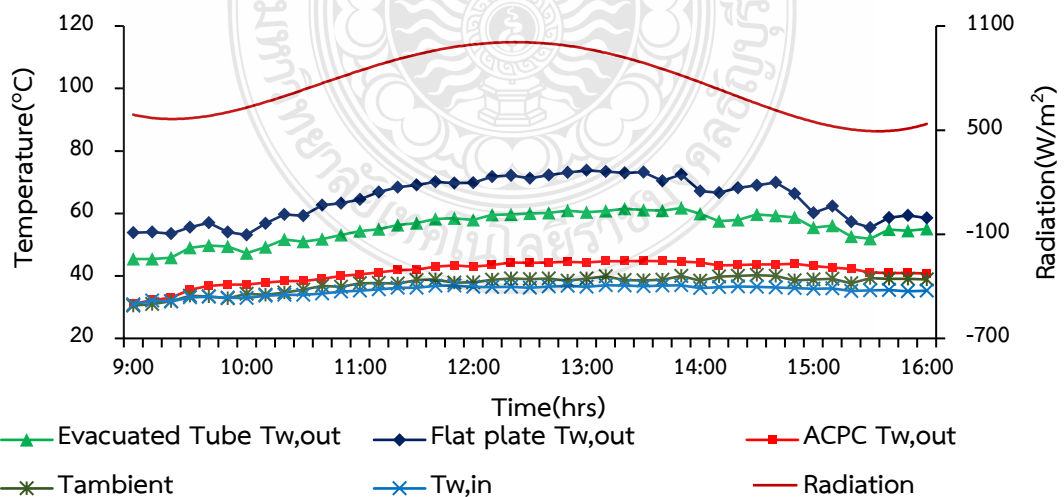
รูปที่ 4.8 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 1 ที่อัตราการไหล 0.003 kg/s

จากรูปที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 1 ที่อัตราการไหล 0.003 kg/s (0.2 liter/min) คือ 89.5 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 960 W/m² และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 41.5 °C ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกสูงสุดเท่ากับ 48 °C



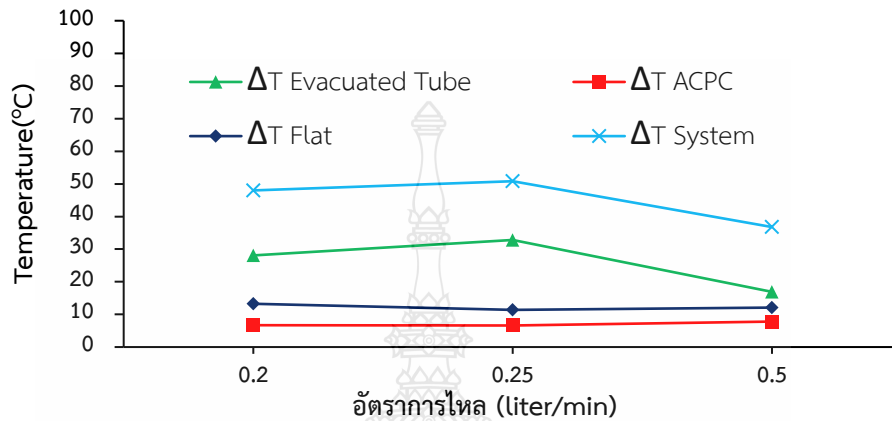
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 1 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s

จากรูปที่ 4.9 พบว่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 1 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s (0.25 liter/min) คือ 94 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 978 W/m² และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 43.2 °C ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกสูงสุดเท่ากับ 50.8 °C

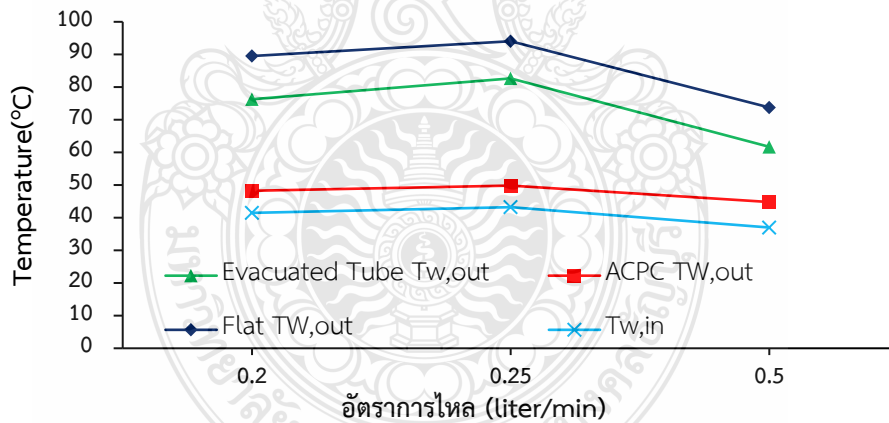


รูปที่ 4.10 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 1 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s

จากรูปที่ 4.10 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 1 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s (0.5 liter/min) คือ 73.7 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 1,012 W/m² และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 37 °C ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกสูงสุดเท่ากับ 36.7 °C



รูปที่ 4.11 อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า - ออก แต่ละแผงที่อัตราการไหลต่าง ๆ รูปแบบที่ 1



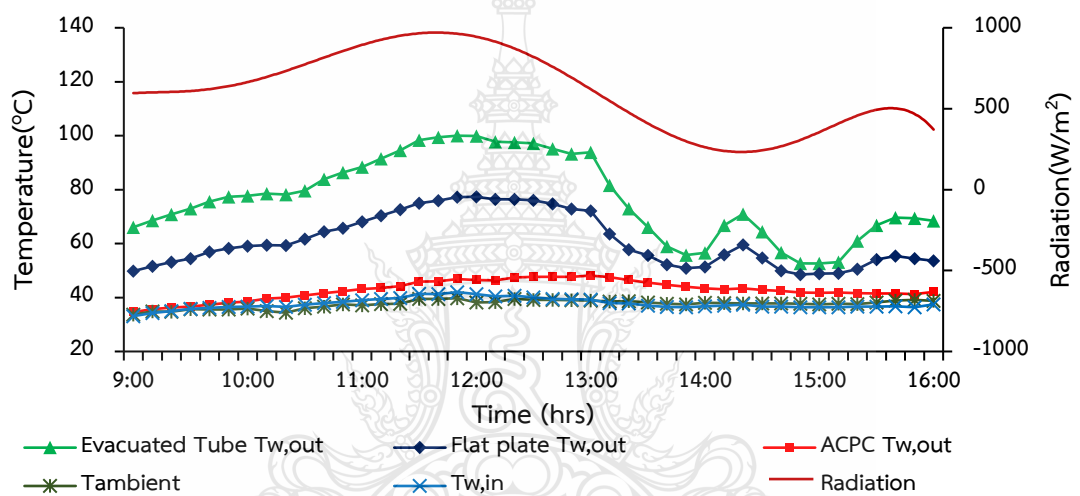
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิสูงสุดของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 1 ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

จากระบบผลิตน้ำร้อนที่มีการวางตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์ตามแบบที่ 1 ผลการทดลองตามรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 พบว่าอุณหภูมิน้ำที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนตามการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 1 อุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 94 °C ที่อัตราการ

ไหลของน้ำ 0.25 liter/min โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 978.4 W/m^2 และความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำเข้า - ออก เท่ากับ $50.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ทั้งนี้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้จะแปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์

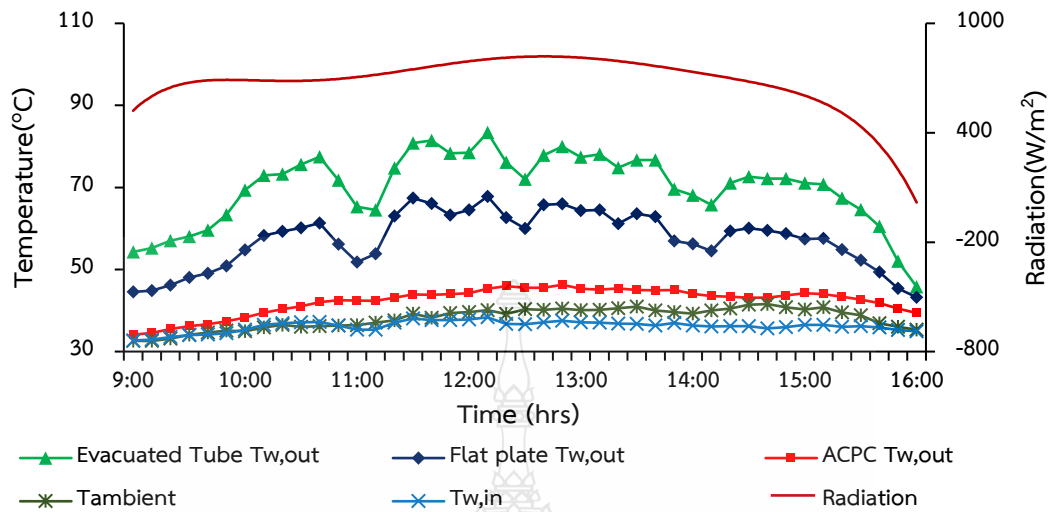
4.3 ผลการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 2

การทดลองระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกันรูปแบบที่ 2 โดยเริ่มจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ตามด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน ตามรูปที่ 3.11 ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



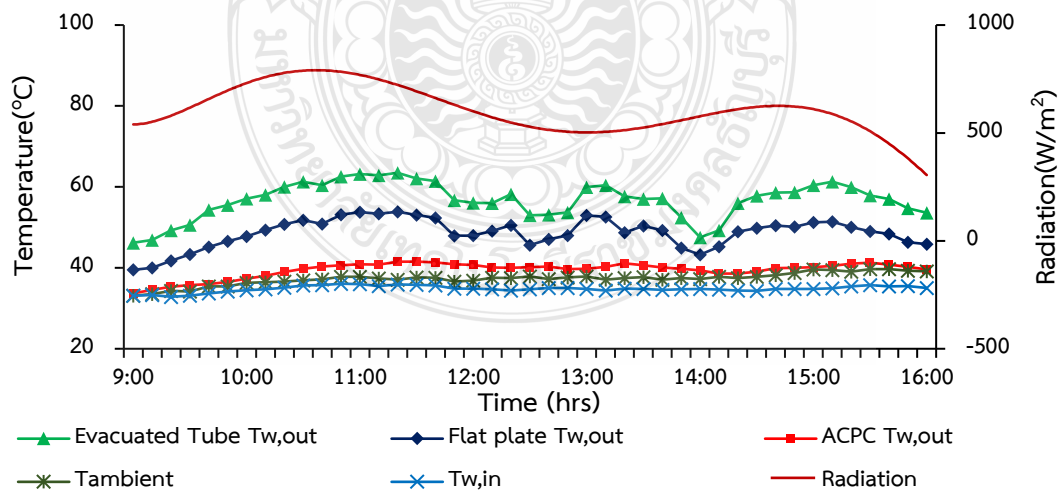
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 2 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s

จากรูปที่ 4.13 พบว่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 2 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s (0.25 liter/min) คือ $100 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 978 W/m^2 และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ $42 \text{ }^\circ\text{C}$ ส่งผลให้ระบบผลิตน้ำร้อนดังกล่าวมีผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกสูงสุดคือ $58 \text{ }^\circ\text{C}$ การทดลองระบบผลิตน้ำร้อนในรูปแบบที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำที่เข้าระบบน้อยสุดที่ 0.004 kg/s (0.25 liter/min) ซึ่งแตกต่างจากการทดลองระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 1 ที่ใช้อัตราการไหลของน้ำน้อยสุดที่ 0.003 kg/s (0.2 liter/min) เนื่องการทดลองระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 2 ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.004 kg/s (0.25 liter/min) น้ำที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิสูงที่ $100 \text{ }^\circ\text{C}$ หากใช้อัตราการไหลของน้ำที่น้อยกว่านี้จะทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ และไม่สามารถนำไปใช้หยดลงดินเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินต่อได้ ดังนั้นจึงเลือกอัตราการไหลต่ำสุดที่ 0.004 kg/s (0.25 litre/min)



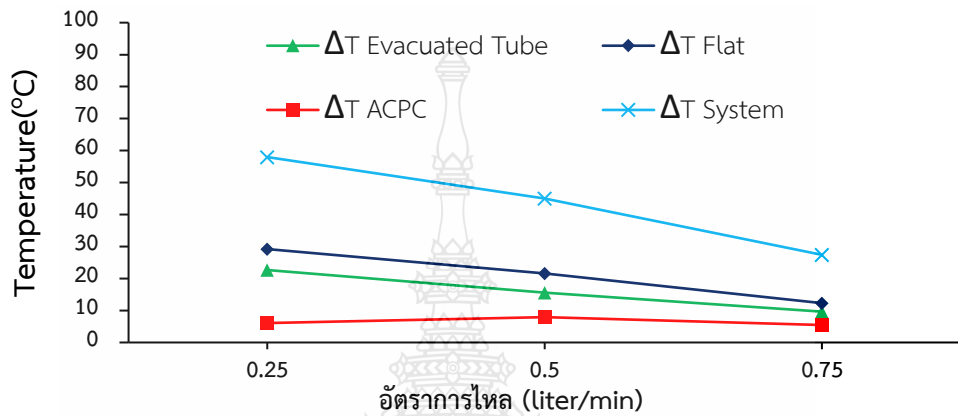
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 2 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s

