

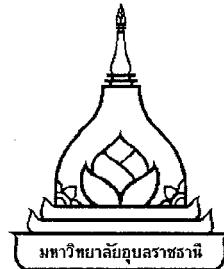
การปรับปรุงสมรรถนะของແຜງຮັບແສງອາທິດຢືນເຄື່ອງທຳນໍາຮ້ອນ
ພລັງຈານແສງອາທິດໜິດໄຫລເວີຍນຕາມຊະບົມຫາຕີ

ອົກ ศຽກອະຫະນາຍາກ

ວິທະຍານິພນ໌ນີ້ເປັນສ່ວນໜຶ່ງຂອງການສຶກຍາຕາມຫຼັກສູດປະລິມຸງວິຄວາມຄາສຕະມາບັນທຶດ
ສາຂາວິຊາວິຄວາມຄຣື່ອງກລ ຄະວິຄວາມຄາສຕະມາບັນທຶດ
ມາວິທະຍາລັຍອຸນລາຍະນີ

ພ.ສ. 2551

ລົງສຶກທີ່ເປັນຂອງມາວິທະຍາລັຍອຸນລາຍະນີ

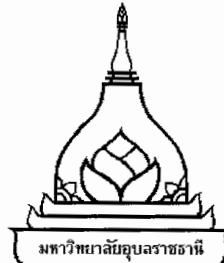


**PERFORMANCE IMPROVEMENT OF SOLAR COLLECTOR
IN A DOMESTIC SOLAR WATER HEATER
WITH NATURAL CIRCULATION**

ASOKE SHITHONGTUM

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER ENGINEERING
MEJOR IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RAJATHANEE UNIVERSITY
YEAR 2008**

COPYRIGHT OF UBON RAJATHANEE UNIVERSITY



ในรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาศึกษาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การปรับปรุงสมรรถนะของแพลงรับแสงอาทิตย์ในเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
ชนิดไอลเวียนตามธรรมชาติ

ผู้วิจัย นายอโศก ศรีทองธรรม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิฐ เดชะรุ่งไพบูล)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติพิพัฒน์ ใจจิต)

คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โภคาก)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประเสริฐ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2551

กิตติกรรมประกาศ

ตามที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเสร็จสมบูรณ์เป็นที่เรียบร้อยได้นั้น เนื่องจากได้รับโอกาสและความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพบูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ค่อยแนะนำ คอยเป็นที่ปรึกษา คอยอบรมสั่งสอนผู้วิจัยเป็นอย่างดีจริงตลอดจนสละเวลาใส่ใจตรวจสอบการดำเนินการวิจัยอย่างสมำเสมอ ผู้วิจัยยกขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในโอกาสและความกรุณาไว้ ณ โอกาสันนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติพิชา ตั้งใจจิต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาได้ให้คำแนะนำ รวมถึงเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ บุคลากร และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นักศึกษาปริญญาโท-เอก ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณแม่ ที่สนับสนุนรวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดียิ่งเสมอมา รวมทั้งบุคคลอื่นๆ ที่ไม่สามารถล่าวถึงจนครบทุกท่าน สุดท้ายนี้ คุณความดีและประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบแต่ คุณพ่อเสาร์ และ พี่เปี้ยก คุณพ่อ และ พี่ชาย ผู้ล่วงลับ ที่ค่อยให้กำลังใจอยู่ตลอดเวลา


 (นายอโศก ศรีทองธรรม)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การปรับปรุงสมรรถนะของแพงรับแสงอาทิตย์ในเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดไอลวีญตามธรรมชาติ

โดย : อโศก ศรีทองธรรม

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไฟศาลา

ผู้ที่สำคัญ : การไอลวีญตามธรรมชาติ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ท่อน้ำร้อน แพงรับแสงอาทิตย์ รังสีแสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้นำเสนอ วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของแพงรับแสงอาทิตย์ในเครื่องทำน้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์แบบการไอลวีญของน้ำตามธรรมชาติ โดยศึกษาอิทธิพลของอัตราการไอลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพของระบบที่ได้รับจากอัตราการไอลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลทำได้โดยการตัดสั้น ปีด-ปีด ที่ท่อน้ำไกด์ท่อรวมด้านบน (Top header) ภายในแพงรับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อความคุ้มอัตราการไอลของน้ำที่แตกต่างกัน 5 แบบ แบบที่ 1 เปิดวาล์วที่ท่อน้ำทุกท่อ 100% แบบที่ 2 เปิดวาล์วที่ท่อน้ำทุกท่อ 50% การแบบที่ 3 ที่ท่อน้ำหมายเลขคี่เปิดวาล์ว 100% และที่ท่อน้ำหมายเลขคู่เปิดวาล์ว 50% แบบที่ 4 ที่ท่อน้ำหมายเลขคี่เปิดวาล์ว 100% และที่ท่อน้ำหมายเลขคู่เปิดวาล์ว 0% และแบบที่ 5 ที่ท่อน้ำหมายเลขคี่เปิดวาล์ว 50% และที่ท่อน้ำหมายเลขคู่เปิดวาล์ว 0% จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของระบบต่ำสุดเกิดในการทดลองแบบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 22.62% ประสิทธิภาพของระบบสูงสุดเกิดในการทดลองแบบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 34.39% และการทดลองแบบที่ 5 การทดลองแบบที่ 4 และการทดลองแบบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 31.67%, 28.39%, 24.89% ตามลำดับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการนับถกวนนี้คือ แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้ที่มีจำหน่ายทั่วไปเชิงพาณิชย์ โดยบีบห่อน้ำที่บริเวณไกด์ท่อรวมด้านบน เพื่อทดสอบอัตราการไอลของน้ำในท่อเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบแพงรับแสงอาทิตย์ให้มีสมรรถนะสูงขึ้นต่อไป

ABSTRACT

TITLE : PERFORMANCE IMPROVEMENT OF SOLAR COLLECTOR IN A
DOMESTIC SOLAR WATER HEATER WITH NATURAL CIRCULATION
BY : ASOKE SHITHONGTUM
DEGREE : MASTER OF ENGINEERING
MAJOR : MECHANICAL ENGINEERING
CHAIR : ASSOC. PROF. PISIT TECHARUNGPISAN, Ph.D.

KEYWORDS : HOT WATER / NATURAL CIRCULATION / RISER / SOLAR
COLLECTOR / SOLAR RADIATION / SOLAR WATER HEATER

This research presents a method to improve the efficiency of a solar collector in thermosyphon solar water heater by investigating the influence of water flow rate in riser tube, inside the solar collector, on the efficiency system receiving from water flow rate inside riser tube within different solar collectors. There for, an experimental procedure was designed; water flow rate control in riser tube by regulating valves lining in every riser at the top header of solar collector. Five modes of experiments were conducted by adjusting regulating valves lining in every riser at the top header of solar collector. Mode I is 100% valve opening in every riser. Mode II is 50% valve opening in every riser. Mode III is the valve at odd number riser is 100% opening, and the valve at even number is 50% opening. Mode IV is the valve at odd number riser is 100% opening, and the valve at even number is 0% opening. Mode V is the valve at odd number riser is 50% opening, and the valve at even number is 0% opening. The results show that lowest efficiency is Mode I which is 22.63% and highest efficiency is Mode III which is 34.39% mode 5, mode4, and mode 2 were 31.67%, 28.39%, 24.89% respectively. This will be useful for the new design of the thermosyphon solar water heater by reducing the diameter at the end of riser near top header in a solar collector.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	๑
บทคัดย่อภาษาไทย	๒
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๓
สารบัญ	๔
สารบัญตาราง	๕
สารบัญภาพ	๖
บทที่	๗

๑ บทนำ

๑.๑ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	๑
๑.๒ วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	๒
๑.๓ ขอบเขตของงานวิจัย	๓
๑.๔ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	๓

๒ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

๒.๑ ทฤษฎีทั่วไป	๔
๒.๒ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Domestic Solar Water Heater)	๖
๒.๓ แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector)	๘
๒.๔ ถังเก็บน้ำร้อน (Storage Tank)	๑๑
๒.๕ การเลือกขนาดระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	๑๓
๒.๖ สมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อน	๑๕
๒.๗ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	๑๖

๓ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

๓.๑ การเตรียมการทดลอง	๒๐
๓.๒ วิธีทำการทดลอง	๒๕
๓.๓ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	๒๗

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 อัตราการไอลอกองน้ำในท่อน้ำภายในแพรงรับแสงอาทิตย์	30
4.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำ	
ใกล้ท่อรวมด้านล่าง	33
4.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านล่าง	37
4.4 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำ	
ใกล้ท่อรวมด้านบน	42
4.5 เปรียบเทียบอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านบน	45
4.6 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อ	
ที่อยู่ใกล้ชิดกัน	51
4.7 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวม	
ด้านบนและด้านล่าง	58
4.8 อุณหภูมิและอัตราการไอลอกองน้ำที่ห้อกลับ	64
4.9 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	65
4.10 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	73
4.11 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำภายในถังน้ำร้อน	74
4.12 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	75