จากรูปที่ 4.14 พบว่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 2 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s (0.5 liter/min) คือ 83.4 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 969 W/m² และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 38.3 °C ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกจากระบบสูงสุดเท่ากับ 45.1 °C

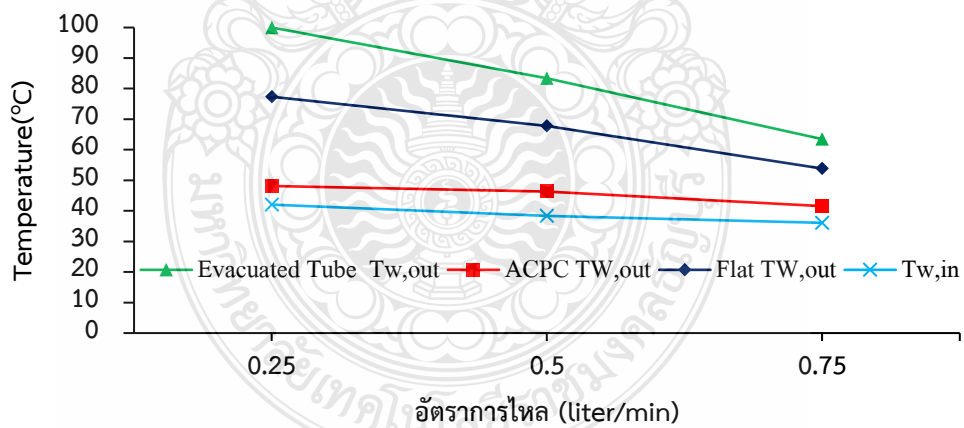


รูปที่ 4.15 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 2 ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s

จากรูปที่ 4.15 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 2 ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s (0.75 liter/min) คือ 63.5 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 876 W/m² และอุณหภูมิสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 36 °C ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกจากระบบสูงสุดคือ 27.5 °C



รูปที่ 4.16 อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า - ออก แต่ละแผงที่อัตราการไหลต่าง ๆ รูปแบบที่ 2



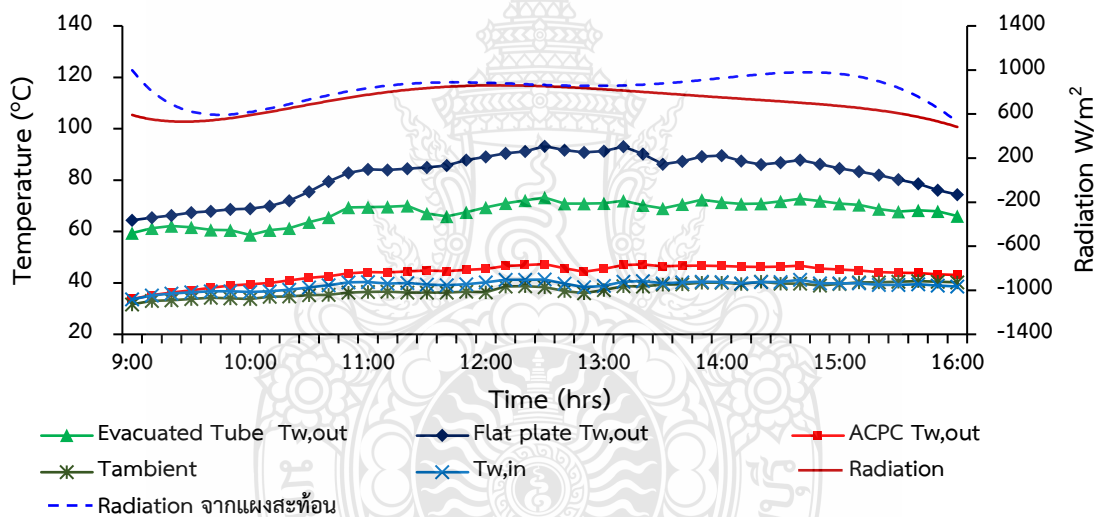
รูปที่ 4.17 อุณหภูมิสูงสุดของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 2 ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

จากระบบผลิตน้ำร้อนที่มีการวางตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์ตามแบบที่ 2 ผลการทดลองตามรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 พบว่าอุณหภูมิน้ำที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนตามการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 2 อุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 100 °C ที่อัตราการ

ไหลของน้ำ 0.25 liter/min โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 978 W/m^2 และความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออก เท่ากับ $58 \text{ }^\circ\text{C}$

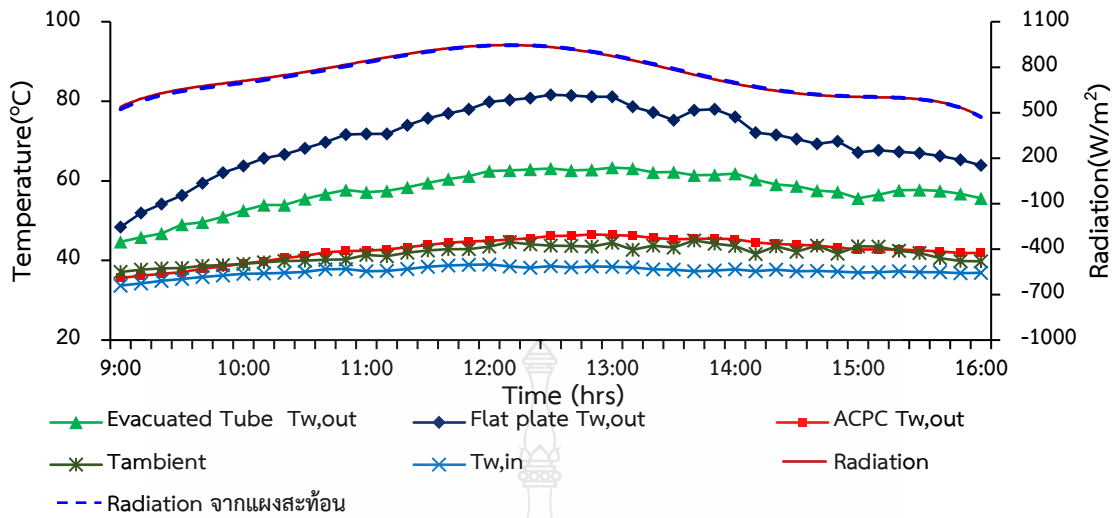
4.4 ผลการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 3

การทดลองระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกันรูปแบบที่ 3 การจัดวางตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์จะคล้ายการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 1 โดยเริ่มจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ตามด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน ต่อด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบซึ่งวางอยู่ตรงกลางระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) และแผงสะท้อนเล็ก เพื่อสะท้อนรังสีอาทิตย์กลับไปยังแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบอีกครั้งตามรูปที่ 3.12 ได้ผลการทดลองดังนี้



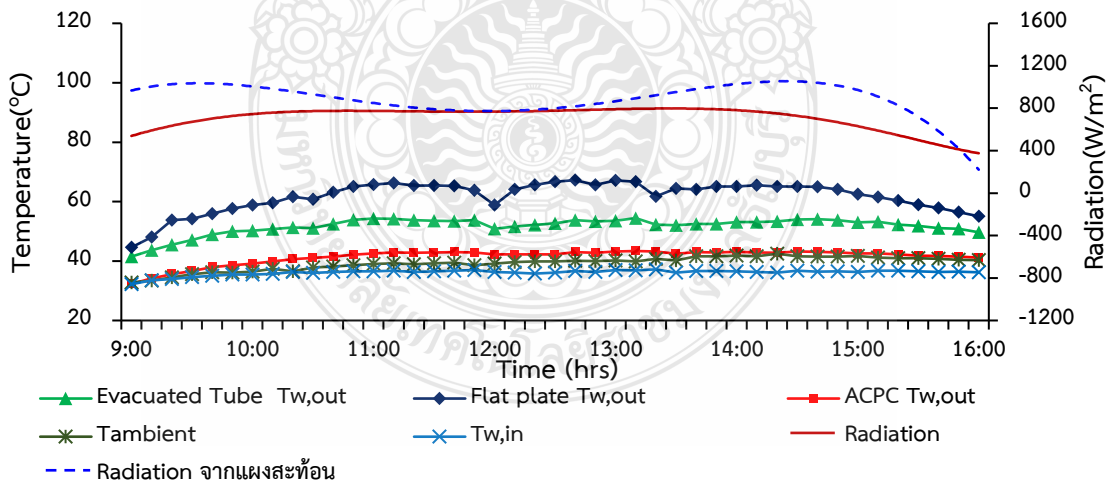
รูปที่ 4.18 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 3 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s

จากรูปที่ 4.18 พบว่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 3 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s (0.25 liter/min) คือ $93.2 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 951 W/m^2 บริเวณที่ติดตั้งแผงสะท้อนมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด $1,180 \text{ W/m}^2$ และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ $41.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกจากระบบสูงสุดคือ $51.9 \text{ }^\circ\text{C}$



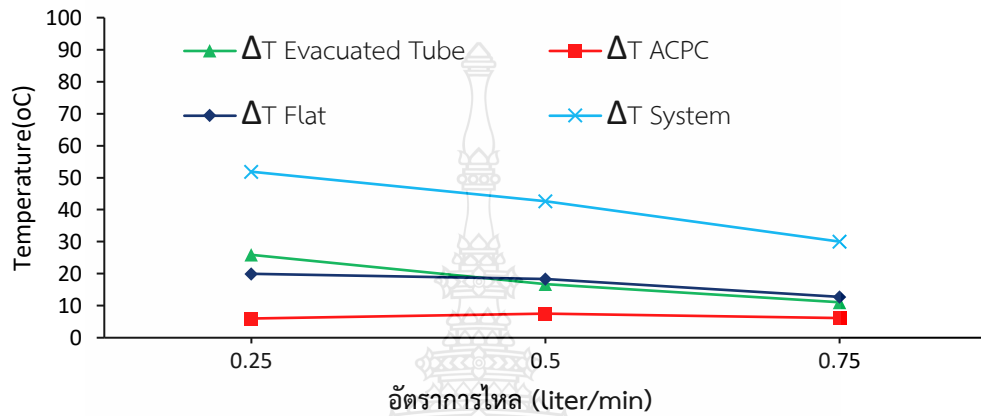
รูปที่ 4.19 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 3 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s

จากรูปที่ 4.19 พบว่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 3 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s (0.5 liter/min) คือ 81.6 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 952 W/m² บริเวณที่ติดตั้งแผงสะท้อนมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 957 W/m² และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 39 °C ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกจากระบบสูงสุดคือ 42.6 °C

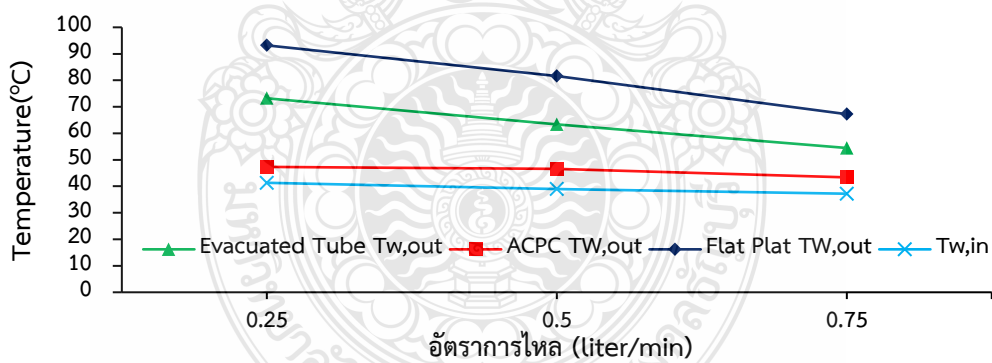


รูปที่ 4.20 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 3 ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s

จากรูปที่ 4.20 พบว่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 3 ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s (0.75 liter/min) คือ 67.2 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 918 W/m² บริเวณที่ติดตั้งแผงสะท้อนมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 1,574 W/m² และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 37.2 °C ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกจากระบบสูงสุดคือ 30 °C



รูปที่ 4.21 อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า - ออก แต่ละแผงที่อัตราการไหลต่าง ๆ รูปแบบที่ 3



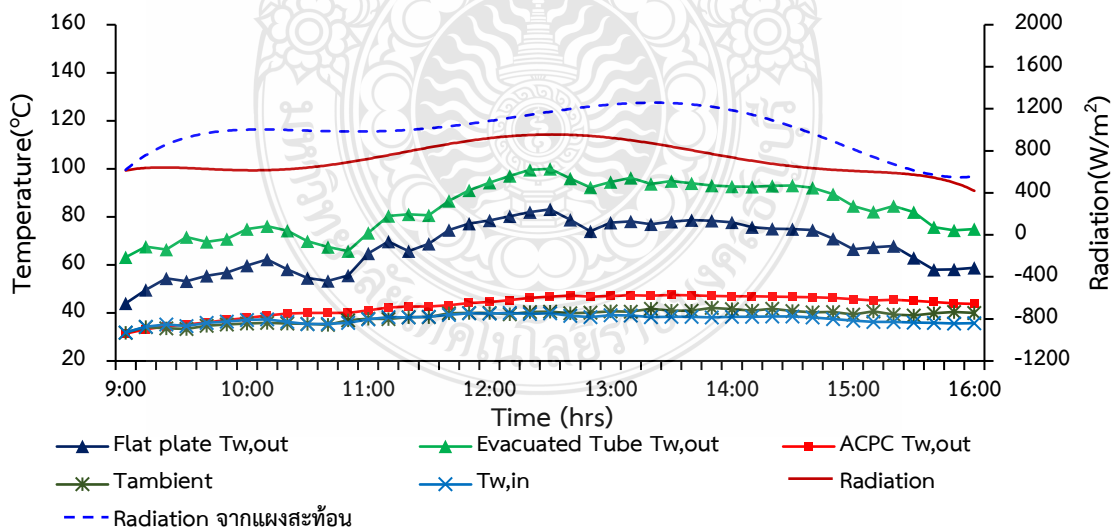
รูปที่ 4.22 อุณหภูมิน้ำสูงสุดของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 3 ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

จากระบบทำน้ำร้อนที่มีการวางตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์ตามแบบที่ 3 โดยเพิ่มแผงสะท้อนเล็ก ผลการทดลองตามรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 พบว่าอุณหภูมิน้ำที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนตามการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 3 อุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่อัตราการไหลที่น้อยที่สุดคือ 0.004 kg/s (0.25 liter/min) ที่อัตราการไหลดังกล่าว น้ำอุณหภูมิแวดล้อมไหลเข้าสู่ระบบ อุณหภูมิ

น้ำสูงสุดที่ออกจากแผง ACPC คือ 47.3 °C จากนั้นน้ำเข้าไปยังตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ ชนิดท่อความร้อน อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 73.2 °C และไปเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผงรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) แผงใหญ่ และแผงสะท้อนเล็ก เพื่อรับรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากทั้ง 2 แผง ทำให้ปริมาณรังสีที่ตกกระทบกับแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีมากขึ้น เพิ่มอุณหภูมิน้ำที่ไหลอยู่ภายในแผง น้ำอุณหภูมิสูงสุดที่ออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบคือ 93.2 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 951 W/m² บริเวณที่ติดตั้งแผงสะท้อนมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 1,180 W/m² และความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำเข้า-ออก เท่ากับ 51.9 °C อัตราการไหลที่มากขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิน้ำที่ได้อลดลง

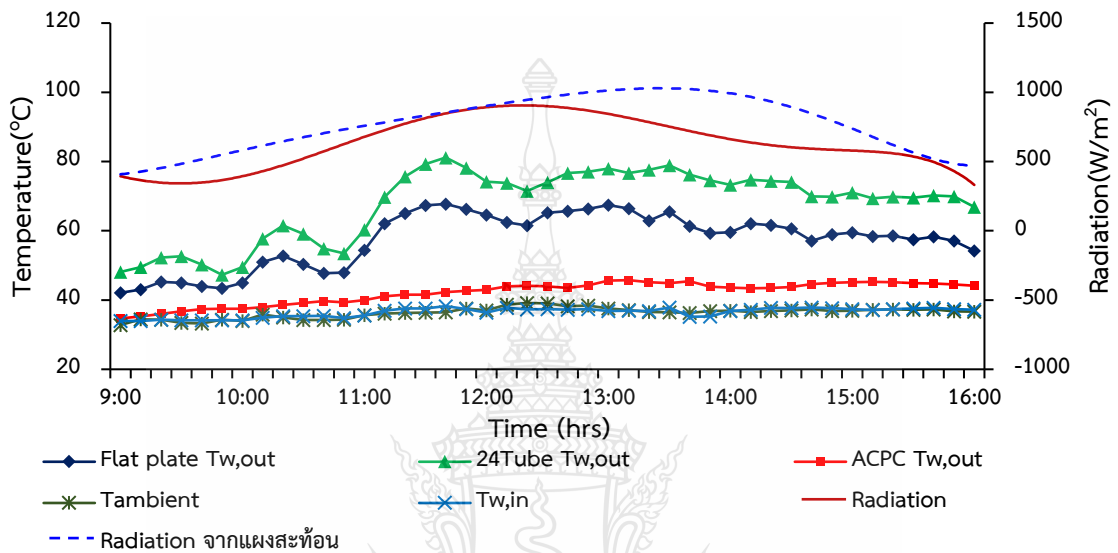
4.5 ผลการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 4

การทดลองระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกันรูปแบบที่ 4 การจัดวางตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์จะคล้ายการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 3 โดยเริ่มจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ตามด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบซึ่งวางอยู่ตรงกลางระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) แผงใหญ่และแผงสะท้อนเล็กขนาด 2.4 x 0.5 m² น้ำที่ออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบนำไปเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ชนิดท่อความร้อน ตามรูปที่ 3.13 ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



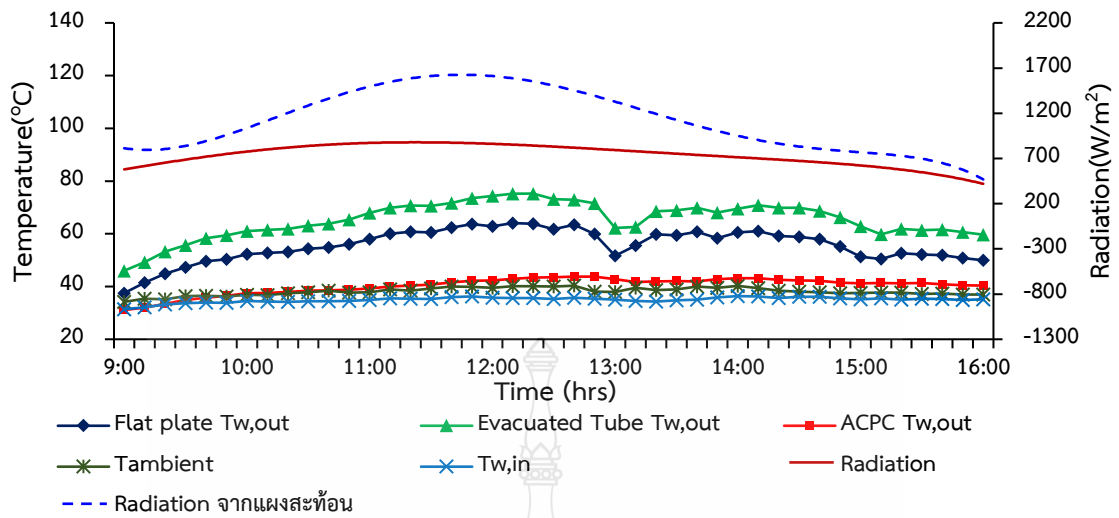
รูปที่ 4.23 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 4 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s

จากรูปที่ 4.23 พบว่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 4 ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s (0.25 liter/min) คือ 100 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 991 W/m² บริเวณที่ติดตั้งแผงสะท้อนมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 1,975 W/m² และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 40 °C ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกจากระบบสูงสุดคือ 60 °C



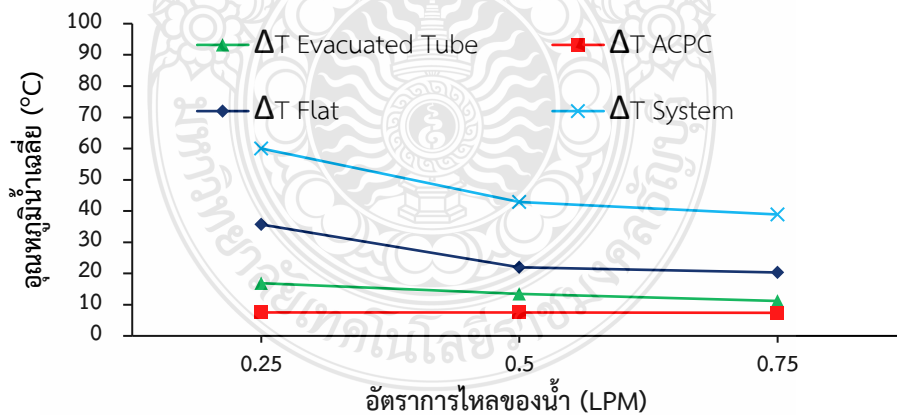
รูปที่ 4.24 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 4 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s

จากรูปที่ 4.24 พบว่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 4 ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s (0.5 liter/min) คือ 81.2 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 966 W/m² บริเวณที่ติดตั้งแผงสะท้อนมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 1,472 W/m² และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 38.3 °C ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกจากระบบสูงสุดคือ 42.9 °C

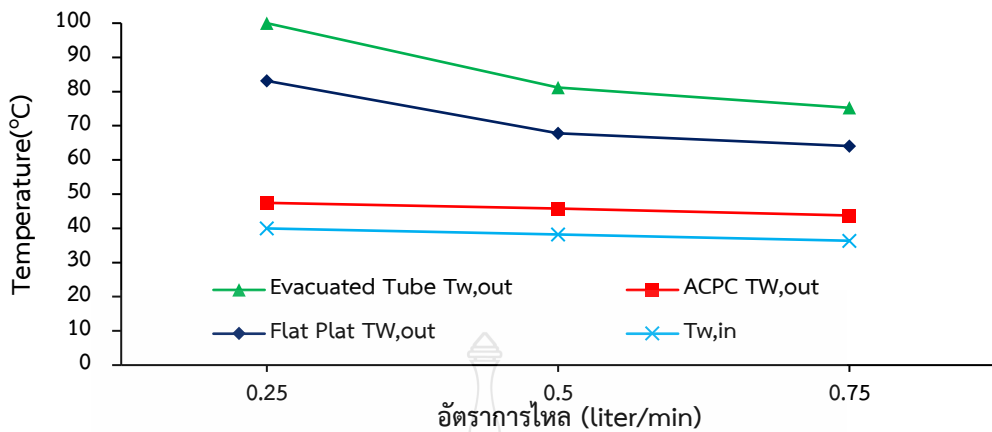


รูปที่ 4.25 อุณหภูมิของน้ำเข้าและออกของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 4 ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s

จากรูปที่ 4.25 พบว่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 4 ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s (0.75 liter/min) คือ 75.3 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 952 W/m² บริเวณที่ติดตั้งแผงสะท้อนมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 2,060 W/m² และอุณหภูมิน้ำสูงสุดที่เข้าสู่ระบบผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 36.4 °C ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า - ออกจากระบบสูงสุดคือ 38.9 °C



รูปที่ 4.26 อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า - ออก แต่ละแผงที่อัตราการไหลต่าง ๆ รูปแบบที่ 4

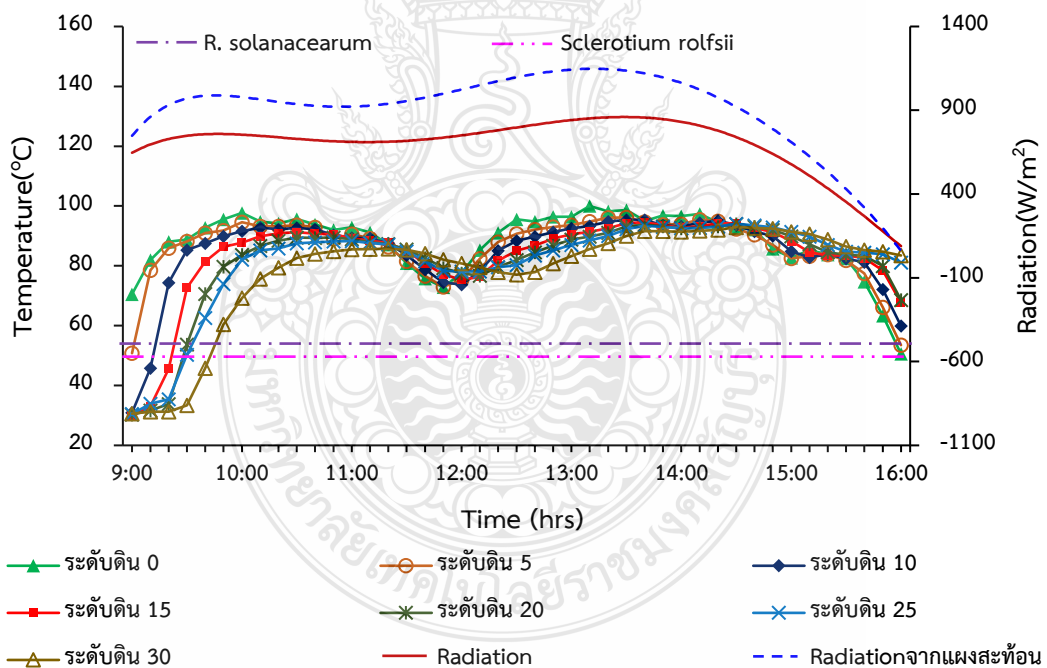


รูปที่ 4.27 อุณหภูมิน้ำสูงสุดของระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 4 ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

จากระบบทำน้ำร้อนที่มีการวางตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์ตามแบบที่ 4 โดยเพิ่มแผงสะท้อนเล็ก ผลการทดลองตามรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.27 พบว่าอุณหภูมิน้ำที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนตามการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 4 อุณหภูมิสูงสุดของน้ำจะได้จากอัตราการไหลที่น้อยที่สุดคือ 0.004 kg/s (0.25 liter/min) ที่อัตราการไหลดังกล่าว น้ำอุณหภูมิแวดล้อมไหลเข้าสู่ระบบอุณหภูมิสูงสุดที่ออกจากแผง ACPC คือ 47.5 °C จากนั้นน้ำเข้าไปยังแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่อยู่กลางระหว่างแผง ACPC และแผงสะท้อนเล็ก เพื่อรับรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากทั้ง 2 แผง ปริมาณรังสีที่ตกกระทบกับแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีมากขึ้นเป็นผลให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำที่ไหลอยู่ภายในแผง น้ำอุณหภูมิสูงสุดที่ออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบคือ 83.1 °C และไปเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 100 °C โดยมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 991 W/m² บริเวณที่ติดตั้งแผงสะท้อนมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 1,975 W/m² และความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำเข้า-ออก เท่ากับ 60 °C ที่เมื่ออัตราการไหลของน้ำมากขึ้นทำให้อุณหภูมิน้ำที่ได้มีค่าลดลง