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	77

สารบัญ (ទៅ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	78
ภาคผนวก	
ก ข้อมูลการทดลอง	84
ខ ตัวอย่างการคำนวณ	101
ក ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 1	109
ង ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 2	116
ຈ ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 3	123
ນ ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 4	130
ច ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 5	137
ម ผลงานทางวิชาการ	144
ประวัติผู้วิจัย	146

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ของขนาดแสงอาทิตย์และขนาดถังเก็บน้ำร้อนสำหรับระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	14
3.1 รายละเอียดชุดทดลองและรูปแบบการทดลอง	26
4.1 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดบนผู้ทดสอบของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่างจากการทดลองทั้ง 5 การทดลอง	41
4.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดบนผู้ทดสอบของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนจากการทดลองทั้ง 5 การทดลอง	49
4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนระหว่างตัวแทนผู้ทดสอบไกล์ท่อรวมด้านบนกับอุณหภูมิเวดล็อกจากการทดลองทั้ง 5 การทดลอง	64
4.4 ประสิทธิภาพของระบบที่ได้รับจากการทดลองทั้ง 5 การทดลอง	75
ก.1 ข้อมูลปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิเวดล็อกในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5	85
ก.2 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลดของน้ำในท่อน้ำภายในแพร์รับแสงอาทิตย์	86
ก.3 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดบนผู้ทดสอบไกล์ท่อรวมด้านล่าง	86
ก.4 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดบนผู้ทดสอบไกล์ท่อรวมด้านบน	87
ก.5 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ติดบนผู้ทดสอบไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง	87
ก.6 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	88
ก.7 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลดของน้ำในท่อน้ำภายในแพร์รับแสงอาทิตย์	88
ก.8 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดบนผู้ทดสอบไกล์ท่อรวมด้านล่าง	89
ก.9 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดบนผู้ทดสอบไกล์ท่อรวมด้านบน	89
ก.10 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ติดบนผู้ทดสอบไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.11 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	90
ก.12 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลดของน้ำในท่อน้ำภายในແຜງรับแสงอาทิตย์	91
ก.13 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง	91
ก.14 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน	92
ก.15 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง	92
ก.16 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	93
ก.17 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลดของน้ำในท่อน้ำภายในແຜງรับแสงอาทิตย์	93
ก.18 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง	94
ก.19 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน	94
ก.20 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง	95
ก.21 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	95
ก.22 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลดของน้ำในท่อน้ำภายในແຜງรับแสงอาทิตย์	96
ก.23 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง	96
ก.24 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน	97
ก.25 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง	97
ก.26 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	98
ก.27 ข้อมูลอุณหภูมิและอัตราการไหลดของน้ำที่หอกลับในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5	99
ก.28 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5	100
ช.1 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในการทดลองแบบที่ 1	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.2 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในการทดลองแบบที่ 2	103
ข.3 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในการทดลองแบบที่ 3	104
ข.4 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในการทดลองแบบที่ 4	105
ข.5 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในการทดลองแบบที่ 5	106
ค.1 ข้อมูลการวัดอัตราการ ไอลของน้ำในท่อน้ำภายใน管ในแรงรับแสงอาทิตย์	110
ค.2 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง	111
ค.3 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน	111
ค.4 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง	112
ค.5 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	112
ค.6 ข้อมูลการวัดอัตราการ ไอลของน้ำในท่อน้ำภายใน管ในแรงรับแสงอาทิตย์	113
ค.7 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง	113
ค.8 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน	114
ค.9 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง	114
ค.10 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	115
ง.1 ข้อมูลการวัดอัตราการ ไอลของน้ำในท่อน้ำภายใน管ในแรงรับแสงอาทิตย์	117
ง.2 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง	118
ง.3 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน	118
ง.4 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง	119
ง.5 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
๙.๘ ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน	135
๙.๙ ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง	135
๙.๑๐ ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	136
๙.๑ ข้อมูลการวัดอัตราการไไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแรงรับแสงอาทิตย์	138
๙.๒ ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง	139
๙.๓ ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน	139
๙.๔ ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง	140
๙.๕ ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	140
๙.๖ ข้อมูลการวัดอัตราการไhaiของน้ำในท่อน้ำภายในแรงรับแสงอาทิตย์	141
๙.๗ ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง	141
๙.๘ ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน	142
๙.๙ ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง	142
๙.๑๐ ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	143