4.6 ผลการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้โดยใช้น้ำร้อนที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อน

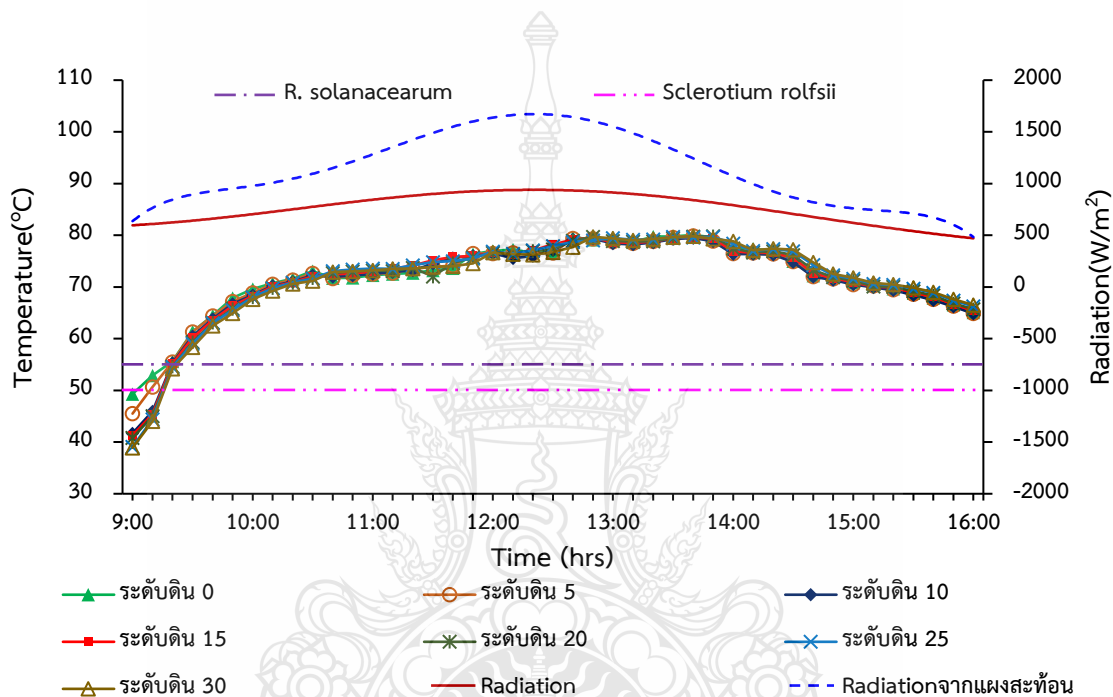
จากการทดลองระบบผลิตน้ำร้อน โดยนำตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Compound parabolic concentrator, ACPC) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Heat Pipe Evacuated tube solar collector) และตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Reflector) ต่อรวมกันและจัดวางตำแหน่งแฉงตามรูปแบบต่าง ๆ 4 รูปแบบ เพื่อสร้างระบบผลิตน้ำร้อน ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์พบว่า ระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 4 สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด จึงนำระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบดังกล่าวมาผลิตน้ำร้อนและนำไปหยดลงในดินเพาะกล้าไม้ เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนของดินเพาะกล้าไม้ใน 1 มิติ ตามความลึกไม่เกิน 30 cm. โดยน้ำที่หยดลงดินมีอัตราการไหล 0.004 kg/s (0.25 liter/min) 0.008 kg/s (0.5 liter/min) และ 0.0125 kg/s (0.75 liter/min) ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.28 อุณหภูมิของของดินเพาะกล้าไม้ตามความลึกระดับต่าง ๆ ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s

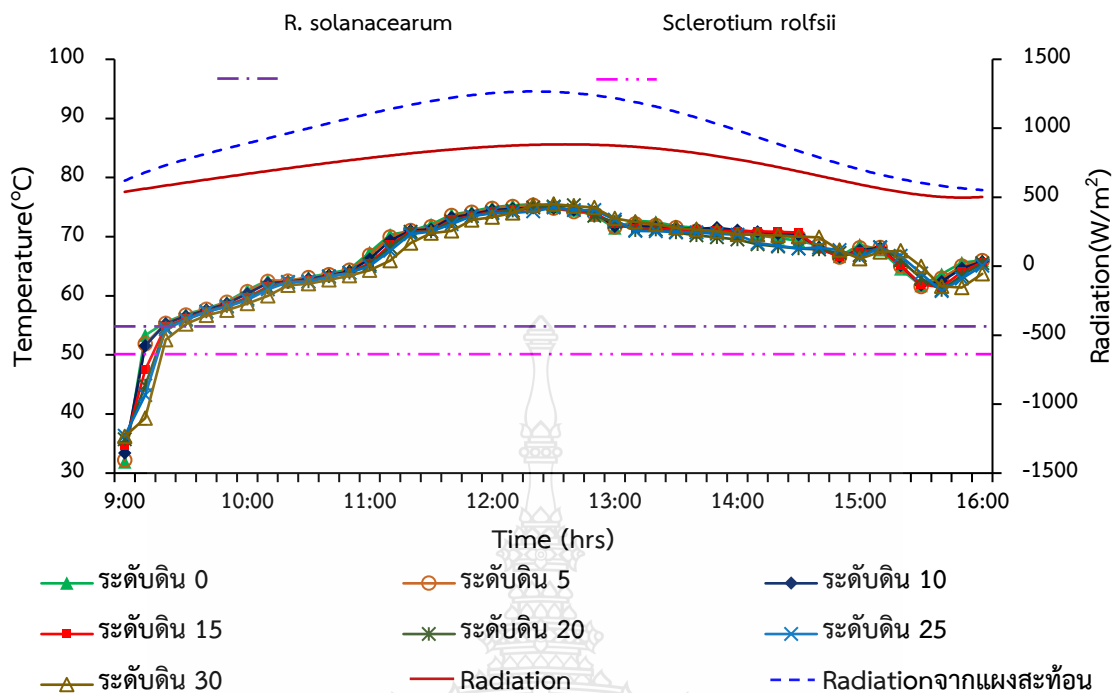
จากรูปที่ 4.28 เมื่อทำการหยดน้ำที่อัตราการไหล 0.004 kg/s (0.25 liter/min) พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิให้กับดินเพาะกล้าไม้และสามารถใช้กำจัดเชื้อ *Ralstonia solanacearum* ที่มีชีวิต

อยู่ได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 55 °C โดยช่วงเริ่มหยดน้ำดินจะมีอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณผิวดินอุณหภูมิจะลดลงตามความลึกของดินและอุณหภูมิของดินที่ความลึกต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิของดินสูงสุดที่ระดับผิวดินเท่ากับ 100 °C ที่ระดับความลึก 5 cm เท่ากับ 96.2 °C ที่ระดับความลึก 10 cm เท่ากับ 95.4 °C ที่ระดับความลึก 15 cm เท่ากับ 94.5 °C ที่ระดับความลึก 20 cm เท่ากับ 94 °C ที่ระดับความลึก 25 cm เท่ากับ 94 °C และที่ระดับความลึก 30 cm เท่ากับ 92 °C



รูปที่ 4.29 อุณหภูมิของของดินเพาะกล้าไม้ตามความลึกระดับต่าง ๆ ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s

จากรูปที่ 4.29 เมื่อทำการหยดน้ำที่อัตราการไหล 0.008 kg/s (0.5 liter/min) พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิให้กับดินเพาะกล้าไม้และอุณหภูมิดินมีค่าสูงกว่าที่เชื้อ *Ralstonia solanacearum* และ *Sclerotium rolfsii* จะใช้ชีวิตอยู่ได้ โดยช่วงเริ่มหยดน้ำดินจะมีอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณผิวดินอุณหภูมิจะลดลงตามความลึกของดินและอุณหภูมิของดินที่ความลึกต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที อุณหภูมิของดินสูงสุดที่ระดับผิวดินเท่ากับ 80.1 °C ที่ระดับความลึก 5 cm เท่ากับ 79.9 °C ที่ระดับความลึก 10 cm เท่ากับ 79.5 °C ที่ระดับความลึก 15 cm เท่ากับ 79.6 °C ที่ระดับความลึก 20 cm เท่ากับ 79.8 °C ที่ระดับความลึก 25 cm เท่ากับ 79.7 °C และที่ระดับความลึก 30 cm เท่ากับ 79.8 °C

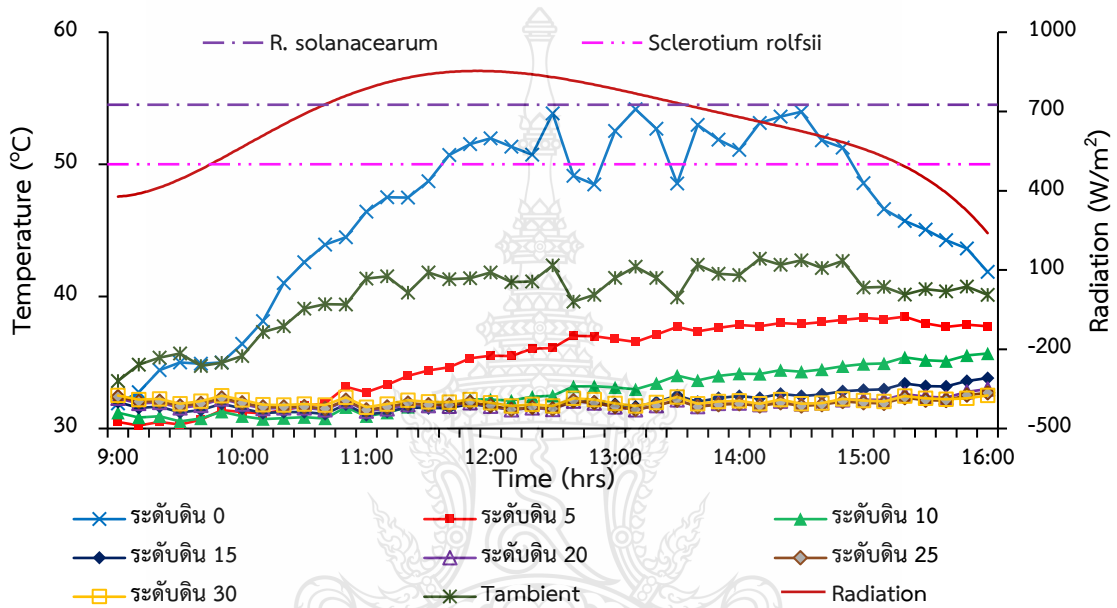


รูปที่ 4.30 อุณหภูมิของของดินเพาะกล้าไม้ตามความลึกระดับต่าง ๆ ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s

จากรูปที่ 4.30 เมื่อทำการหยดน้ำที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s (0.75 liter/min) พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิให้กับดินเพาะกล้าไม้ที่ระดับความลึก 0-30 cm และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia solanacearum* และ *Sclerotium rolfsii* ได้ โดยช่วงเริ่มหยดน้ำดินจะมีอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณผิวดินอุณหภูมิจะลดลงตามความลึกของดินและอุณหภูมิของดินที่ความลึกต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 20 นาที อุณหภูมิของดินสูงสุดที่ระดับผิวดินเท่ากับ 75.5 °C ที่ระดับความลึก 5 cm เท่ากับ 75.3 °C ที่ระดับความลึก 10 cm เท่ากับ 75.1 °C ที่ระดับความลึก 15 cm เท่ากับ 74.9 °C ที่ระดับความลึก 20 cm เท่ากับ 74.7 °C ที่ระดับความลึก 25 cm เท่ากับ 74.5 °C และที่ระดับความลึก 30 cm เท่ากับ 74.1 °C

4.7 ผลการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้โดยไม่หยดน้ำร้อน

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออุณหภูมิของดินในสภาวะปกติ คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากรังสีอาทิตย์ โดยดินจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในรูปของพลังงานความร้อนทำให้ผิวดินมีอุณหภูมิสูงและถ่ายเทความร้อนลงสู่ดินตามระดับความลึก การศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินที่ได้รับรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลา 9:00-16:00 ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.31 อุณหภูมิของดินเพาะกล้าไม้ที่ไม่มีการหยดน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.31 เมื่อดินได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ และส่งถ่ายความร้อนภายในดิน อุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณผิวดินเท่ากับ 54.1 °C ที่ระดับความลึก 5 cm อุณหภูมิสูงสุด 38.5 °C ที่ระดับความลึก 10 cm อุณหภูมิสูงสุด 35.7 °C ที่ระดับความลึก 15 cm อุณหภูมิสูงสุด 33.8 °C ที่ระดับความลึก 20 cm อุณหภูมิสูงสุด 33 °C ที่ระดับความลึก 25 cm อุณหภูมิสูงสุด 32.7 °C และที่ระดับความลึก 30 cm อุณหภูมิสูงสุด 32.5 °C จากผลการทดลองพบว่าความร้อนที่ได้รับรังสีอาทิตย์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกสูงสุดไม่เกิน 15 cm เนื่องจากดินมีคุณสมบัติเป็นฉนวน ค่าการนำความร้อนต่ำส่งผลทำให้การถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี และอุณหภูมิของดินที่เพิ่มขึ้นไม่เพียงพอต่อการกำจัดเชื้อ *Ralstonia solanacearum* อุณหภูมิบริเวณผิวดินสามารถหยุดการเจริญเติบโตของเชื้อ *Sclerotium rolfsii* ที่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 50 °C แต่ที่ระดับความลึกของดินต่ำกว่า 15 cm ไม่สามารถหยุดการเจริญเติบโตของเชื้อดังกล่าวได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินเพาะกล้าไม้ โดยใช้น้ำร้อนที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อน โดยเริ่มการศึกษาจากการทดสอบแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ หลังจากนั้นศึกษารูปแบบการวางตำแหน่งแผงรับรังสีอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อน และนำความร้อนที่ได้หยดลงดินเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินตามความลึกของดินใน 1 เมตร โดยได้สรุปผลการวิจัยดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์พบว่าแผงรับรังสีอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ แผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Evacuated tube heat pipe solar collector) ประสิทธิภาพสูงสุด 79.45% ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s (0.5 liter/min) ตามด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collector) โดยมีประสิทธิภาพสูงสุด 72.25% ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s (0.75 liter/min) และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Compound Concentrator Solar Collector, ACPC) ให้ประสิทธิภาพต่ำ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุด 21.53% ที่อัตราการไหล 0.017 kg/s (1 liter/min) จากผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปตามงานวิจัยที่ได้ศึกษาไว้ก่อนหน้านี้

5.1.2 ผลการทดลองรูปแบบการวางแผงรับรังสีอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อน

เพื่อให้ได้น้ำที่ออกจากระบบผลิตน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงที่สุดโดยการจัดวางเรียงลำดับตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์ และนำมาต่ออนุกรมกันเพื่อสร้างเป็นระบบผลิตน้ำร้อน พบว่าการจัดวางแผงรับรังสีอาทิตย์ตามรูปแบบที่ 4 สามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงสุด น้ำร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิสูงถึง 100 °C ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s (0.25 liter/min) ที่ค่ารังสีอาทิตย์ 991 W/m² และรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งแผงสะท้อนร่วมด้วยมีค่ารังสี 1,975 W/m² โดยรูปแบบการวางแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกัน จะเริ่มจาก แผงรับรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Compound Concentrator Solar Collector, ACPC) ตามด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collector) ซึ่งวางอยู่ตรงกลางระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรวบรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC) แผงใหญ่และแผงสะท้อนเล็ก เพื่อเพิ่มปริมาณรังสีอาทิตย์และแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Evacuated tube heat pipe solar collector) ติดตั้งร่วมด้วยเป็นแผงสุดท้าย ซึ่งลำดับของแผงจะเรียงกันตามประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์จากน้อยไปหามาก

5.1.3 ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนในดิน

จากผลการทดลองในสภาวะปกติที่ดินได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ โดยไม่มีการหยดน้ำให้กับดิน ความร้อนจะไม่สามารถถ่ายเทให้กับดินที่ระดับความลึกเกิน 15 cm ทำให้ดินที่มีความลึกเกิน 15 cm อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก อุณหภูมิสูงสุดของดินที่ได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์จะอยู่บริเวณผิวดิน มีค่าสูงสุด 54.1 °C และในช่วงระดับความลึก 15 - 30 cm อุณหภูมิใกล้เคียงกันที่ 33 - 34 °C ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด 942 W/m² การถ่ายเทความร้อนจากผิวดินลงไปยังระดับความลึกต่าง ๆ เป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน ดินยังมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำมีความเป็นฉนวนสูง จึงเป็นข้อจำกัดสำหรับการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์เพียงอย่างเดียวอาจยังไม่เพียงพอต่อการกำจัดเชื้อในดิน การหยดน้ำลงดินจึงเป็นวิธีเพิ่มความสามารถการถ่ายเทความร้อนในดินให้มากขึ้น จากผลการทดลองการหยดน้ำลงดินโดยใช้น้ำอุณหภูมิสูงที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อน พบว่าการหยดน้ำลงดินที่มีอัตราการไหลมาก จะทำให้ดินที่ระดับความลึก 0 - 30 cm มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับน้ำที่หยดได้เร็ว แต่อุณหภูมิของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนจะต่ำ เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนที่ลดลง ในขณะเดียวกันน้ำที่อัตราการไหลต่ำจะให้อุณหภูมิสูงทั้งอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนและอุณหภูมิดิน แต่จะส่งผลต่อเวลาในการหยดมากขึ้นที่จะทำให้ดินที่ระดับความลึก 0 - 30 cm มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ดินเพาะกล้าไม่มีลักษณะเป็นวัสดุพรุนจึงทำให้การหยดน้ำสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลตามความพรุนของดินในทิศทางตามแรงโน้มถ่วงของโลกพร้อมกับการถ่ายโอนความร้อนให้กับดิน ซึ่งลักษณะดังกล่าวการเป็นรูปแบบการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อน การหยดน้ำที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนลงดินสามารถทำให้ดินที่ระดับความลึก 0 - 30 cm มีอุณหภูมิสูงขึ้นมากพอต่อการกำจัดเชื้อในดินที่เป็นสาเหตุของโรคพืช

5.2 การประยุกต์ใช้

5.2.1 จากการศึกษาการระบบทำน้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์สามารถนำไปทดแทนการหรือลดการใช้ น้ำร้อนที่ผลิตจากพลังงานชนิดอื่นที่มีต้นทุนสูงกว่า เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย ระบบน้ำร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์มีความยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิตามรูปแบบการใช้งานได้

5.2.2 การศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินทำให้ทราบถึงรูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้ยับยั้งเชื้อในดินที่เป็นสาเหตุของโรคพืช เพื่อทดแทนการใช้สารเคมีที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่นโรคเหี่ยวในพืชซึ่งเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Ralstonia solanacearum* จะตายทั้งหมดภายใน 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55 °C

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรเพิ่มแผงสะท้อนให้กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน (Heat Pipe Evacuated tube solar collector) เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน มีลักษณะเป็นทรงกระบอกสามารถรับรังสีอาทิตย์ได้รอบด้าน แต่ในขณะที่ใช้งานจริงรังสีอาทิตย์ตกกระทบเพียงทิศทางเดียวตามช่วงเวลาเท่านั้น

5.3.2 ควรศึกษาการถ่ายเทความร้อนในดินให้ครบทั้ง 3 มิติ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงที่ต้องทราบถึงอุณหภูมิทุกส่วนของดิน

5.3.3 งานวิจัยนี้เหมาะกับดินที่ใช้เพาะกล้าไม้ เนื่องจากลักษณะรากของกล้าไม้โดยทั่วไปจะมีความลึกไม่เกิน 30 cm รวมถึงพืชผักทั่วไปด้วยเช่นกัน



บรรณานุกรม

- [1] ข้อมูลการประกอบอาชีพเกษตรกรรมในประเทศไทยปี 2560, [Online], Available: <http://envocc.ddc.moph.go.th/>[12 ธันวาคม 2563].
- [2] เสริม จันทร์ฉาย, 2560, **รังสีอาทิตย์**, พิมพ์ครั้งที่ 2, บริษัท เพชรเกษมพรินติ้ง กรุ๊ป จำกัด,
- [3] โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทยปี 2560, [Online], Available: https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47736 [22 มกราคม 2563].
- [4] การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [5] การผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [6] การใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์, [Online], Available: <https://ienergyguru.com/2015/07/solar-thermal-heat-system/> [22 มกราคม 2563].
- [7] YUNUS A. ÇENGEL & AFSHIN J. GHAJAR. (2015). **HEAT AND MASS TRANSFER** (5th ed). New York, NY: McGraw-Hill Education.
- [8] **What's the Difference Between Conduction, Convection, and Radiation?** [Online], Available: <https://www.machinedesign.com/learning-resources/whats-the-difference-between/document/21834474/whats-the-difference-between-conduction-convection-and-radiation> [22 มกราคม 2563].
- [9] คู่มือฝึกอบรมภาคปฏิบัติด้านพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์ (ส่วนทฤษฎี), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, พิมพ์ครั้งที่ 2 เดือน กุมภาพันธ์ 2559
- [10] สุรศักดิ์ เสวีพงศ์ ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2527. **ปฐพีศาสตร์เบื้องต้น** หน้า 1 – 446.
- [11] ชนะภัย ชินะประยูร. (2544). **การศึกษาความร้อนจากใต้ดิน** (รายงานการวิจัย). นครปฐม: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] ศักดิ์ สุนทรสิงห์. (2537). **โรคของผักและการป้องกันกำจัด**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [13] นิวัฒน์ เสนาะเมือง (2541). **โครงการบทบาทของการอบดินด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์และสาเหตุโรคพืชในดิน** (รายงานการวิจัย). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [14] จรุวัตร์ คชรินทร์, ทวีวัฒน์ สุภารส, สุจินต์ จิระชีวะนันท์ และ มานนท์ สังข์กลิ่นหอม. (2554) **เครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้เอทานอลเป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน**. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยกรุงเทพ, 25 มีนาคม 2554 จังหวัดปทุมธานี
- [15] สรวิต สอนสารี, วิสุทธิ แซ่มสะอาด, สุทธิดี สุขใจ, ไพฑูรย์ เหล่าดี และฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์. (2557) **การพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา**. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 19 (ฉบับที่ 2) กรกฎาคม – ธันวาคม 2557.
- [16] ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์, รัฐพร เงินมีศรี, นิพนธ์ เกตุจอย และ วิสุทธิ แซ่มสะอาด. **การประเมินค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ผลิตได้**. Naresuan University Journal ปีที่ 20 (ฉบับที่ 1) May 2012.
- [17] นิรมล สุภาพรม. นริส ประทินทอง และสมพงษ์ ศรีมนโสภาภคย์ (2558) **การเพิ่มประสิทธิภาพในการรับรังสีของแผงรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนด้วยตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ออกแบบมาในพื้นที่จำกัด**. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8, 4-6 พฤศจิกายน 2558.
- [18] รุ่งทวี ผดากาล และสุรัชย์ รดาดาร. **การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน**. วารสารวิศวกรรมสาร มก. ปีที่ 22 (ฉบับที่ 70) พฤศจิกายน 2552 - มกราคม 2553
- [19] ชิตชนก แสนศรี, ศิริชัย เทพา, จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร และรุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ. **การผลิตน้ำร้อนด้วยระบบตัวรวมรังสีรูปประกอบพาราโบลาที่มีหลอดแก้วสุญญากาศเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน**. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 8-9 ธันวาคม 2554.
- [20] Santosh Kumar Singh, Ajeet Kumar Rai and Vivek Sachan. **Fabrication and performance study of a solar water heater**. International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology. Volume 7. July-August 2016.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] Soteris A. Kalogirou. **Solar thermal collectors and applications**. Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004) 231–295
- [22] นฤทธิ์ กล่อมพงษ์, จอมภพ แววศ์กดี, และกรวิกา ก้องกุล. การจำลองแบบเชิงตัวเลขของการถ่ายโอนความร้อนในดินโดยระเบียบวิธีผลต่างอันดับแบบชัดเจน. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2552.
- [23] Andrej Kapjor, Lubos Daniel, Matus Farbak and Michal gottwald. **The accumulation and heat transfer in soils**.
- [24] มานพ แยมแพง. (2560). การประยุกต์ใช้พลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อลดระยะเวลาในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในดินเพาะกล้าไม้. (วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี).