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ศักยภาพพลังแสงอาทิตย์ในประเทศไทยระหว่าง พ.ศ. 2542-2544	1
2.1 กระบวนการผลิตน้ำร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	5
2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แบบการหมุนเวียนของน้ำตามธารรูมชาติ	5
2.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แบบการหมุนเวียนของน้ำโดยใช้พลังงานจากภายนอก	6
2.4 รูปร่างและส่วนประกอบของแพร์บแสงอาทิตย์	8
2.5 สมดุลพลังงานบนแพร์บแสงอาทิตย์	9
2.6 ระบบเครื่องทำน้ำร้อนชนิดน้ำในระบบหมุนเวียน โดยแรงกระทำจากภายนอก	12
2.7 สมดุลพลังงานสำหรับถังเก็บน้ำร้อนแบบน้ำไม่แบ่งแยกชั้น	13
2.8 การกระจายอัตราการใช้น้ำร้อนของ ที่พักอาศัย สำนักงาน และห้องปฏิบัติการ	15
3.1 แผนผังการเตรียมชุดทดลอง	20
3.2 ชุดทดลองสำหรับวัดอัตราการไอลodiwi Dry trace inject	21
3.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ Data logger	22
3.4 เครื่องมือวัดปริมาณแสงอาทิตย์	22
3.5 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน	23
4.1 ปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมในระหว่างวันที่ทำการทดลอง	29
4.2 อัตราการไอลของน้ำในท่อน้ำภายในแพร์บแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 1	30
4.3 อัตราการไอลของน้ำในท่อน้ำภายในแพร์บแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 2	30
4.4 อัตราการไอลของน้ำในท่อน้ำภายในแพร์บแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 3	31
4.5 อัตราการไอลของน้ำในท่อน้ำภายในแพร์บแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 4	31
4.6 อัตราการไอลของน้ำในท่อน้ำภายในแพร์บแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 5	32

สารบัญภาค (ต่อ)

ภาคที่	หน้า
4.7 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 1	33
4.8 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 2	34
4.9 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 3	35
4.10 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 4	36
4.11 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 5	37
4.12 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 8.00 น.	38
4.13 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 10.00 น.	39
4.14 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 12.00 น.	40
4.15 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 14.00 น.	40
4.16 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 1	42
4.17 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 2	43
4.18 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 3	43
4.19 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 4	44
4.20 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 5	45
4.21 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนที่เวลา 8.00 น.	46
4.22 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนที่เวลา 10.00 น.	47
4.23 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนที่เวลา 12.00 น.	48
4.24 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนที่เวลา 14.00 น.	49
4.25 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อ ที่ไกล์อยู่ชิดกันในการทดลองแบบที่ 1	51
4.26 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อ ที่ไกล์อยู่ชิดกันในการทดลองแบบที่ 2	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.27 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่ไกลือซีซิกกันในการทดลองแบบที่ 3	54
4.28 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่อยู่ไกลือซีซิกกันในการทดลองแบบที่ 4	56
4.29 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองหอที่อยู่ซีซิกกันไกล์ในการทดลองแบบที่ 5	57
4.30 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่างในการทดลองแบบที่ 1	59
4.31 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่างในการทดลองแบบที่ 2	60
4.32 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่างในการทดลองแบบที่ 3	61
4.33 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่างในการทดลองแบบที่ 4	62
4.34 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่างในการทดลองแบบที่ 5	63
4.35 อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่หอกลับ	65
4.36 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 1	66
4.37 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 2	67
4.38 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 3	69
4.39 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 4	70
4.40 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 5	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.41 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำภายในถังน้ำร้อน	73
4.42 ประสิทธิภาพของระบบและปริมาณแสงอาทิตย์ในระหว่างวัน ที่ทำการทดลองแต่ละแบบ	74

บทที่ 1

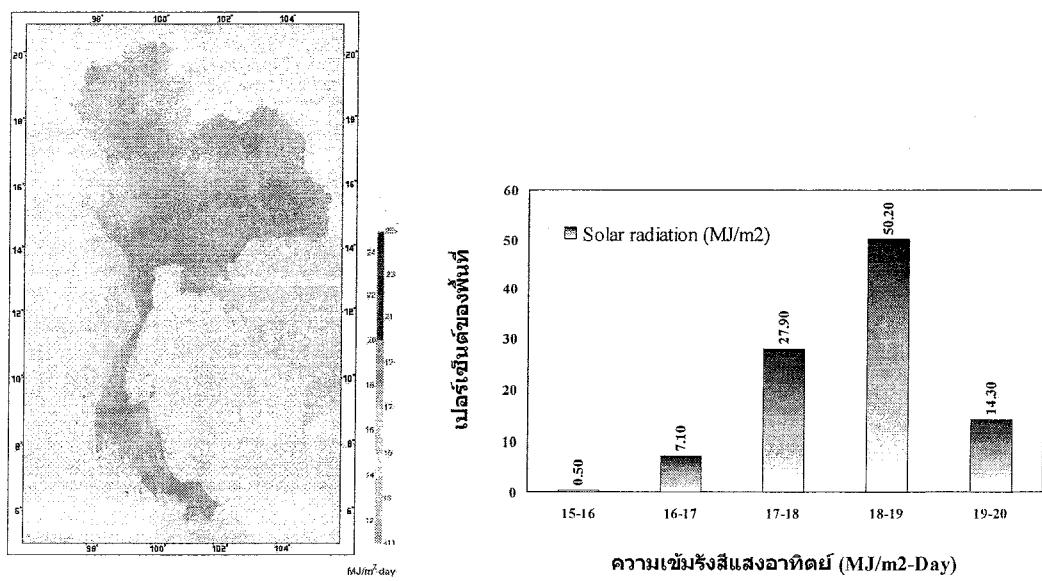
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัจจัย

ปริมาณความต้องการพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจ นำมาสู่ การจัดสรรพลังงานให้มีความเหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการ ปัจจุบันดังกล่าวมีความสำคัญ อย่างมากต่อการพัฒนาประเทศไทยนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 เป็นต้นมา การเปลี่ยนแปลง

ทางระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่าง ด้านเหนือได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งในภาคอุตสาหกรรม การบริการ และในชีวิตประจำวัน ดังนั้นการจัดการด้านพลังงานจึงถูกหยิบยกขึ้นมาเพื่อพิจารณา อย่างจริงจัง และจากข้อมูลการใช้พลังงานในปัจจุบันพบว่า การใช้พลังงานในรูปของเชื้อเพลิง ฟอสซิล หรือ ไฮโดรคราร์บอน ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ซึ่งเป็นพลังงานสิ้นเปลือง มีปริมาณที่สูงมากเมื่อเทียบกับพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ได้แก่ พลังงานน้ำ

แสงอาทิตย์ ลม เป็นต้น ในปัจจุบันการค้นคว้าและงานวิจัยด้านพลังงานหมุนเวียน ณ ปัจจุบัน สามารถพัฒนาจนถึงขั้นใช้งานได้จริง ยกตัวอย่าง เช่น พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ข้อมูลศักยภาพพลังแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานระหว่าง พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2544 ดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ศักยภาพพลังแสงอาทิตย์ในประเทศไทยระหว่าง พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2544 (กรมพัฒนา

พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2550)

จากแผนที่ศักยภาพพลังแสงอาทิตย์ในประเทศไทยในภาพที่ 1.1 พบว่า บริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์แผ่นเป็นบริเวณกว้างทางตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือรวมทั้งบางส่วนของภาคกลาง เมื่อทำการจำแนกเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ตามความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จะได้ผลดังกราฟเท่ง พบว่า 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงคือได้รับรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีมีค่าอยู่ระหว่าง $19-22 \text{ MJ/m}^2$ และ 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีมีค่าอยู่ระหว่าง $18-19 \text{ MJ/m}^2$ ซึ่งถือว่าศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงเมื่อทำการเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศ พบว่า ค่ารังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีจะได้เท่ากับ 18.2 MJ/m^2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2550) ดังนั้นการศึกษาพลังงานทดแทนพลังแสงอาทิตย์จึงเป็นเรื่องเหมาะสมกับประเทศไทย สำหรับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการให้ผลลัพธ์ที่ต้องการตามมาตรฐาน แต่การใช้งานเครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้ยังไม่แพร่หลายมากนัก เพราะฉะนั้นการค้นคว้าและวิจัยจึงมีความสำคัญเพื่อเพิ่มศักยภาพของเครื่องให้มีการใช้งานอย่างแพร่และเพื่อเป็นทางเลือกในการประหยัดพลังงานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาอิทธิพลของอัตราการให้ผลลัพธ์ที่ต้องการในท่อน้ำภายในเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ให้ข้อสมมุติฐาน อัตราการให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันของน้ำในท่อน้ำมีผลต่อ