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณประสิทธิภาพ

จากการทดสอบแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร(ACPC) แบบแผ่นเรียบ และแบบท่อ
สูญญากาศชนิดท่อความร้อน สามารถหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ได้จากสมการ

$$\eta = \frac{\dot{m}c_p(T_{out} - T_{in})}{A_c G_t}$$

เมื่อ	η	=	ประสิทธิภาพของแผงรับรังสี (%)
	\dot{m}	=	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
	c_p	=	ความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg °C)
	T_{in}	=	อุณหภูมิน้ำเข้า (°C)
	T_{out}	=	อุณหภูมิน้ำออก (°C)
	G_t	=	รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสี (W/m ²)
	A	=	พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (m ²)

การใช้ไพราโนมิเตอร์วัดค่ารังสีอาทิตย์จะให้สัญญาณออกมาเป็นศักย์ไฟฟ้า ในหน่วย mV ซึ่งต้อง
ทำการแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในหน่วย W/m² สามารถค่ารังสีอาทิตย์ได้จาก
สมการ

$$G_t = \frac{E}{S}$$

G_t	=	ค่ารังสีอาทิตย์ที่ (W/m ²)
E	=	ศักย์ไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ mV
S	=	ค่าการตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ $\mu V/W/m^2$

ไพราโนมิเตอร์วัดค่ารังสีอาทิตย์ที่ใช้สำหรับการทดลอง ยี่ห้อ EKL model ML-01 มีค่าการ
ตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ 48.6 $\mu V/W.m^2$

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพที่อัตราการไหล 0.75 ลิตรต่อนาที ของแผงรับรังสีอาทิตย์
แบบไม่สมมาตร(ACPC) สามารถหาค่าตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้
อัตราการไหลเชิงมวล จากอัตราการไหล 0.75 L/min จะได้

$$\dot{m} = \left[\left[\frac{0.75\text{L}}{\text{min}} \right] \times \left[\frac{1\text{min}}{60\text{s}} \right] \times \left[\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} \right] \times \left[\frac{1000\text{kg}}{1\text{m}^3} \right] \right]$$

$$= 0.0125 \text{ kg /s}$$

ค่ารังสีอาทิตย์ ที่เวลา 12:30 ศักย์ไฟฟ้าจากไพราโนมิเตอร์มีค่า 43.19 mV จะได้

$$G_t = \frac{43.19 \times 10^3 \mu\text{V}}{48.6 \mu\text{V} / \text{W} / \text{m}^2}$$

$$= 888.68 \text{ W/m}^2$$

ความร้อนจำเพาะของน้ำ

$$C_p = 4.184 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิน้ำเข้าสูงสุด

$$T_{in} = 34.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

พื้นที่รับรังสีอาทิตย์

$$A_{ACPC} = 2.88 \text{ m}^2 \quad (\text{แผง ACPC})$$

พื้นที่รับรังสีอาทิตย์

$$A_{Flat} = 1.63 \text{ m}^2 \quad (\text{แผงแผ่นเรียบ})$$

พื้นที่รับรังสีอาทิตย์

$$A_{Eva} = 1.15 \text{ m}^2 \quad (\text{แผงท่อสุญญากาศ})$$

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC)

$$\eta = \frac{0.0125 \times (4.184 \times 10^3) \times (44.2 - 34.4)}{2.88 \times 888.67} \times 100$$

$$= 20\%$$

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

$$\eta = \frac{0.0125 \times (4.184 \times 10^3) \times (46.7 - 34.4)}{1.63 \times 888.67} \times 100$$

$$= 44.4\%$$

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC)

$$\eta = \frac{0.0125 \times (4.184 \times 10^3) \times (47.7 - 34.4)}{1.15 \times 888.67} \times 100$$

$$= 68\%$$



ภาคผนวก ข

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.003 kg/s

เวลา	Evacuated T (°C)	Flat T (°C)	ACPC T (°C)	บรรยากาศ T (°C)	น้ำเข้า T (°C)	Radiation (W/m ²)	ศักย์ไฟฟ้า (mV)
9:00	57.7	50.4	33.7	32.4	31.9	525.1	25.5
9:10	58.1	51.9	34.5	32.3	32.5	535.0	26.0
9:20	59.7	54.1	35.8	32.6	33.1	504.7	24.5
9:30	61.9	55.8	36.8	33.5	33.2	603.3	29.3
9:40	63.1	57.9	37.9	34.3	33.4	634.3	30.8
9:50	63.1	60.4	39.2	34.3	33.6	670.9	32.6
10:00	64.1	62.7	40.3	34.6	34.0	697.0	33.9
10:10	64.3	63.1	41.0	34.7	34.3	719.3	35.0
10:20	64.5	63.6	41.9	34.7	34.0	750.1	36.5
10:30	65.9	64.1	42.8	35.2	34.3	772.6	37.5
10:40	66.1	64.5	43.7	35.1	34.5	841.0	40.9
10:50	67.2	65.6	44.6	35.3	34.6	651.2	31.7
11:00	66.9	66.0	44.9	35.3	34.6	531.5	25.8
11:10	64.0	63.9	45.1	35.9	34.8	827.0	40.2
11:20	65.7	64.9	45.5	36.0	35.1	685.9	33.3
11:30	66.5	65.5	45.9	35.9	35.2	668.4	32.5
11:40	65.8	66.3	46.1	37.2	35.0	860.0	41.8
11:50	67.8	66.6	47.2	36.6	35.8	932.3	45.3
12:00	70.6	69.4	47.9	36.3	35.9	737.2	35.8
12:10	70.4	68.9	48.3	37.6	35.8	894.1	43.5
12:20	73.1	69.9	49.0	37.6	36.1	964.4	46.9
12:30	76.1	72.3	49.6	37.4	36.0	919.0	44.7
12:40	79.5	74.6	49.9	37.7	36.3	931.9	45.3
12:50	77.9	73.3	48.9	38.1	36.0	943.4	45.8

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.003 kg/s (ต่อ)

เวลา	Evacuated T (°C)	Flat T (°C)	ACPC T (°C)	บรรยากาศ T (°C)	น้ำเข้า T (°C)	Radiation (W/m ²)	ศักย์ไฟฟ้า (mV)
13:00	77.3	73.2	50.1	38.1	35.4	863.7	42.0
13:10	78.9	74.8	51.5	38.2	36.5	892.2	43.4
13:20	76.5	72.4	51.0	37.6	35.9	686.6	33.4
13:30	70.9	70.8	50.6	37.1	35.4	376.4	18.3
13:40	60.6	61.7	49.6	38.2	35.6	844.9	41.1
13:50	58.3	58.5	49.6	38.5	35.7	844.0	41.0
14:00	60.6	59.3	49.8	38.2	35.7	733.7	35.7
14:10	59.8	62.3	49.7	37.9	35.6	599.3	29.1
14:20	58.7	60.1	49.3	38.5	35.9	804.1	39.1
14:30	61.0	60.0	49.3	38.7	35.6	523.3	25.4
14:40	59.0	59.5	48.9	38.4	35.7	637.7	31.0
14:50	58.8	58.3	48.6	38.0	35.8	623.0	30.3
15:00	60.2	58.0	48.1	37.6	35.6	421.5	20.5
15:10	57.7	53.6	47.0	37.3	35.4	335.2	16.3
15:20	55.7	50.3	46.1	37.9	35.4	488.7	23.8
15:30	57.1	51.2	46.0	38.1	35.3	579.8	28.2
15:40	57.8	53.3	45.9	38.0	35.6	523.2	25.4
15:50	57.9	53.6	45.6	38.0	35.6	498.2	24.2
16:00	58.5	52.6	45.2	37.4	35.6	468.9	22.8

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s

เวลา	Evacuated T (°C)	Flat T (°C)	ACPC T (°C)	บรรยากาศ T (°C)	น้ำเข้า T (°C)	Radiation (W/m ²)	ศักย์ไฟฟ้า (mV)
9:00	48.7	38.0	35.3	30.8	31.6	295.7	14.4
9:10	58.1	41.0	35.3	31.1	31.5	511.1	24.8
9:20	61.5	46.8	36.1	31.8	31.9	536.7	26.1
9:30	62.7	51.2	37.8	32.2	32.7	571.2	27.8
9:40	63.2	53.3	38.9	32.7	33.0	596.8	29.0
9:50	63.3	54.5	39.7	33.6	33.4	621.5	30.2
10:00	64.2	55.1	40.3	33.6	33.5	616.4	30.0
10:10	63.9	56.4	41.0	33.8	33.7	634.8	30.9
10:20	63.8	57.6	41.5	33.9	33.8	689.7	33.5
10:30	64.8	59.8	42.5	34.8	34.2	731.0	35.5
10:40	64.4	61.4	43.2	34.8	34.5	764.4	37.2
10:50	67.6	62.6	44.2	35.4	34.8	731.2	35.5
11:00	65.2	62.1	44.6	34.9	34.7	730.7	35.5
11:10	65.0	60.1	45.2	35.1	34.3	421.7	20.5
11:20	63.0	58.8	45.3	36.3	34.2	779.5	37.9
11:30	61.0	57.9	46.3	36.2	34.5	502.8	24.4
11:40	61.0	59.1	46.6	36.7	34.5	620.7	30.2
11:50	60.2	59.8	46.8	36.3	34.7	872.2	42.4
12:00	62.6	64.0	47.6	36.5	35.2	895.6	43.5
12:10	64.4	67.3	48.7	36.3	35.3	841.9	40.9
12:20	66.0	68.3	49.1	37.0	35.4	762.0	37.0
12:30	67.2	67.2	49.5	37.1	35.1	839.5	40.8
12:40	66.4	68.7	49.6	36.8	35.4	793.7	38.6
12:50	66.4	70.6	50.0	37.6	35.9	788.2	38.3

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.004 kg/s (ต่อ)

เวลา	Evacuated T (°C)	Flat T (°C)	ACPC T (°C)	บรรยากาศ T (°C)	น้ำเข้า T (°C)	Radiation (W/m ²)	ศักย์ไฟฟ้า (mV)
13:00	67.8	71.2	50.1	38.6	36.2	874.8	42.5
13:10	67.1	71.8	50.2	38.0	36.0	854.6	41.5
13:20	68.2	72.6	50.5	37.8	36.1	867.1	42.1
13:30	72.7	73.2	51.0	38.3	36.3	839.5	40.8
13:40	74.3	72.8	51.1	38.2	36.2	733.0	35.6
13:50	73.0	70.5	50.8	38.3	36.7	785.3	38.2
14:00	71.6	69.4	50.5	38.7	36.5	791.0	38.4
14:10	71.3	69.0	50.6	38.3	36.3	748.6	36.4
14:20	69.3	68.4	50.5	38.8	36.4	730.6	35.5
14:30	69.6	67.5	50.5	39.0	36.5	734.9	35.7
14:40	69.2	66.6	50.3	39.1	36.2	699.2	34.0
14:50	69.2	65.6	50.1	38.9	36.3	675.0	32.8
15:00	67.4	64.0	50.0	39.2	35.9	639.8	31.1
15:10	65.9	62.1	49.8	38.6	36.2	615.1	29.9
15:20	66.6	60.3	49.2	38.8	36.1	583.1	28.3
15:30	64.6	59.1	48.7	38.4	36.2	550.2	26.7
15:40	63.6	57.5	48.2	38.3	36.3	517.0	25.1
15:50	63.8	55.3	47.1	37.8	36.0	478.7	23.3
16:00	62.2	53.4	46.3	37.2	35.9	451.2	21.9

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s

เวลา	Evacuated T (°C)	Flat T (°C)	ACPC T (°C)	บรรยากาศ T (°C)	น้ำเข้า T (°C)	Radiation (W/m ²)	ศักย์ไฟฟ้า (mV)
9:00	44.0	39.5	34.2	31.3	31.4	465.0	22.6
9:10	47.1	40.2	34.8	31.6	31.5	485.1	23.6
9:20	50.1	41.1	35.7	31.7	31.7	477.5	23.2
9:30	49.5	41.4	36.6	32.0	32.0	438.3	21.3
9:40	47.0	39.8	37.3	32.3	32.1	274.4	13.3
9:50	43.1	39.4	37.3	33.0	31.9	513.2	24.9
10:00	45.7	41.7	38.1	33.8	32.3	466.5	22.7
10:10	46.8	42.3	38.8	33.6	32.3	500.5	24.3
10:20	48.5	43.8	39.5	34.5	32.5	692.8	33.7
10:30	49.7	45.4	40.4	34.8	32.7	713.7	34.7
10:40	51.1	46.6	41.5	35.0	33.1	724.1	35.2
10:50	52.1	47.5	42.4	35.6	33.1	769.1	37.4
11:00	52.3	48.3	43.2	35.2	33.5	789.8	38.4
11:10	52.9	46.8	43.9	35.8	34.0	497.3	24.2
11:20	50.8	46.1	43.5	36.2	33.7	702.3	34.1
11:30	50.2	45.4	43.6	35.7	33.7	565.5	27.5
11:40	49.5	46.0	43.5	35.7	34.0	584.2	28.4
11:50	48.5	45.2	43.3	36.3	33.8	635.3	30.9
12:00	47.7	44.6	43.0	36.0	33.8	612.8	29.8
12:10	50.6	49.2	43.5	37.1	34.4	950.0	46.2
12:20	52.0	52.0	44.4	36.5	34.3	721.6	35.1
12:30	51.3	49.8	44.3	37.0	33.7	933.9	45.4
12:40	52.4	50.0	44.7	36.5	33.9	738.2	35.9
12:50	51.1	46.5	44.7	36.6	33.9	501.6	24.4

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.008 kg/s (ต่อ)

เวลา	Evacuated T (°C)	Flat T (°C)	ACPC T (°C)	บรรยากาศ T (°C)	น้ำเข้า T (°C)	Radiation (W/m ²)	ศักย์ไฟฟ้า (mV)
13:00	49.5	48.2	44.6	37.0	33.9	784.8	38.1
13:10	49.9	48.9	44.5	37.2	33.8	633.1	30.8
13:20	51.1	51.2	44.6	37.3	34.0	818.7	39.8
13:30	51.2	51.8	44.9	37.5	34.1	806.1	39.2
13:40	52.7	52.8	45.4	36.9	34.5	688.1	33.4
13:50	51.6	49.9	44.9	37.7	34.6	851.0	41.4
14:00	52.2	51.9	45.2	37.8	34.5	696.7	33.9
14:10	51.3	49.7	44.8	38.1	34.4	714.7	34.7
14:20	52.1	51.0	44.6	37.7	33.9	807.0	39.2
14:30	53.8	51.7	44.8	37.8	34.1	777.7	37.8
14:40	55.1	51.8	45.0	38.1	34.8	737.1	35.8
14:50	54.4	51.1	44.9	37.9	34.8	715.8	34.8
15:00	53.4	50.2	44.7	38.2	34.7	689.3	33.5
15:10	53.0	49.3	44.6	38.5	34.6	668.4	32.5
15:20	53.2	48.3	44.3	38.0	34.3	628.5	30.5
15:30	52.6	47.7	44.0	38.2	34.2	599.3	29.1
15:40	52.0	46.6	43.6	38.6	34.2	562.2	27.3
15:50	51.9	45.8	43.4	38.0	34.6	525.1	25.5
16:00	51.6	45.0	42.7	38.1	34.6	485.7	23.6

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s

เวลา	Evacuated T (°C)	Flat T (°C)	ACPC T (°C)	บรรยากาศ T (°C)	น้ำเข้า T (°C)	Radiation (W/m ²)	ศักย์ไฟฟ้า (mV)
9:00	38.9	38.3	34.1	32.1	31.3	445.3	21.6
9:10	40.0	38.4	34.0	31.1	31.0	431.5	21.0
9:20	41.6	39.7	34.8	31.7	31.3	490.6	23.8
9:30	39.3	38.1	35.6	31.9	31.6	413.3	20.1
9:40	38.4	37.8	36.3	31.8	32.0	302.0	14.7
9:50	39.1	38.3	35.8	32.6	32.6	593.3	28.8
10:00	41.9	40.5	37.7	32.9	32.4	671.6	32.6
10:10	42.3	41.3	39.4	34.5	32.2	718.7	34.9
10:20	43.4	42.5	40.1	34.4	32.7	549.5	26.7
10:30	41.7	40.5	40.2	34.1	32.4	486.8	23.7
10:40	41.7	40.9	40.1	34.7	32.7	658.8	32.0
10:50	41.6	40.3	39.8	34.8	33.0	606.4	29.5
11:00	42.4	41.7	39.4	35.2	32.9	827.8	40.2
11:10	43.2	42.4	40.3	35.3	33.5	699.6	34.0
11:20	42.7	41.9	40.5	35.9	33.3	762.7	37.1
11:30	43.8	43.6	41.1	35.8	33.5	859.5	41.8
11:40	43.8	43.8	41.6	35.7	33.4	570.4	27.7
11:50	43.0	42.6	41.4	35.5	33.6	808.8	39.3
12:00	45.1	44.1	42.2	36.8	34.5	879.4	42.7
12:10	45.3	44.5	42.5	36.7	33.8	884.1	43.0
12:20	45.1	44.2	43.0	36.8	33.7	886.4	43.1
12:30	46.4	45.8	43.5	36.9	33.9	888.7	43.2
12:40	46.4	46.0	43.9	37.4	34.1	875.1	42.5
12:50	45.7	45.4	43.9	37.7	33.8	875.3	42.5

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.0125 kg/s (ต่อ)

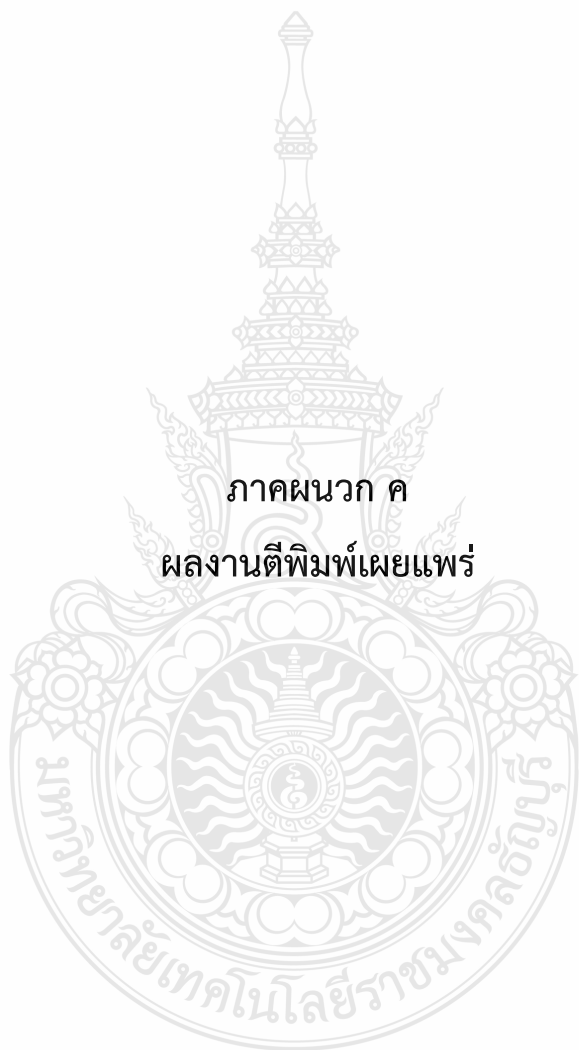
เวลา	Evacuated T (°C)	Flat T (°C)	ACPC T (°C)	บรรยากาศ T (°C)	น้ำเข้า T (°C)	Radiation (W/m ²)	ศักย์ไฟฟ้า (mV)
13:00	45.5	45.5	44.1	37.9	33.8	850.9	41.4
13:10	45.9	46.0	44.2	38.0	34.1	863.3	42.0
13:20	46.9	46.5	43.9	38.1	33.8	858.4	41.7
13:30	47.6	46.8	43.6	37.8	33.8	766.4	37.2
13:40	47.5	46.2	43.6	38.6	34.4	838.5	40.8
13:50	47.2	46.3	43.1	38.4	33.9	828.9	40.3
14:00	47.1	46.4	42.9	38.2	33.8	815.0	39.6
14:10	47.0	46.3	43.1	38.4	33.9	800.5	38.9
14:20	47.3	46.8	43.1	38.7	33.9	775.8	37.7
14:30	47.7	46.5	43.1	38.5	34.0	742.7	36.1
14:40	47.1	45.7	42.9	38.5	34.0	712.5	34.6
14:50	46.9	45.6	42.7	38.9	34.3	687.6	33.4
15:00	46.8	45.2	42.4	39.3	34.2	647.1	31.4
15:10	46.0	45.3	41.9	38.2	34.0	598.0	29.1
15:20	46.7	45.1	41.5	38.3	34.2	561.2	27.3
15:30	45.2	45.1	41.1	39.0	33.9	527.6	25.6
15:40	44.5	44.5	40.9	38.7	34.1	497.3	24.2
15:50	44.8	43.8	40.5	38.8	34.1	476.1	23.1
16:00	44.8	43.6	40.2	38.5	34.2	448.1	21.8

ตารางที่ ก.5 แสดงค่าอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.017 kg/s

เวลา	Evacuated T (°C)	Flat T (°C)	ACPC T (°C)	บรรยากาศ T (°C)	น้ำเข้า T (°C)	Radiation (W/m ²)	ศักย์ไฟฟ้า (mV)
9:00	34.7	36.0	33.9	31.3	31.3	241.4	11.7
9:10	36.5	36.9	34.1	31.7	31.5	420.5	20.4
9:20	37.6	38.5	34.8	31.8	31.8	472.9	23.0
9:30	38.5	38.7	34.9	32.2	31.5	462.3	22.5
9:40	37.9	38.8	35.3	32.2	31.7	487.0	23.7
9:50	39.0	40.8	35.7	32.3	31.7	616.7	30.0
10:00	38.7	40.3	36.2	32.4	31.7	599.0	29.1
10:10	39.9	41.4	36.6	33.2	31.7	662.6	32.2
10:20	40.3	42.0	37.2	32.7	31.8	613.7	29.8
10:30	39.8	41.8	37.5	33.7	31.9	703.5	34.2
10:40	39.8	43.0	37.9	34.3	32.0	774.6	37.6
10:50	40.0	43.5	38.1	34.5	32.1	787.6	38.3
11:00	40.7	44.7	38.9	34.8	32.5	820.8	39.9
11:10	41.1	44.9	39.4	35.3	32.6	844.8	41.1
11:20	41.8	45.8	40.0	35.3	33.1	895.2	43.5
11:30	42.1	43.6	40.0	35.9	32.8	612.6	29.8
11:40	41.4	43.8	39.8	35.7	32.8	752.3	36.6
11:50	41.4	44.3	39.7	35.7	32.9	730.5	35.5
12:00	41.3	45.8	40.0	36.4	33.0	856.9	41.6
12:10	41.5	46.9	40.8	37.2	33.2	938.0	45.6
12:20	41.8	47.3	41.4	37.3	33.2	942.2	45.8
12:30	42.2	47.1	41.6	37.2	33.1	932.1	45.3
12:40	42.6	47.7	41.8	37.6	33.6	932.8	45.3
12:50	42.0	47.1	41.6	37.6	33.5	941.9	45.8

ตารางที่ ก.5 แสดงค่าอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.017 kg/s (ต่อ)

เวลา	Evacuated T (°C)	Flat T (°C)	ACPC T (°C)	บรรยากาศ T (°C)	น้ำเข้า T (°C)	Radiation (W/m ²)	ศักย์ไฟฟ้า (mV)
13:00	42.4	47.5	41.7	37.3	33.7	926.1	45.0
13:10	42.4	47.6	41.7	37.9	33.6	920.6	44.7
13:20	42.8	47.3	41.9	38.1	33.7	902.9	43.9
13:30	42.3	47.4	41.9	38.7	33.6	899.0	43.7
13:40	42.4	46.5	41.7	38.9	33.5	880.8	42.8
13:50	42.3	46.6	41.6	38.5	33.4	862.6	41.9
14:00	42.6	46.6	41.6	38.3	33.4	836.0	40.6
14:10	42.2	45.9	41.6	38.5	33.6	810.2	39.4
14:20	42.6	45.5	41.6	39.7	33.9	794.7	38.6
14:30	42.2	45.0	41.0	39.4	33.5	768.0	37.3
14:40	42.2	44.6	41.0	39.4	33.6	733.8	35.7
14:50	42.1	44.3	40.8	39.4	33.5	707.4	34.4
15:00	42.3	43.8	40.8	39.0	33.8	675.1	32.8
15:10	42.1	43.1	40.4	39.4	33.6	644.6	31.3
15:20	41.9	42.7	40.1	38.7	33.8	617.1	30.0
15:30	42.0	42.4	40.1	38.9	34.2	582.0	28.3
15:40	42.3	41.9	39.6	39.1	34.1	546.8	26.6
15:50	41.6	41.1	39.2	38.8	34.0	515.5	25.1
16:00	41.5	40.3	38.8	38.4	33.8	480.1	23.3



ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

จัดประชุมโดย



PROCEEDINGS

การประชุมสัมมนาวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13

13th Thailand Renewable Energy for Community Conference

5-7 พฤศจิกายน 2563

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต



การศึกษาการวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ A Study of Solar Radiation Collector Positioning for Solar Water Heating System

ชาติชาย ลีลาสิริวิไล¹ และมานพ แยมแพง²
¹นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลำดับการวางตำแหน่งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกันเป็นระบบผลิตน้ำร้อน และเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการศึกษามี 3 ชนิดได้แก่ 1. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ขนาด 1.63 m² ซึ่งภายในวางท่อแบบอนุกรมขนาด 12 mm. 2. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาด 47 mm. ยาว 1.5 m. จำนวน 24 ท่อ 3. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC) ขนาด 2.88 m² ในการทดลองได้ออกแบบการวางตัวเก็บรังสีอาทิตย์ออกเป็น 2 รูปแบบ ที่มีการสลับตำแหน่งการวางของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่า การวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รูปแบบที่ 2 โดยมีการวางตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC) เป็นแผงที่ 1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเป็นแผงที่ 2 และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน เป็นแผงสุดท้ายตามลำดับ สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำเข้า-ออก (ΔT) เท่ากับ 57.4 °C โดยอุณหภูมิน้ำที่ออกจากระบบเท่ากับ 100 °C สูงกว่าการวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 1 ที่มีความแตกต่างจากการสลับตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระหว่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดท่อความร้อน และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ถึง 5.7 °C ที่อัตราการไหล 0.25 lpm และความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วง 950-1000 W/m² โดยอุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำเข้า-ออก (ΔT) ของการทดลองรูปแบบที่ 1 เท่ากับ 50.7 °C และอุณหภูมิน้ำออกเท่ากับ 94.3 °C

คำสำคัญ: ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ การจัดวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานจากธรรมชาติไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีปริมาณมากมายมหาศาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย จากข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวันในปี พ.ศ. 2560 มีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m²-day ซึ่งมีค่าสูงเหมาะแก่การใช้เป็นพลังงานทางเลือก[1]พลังงานรังสีอาทิตย์สามารถนำมาใช้ได้ทั้งรูปแบบของความ



เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน
(Fuel and Heat for Communities)

007

ร้อนและไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปลงรังสีอาทิตย์ การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้แผงรับรังสีอาทิตย์เป็นตัวแปลงและเก็บรังสีอาทิตย์ให้อยู่ในรูปแบบของความร้อนและถ่ายเทไปยังน้ำที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีหลายประเภท ได้แก่ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสง ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแบบมีความสามารถในการผลิตน้ำร้อนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ได้มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่าง ๆ โดย รุ่งทวี พดากาล และสุรัชย์ รดาธาร (2553) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบพาราโบลิกที่มีพื้นที่รับแสง 2.24 m² สะกอนไปยังท่อรับแสงสุญญากาศมีพื้นที่ 0.27 m² ผลการศึกษาพบว่า อัตราการไหลของน้ำและความเข้มแสงที่มากขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ได้จากระบบและประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [2] ต่อมา นิรมล และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษารูปแบบเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนโดยทำการติดตั้งตัวสะกอนรังสีอาทิตย์ให้กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมาซึ่งหลอดแก้วได้ถึง 27.03% ส่งผลให้ตัวรับรังสีอาทิตย์ผลิตความร้อนได้มากขึ้น [3] และในปี ค.ศ. 2017 Bhowmik และ Amin ได้ทำการศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยติดตั้งแผงสะกอนรังสีอาทิตย์เข้ากับตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนติดตั้งแผงสะกอนประมาณ 10% ดังนั้นระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน [4] สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารวบรวมตำแหน่งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3 ชนิดเชื่อมต่อกันเพื่อสร้างเป็นระบบผลิตน้ำร้อน

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิและรังสีอาทิตย์ ยี่ห้อ Graphtec Model GL 840-M
2. Thermocouple Type K มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ Range (-200°C - 1350°C)
3. ไพรานอิมิตเตอร์ยี่ห้อ EKO รุ่น ML-01 มีค่าความคลาดเคลื่อน < 3%

วิธีการวิจัย

ในการศึกษาจะทำการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในพื้นที่เปิดโล่งเพื่อรับรังสีจากดวงอาทิตย์โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

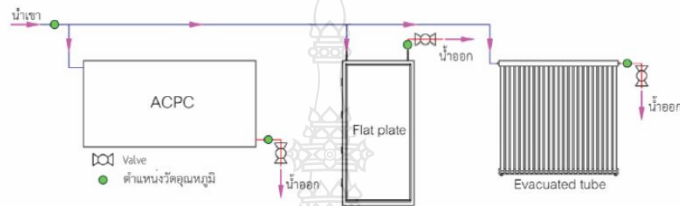
การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาค้นหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แต่ละแบบคือตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบดังภาพที่ 1 โดยปรับอัตราการไหลของน้ำที่เข้าแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละแผง 5 อัตราการไหล คือ 0.2 lpm 0.25 lpm 0.5 lpm 0.75 lpm และ 1 lpm ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 นำตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแบบมาต่ออนุกรมกันซึ่งเริ่มจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ตามด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ตามลำดับ ดังภาพที่ 2 โดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำที่เข้าแผง 0.2 lpm 0.25 lpm และ 0.5 lpm ตามลำดับ

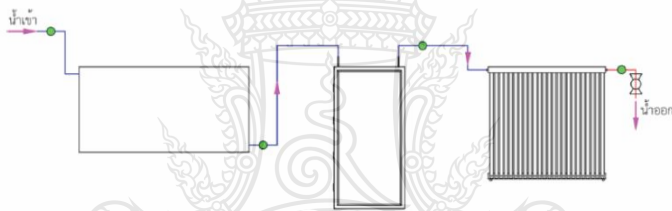
การทดลองที่ 3 นำตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแบบมาต่ออนุกรมกันซึ่งเริ่มจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) ตามด้วย ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนตามลำดับ ดังภาพที่ 3 โดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำที่เข้าแผง 0.25 lpm 0.5 lpm และ 0.75 lpm ตามลำดับ



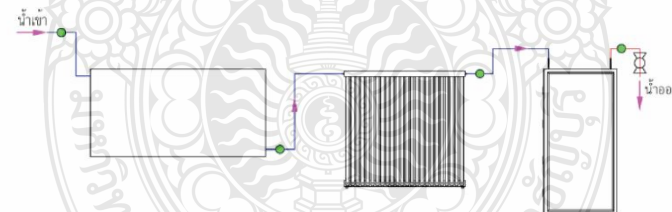
อัตราการไหลเริ่มต้นของน้ำที่เข้าแผงของการทดลองแบบที่ 2 และ 3 มีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากการทดลองแบบที่ 3 อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น การติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน และตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบจะวางเอียงทำมุมประมาณ 14 องศา กับแนวระนาบของพื้นแผงไปทางทิศใต้เพื่อรับรังสีอาทิตย์ ส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC) จะวางตั้งฉากกับพื้นเนื่องจากตัวแผงมีลักษณะเป็นแผงสะท้อน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะหันตัวรับรังสีอาทิตย์ไปทางทิศใต้ ทำการบันทึกอุณหภูมิน้ำเข้าและออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์พร้อมทั้งค่ารังสีอาทิตย์ทำการทดลองในช่วงเวลา 09:00 - 16:00 น. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ผล เพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และระบบผลิตน้ำร้อนจากการจัดวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ ได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 1 รูปแบบการติดตั้งและตำแหน่งอุปกรณ์แบบแยกแผง



ภาพที่ 2 รูปแบบการวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์และตำแหน่งอุปกรณ์แบบที่ 1



ภาพที่ 3 รูปแบบการวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์และตำแหน่งอุปกรณ์แบบที่ 2



จากการทดลองผลการทดลองที่ได้ข้อมูลอุณหภูมิน้ำและค่ารังสีอาทิตย์ นำข้อมูลดังกล่าวมาหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละแผง ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตน้ำร้อนแบบที่ 1 และแบบที่ 2 โดยสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพได้จากสมการ

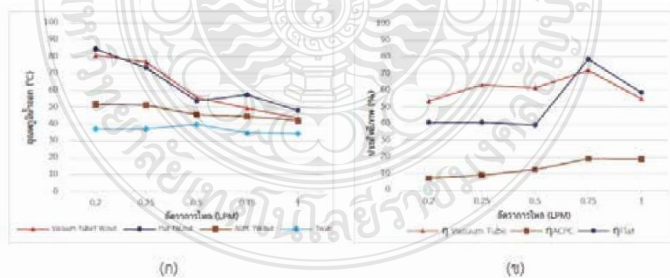
$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}C_p (T_{out} - T_{in})}{A_c G_t} \quad (1)$$

โดย	η_{th}	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
	\dot{m}	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)
	C_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.K)
	T_{out}	คือ อุณหภูมิน้ำออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (K)
	T_{in}	คือ อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (K)
	A_c	คือ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (m ²)
	G_t	คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m ²)

การทดลองเป็นการหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และระบบผลิตน้ำร้อนทั้ง 2 รูปแบบ รวมถึงอุณหภูมิของน้ำที่ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์สามารถทำได้ เพื่อนำไปปรับใช้งานตามความต้องการของการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน การทดลองดังกล่าวได้มีการทดสอบเพื่อหาอุณหภูมิของน้ำร้อนสูงสุดที่ระบบผลิตน้ำร้อนทั้ง 2 รูปแบบสามารถทำได้

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

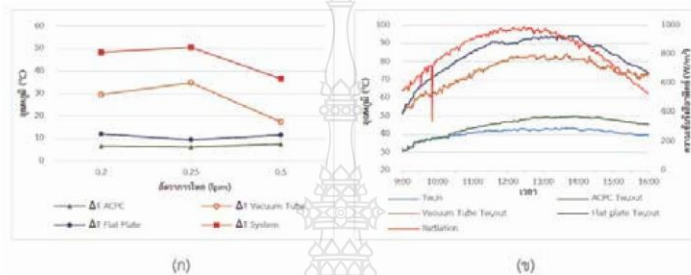
การทดลองที่ 1 จากการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแบบ โดยน้ำที่เข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแผงมีอุณหภูมิเท่ากันคืออุณหภูมิแวดล้อมค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสีอาทิตย์แต่ละแผงที่เวลาเดียวกัน และเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำที่เข้าแผงแต่ละแผง มีผลทำให้ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแบบมีความแตกต่างกันเมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพและอุณหภูมิของน้ำออกแต่ละแผงที่อัตราการไหลต่างๆ ได้ข้อมูล ดังภาพที่ 3 โดยที่อัตราการไหล 0.75 lpm ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีประสิทธิภาพสูงสุดรองมาคือตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC) ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพ 78.76% 72.04% และ 19.02% ตามลำดับ แต่ในช่วงอัตราการไหลที่ 0.2 lpm 0.25 lpm และ 0.5 lpm ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนจะให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบไม่สมมาตร (ACPC)



ภาพที่ 3 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำออกและอัตราการไหลของน้ำของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแบบ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและอัตราการไหลของน้ำของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแบบ

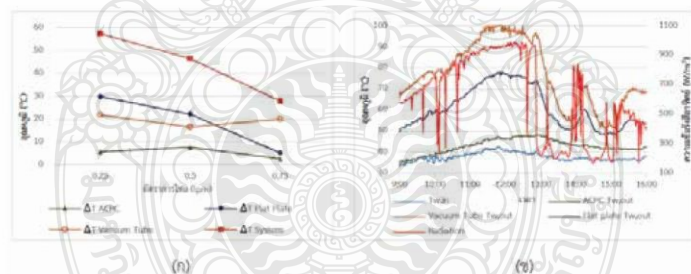


การทดลองที่ 2 พิจารณาการจัดวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามรูปแบบการจัดวางรูปแบบที่ 1 โดยนำอุณหภูมิแวดล้อมเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC) น้ำที่ออกจากแผงไปเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ น้ำที่ออกนำไปเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบอีกครั้ง ผลการทดลองเป็นไปตามภาพที่ 4 อุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำเข้า-ออก ของระบบผลิตน้ำร้อนตามรูปแบบการจัดวางแบบที่ 1 สูงสุด 50.7 °C อุณหภูมิน้ำออกสูงสุด 94.3 °C ที่อัตราการไหล 0.25 lpm ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดที่ 992.8 W/m²



ภาพที่ 4 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า-ออก และอัตราการไหล รูปแบบที่ 1 (ข) อุณหภูมิน้ำที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละช่วงเวลา ที่อัตราการไหล 0.25 lpm ที่ผ่านระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 1

การทดลองที่ 3 พิจารณาการจัดวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 โดยนำอุณหภูมิแวดล้อมเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC) น้ำที่ออกจากแผง ACPC ไปเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนตามลำดับ ผลการทดลองเป็นไปตามภาพที่ 5 อุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำเข้า-ออก ของระบบผลิตน้ำร้อนตามรูปแบบการจัดวางแบบที่ 2 สูงสุด 57.4 °C อุณหภูมิน้ำออกสูงสุด 100 °C ที่อัตราการไหล 0.25 lpm ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดที่ 993.4 W/m²



ภาพที่ 5 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแตกต่างของน้ำเข้า-ออก และอัตราการไหล รูปแบบที่ 2 (ข) อุณหภูมิน้ำที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละช่วงเวลา ที่อัตราการไหล 0.25 lpm ที่ผ่านระบบผลิตน้ำร้อนรูปแบบที่ 2



สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 แบบพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดในช่วงอัตราการไหลของน้ำที่ต่ำกว่า 0.5 lpm ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อัตราการไหล 0.75 lpm และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC) มีประสิทธิภาพสูงสุดที่อัตราการไหล 1 lpm และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุดทุกอัตราการไหล เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC) มีลักษณะเป็นแผงสะท้อนรังสีอาทิตย์ ทำให้ตัวแผงดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาการวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์พบว่าระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีรูปแบบการวางตำแหน่งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รูปแบบที่ 2 สามารถผลิตน้ำร้อนออกมาได้อุณหภูมิสูงสุดที่ 100 °C มากกว่าการวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์รูปแบบที่ 1 ถึง 5.7 °C โดยอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านระบบผลิตน้ำร้อนเดียวกันที่ 0.25 lpm และค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกันที่ 990 W/m² – 995 W/m² โดยการจัดวางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรางรวมแสงแบบไม่สมมาตร (ACPC) ตามด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อนตามลำดับ เรียงต่อกันเป็นแบบอนุกรมระบบจะสามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). โครงการปรับปรุงแผนที่ศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย.
- [2] รุ่งทวี พดากาล และสุรัชย์ รตาดาร. (2553). "การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ของระบบผลิตน้ำร้อน" วารสารวิศวกรรมสาร มท. 22 (70), 96-109.
- [3] นิรมล สุภาพรม นริส ประทีปทอง และสมพงษ์ ศรีมีโนสวาทาศย์. (2558). "การเพิ่มประสิทธิภาพในการรับรังสีของแผงรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน ด้วยตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ออกแบบมาในพื้นที่ย่านลาดพร้าว", ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 , วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี.
- [4] Himangshu Bhowmik and Ruhul Amin. (2017). Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector. Energy Reports. 2017:3:119-123.






ขอมอบเกียรติบัตรนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า


ชาติชาย ติลาสิริวิไล และมานพ แยมแพง

บทความเรื่อง

“การศึกษารวทางตำแหน่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์”

ได้เข้าร่วมการนำเสนอบทความ
ประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังจากแกนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
วันที่ 5-7 พฤศจิกายน 2563 ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต


(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชนนท์ มสฺวรัทธีธส)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์


(ดร.อำพล อธิการบดี)
นายกสภามหาวิทยาลัยมหาดไทย
ผู้ชมรมเห็นประเทศไทย


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทกกร อำนกอน)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชาติชาย ลีลาสิริวิไล
วัน เดือน ปีเกิด	31 มีนาคม 2533
ที่อยู่	105 หมู่ 11 ตำบลบางภาษี อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม
การศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยปทุมธานี(2555)
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ. 2555 - 2556	วิศวกรผลิตภัณฑ์ บริษัท ร็อกเวิช จำกัด (มหาชน)
พ.ศ. 2557 - 2558	วิศวกรระบบปรับอากาศ บริษัท พี เอส ดี ซิสเต็ม จำกัด
พ.ศ. 2558 – ปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยปทุมธานี
เบอร์โทรศัพท์	087 792 5866
E-mail	mike_ptu@hotmail.com