- 1.2.1 อุณหภูมิของแพนคุณภาพร้อนภายในแพนรับแสงอาทิตย์
- 1.2.2 อุณหภูมิของน้ำที่ท่อกลับ
- 1.2.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อน
- 1.2.4 ประสิทธิภาพของระบบ

เพื่อนำไปสู่แนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของแพนรับแสงอาทิตย์ในเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างชุดทดลอง
- 1.3.2 ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะในการทดลองแต่ละแบบ
- 1.3.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการทดลองแต่ละแบบ
 - 1.3.3.1 ปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมในระหว่างวันที่ทำการทดลอง
 - 1.3.3.2 อัตราการให้ผลของน้ำในท่อน้ำภายในแพกรับแสงอาทิตย์
 - 1.3.3.3 อุณหภูมิของแพนคุณภาพร้อน
 - 1.3.3.4 อุณหภูมิและอัตราการให้ผลของน้ำที่ท่อกลับ
 - 1.3.3.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน
 - 1.3.3.6 ประสิทธิภาพของระบบ

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1.4.1 ได้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการให้เวียนตามธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- 1.4.2 แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้โดยอาศัยการพัฒนาฐานรากแบบใหม่ของแพกรับแสงอาทิตย์ เช่น ลดขนาดเตื้อนผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำภายในแพกรับพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.4.3 สนับสนุนนโยบายการประหยัดพลังงานของประเทศไทยโดยการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีทั่วไป

การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์จำแนกได้เป็น 2 รูปแบบ โดยพิจารณาถึงประโยชน์ที่จะได้รับดังนี้ รูปแบบที่ 1 การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และรูปแบบที่ 2 การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

2.1.1 การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

สามารถจำแนก เป็น 2 ระบบ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์

2.1.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 แบบ แบบที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) เป็นระบบที่ออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจาก National Grid สามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่�훈อดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบบเตอร์สำหรับใช้ในเวลากลางคืน แบบที่ 2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบที่ออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National Grid โดยตรง แบบที่ 3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบที่ผลิตไฟฟ้าร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังงานน้ำเป็นต้น

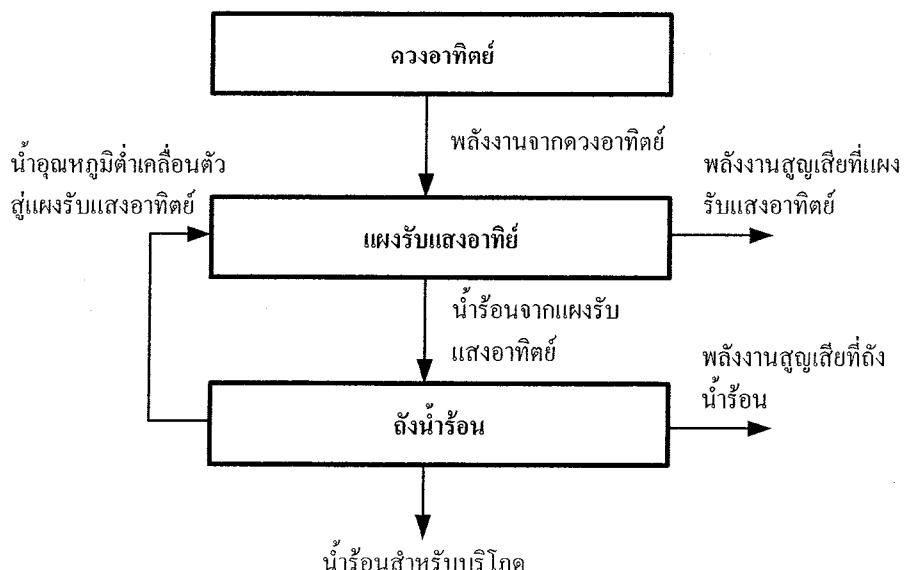
2.1.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 แบบ เช่นเดียวกัน แบบที่ 1 แบบ Parabolic Troughs ประกอบด้วยตัวรับรังสีที่มีลักษณะเป็นร่างยาวโค้งแบบมิติเดียวที่ติดตั้งไว้บนระบบหมุนตามดวงอาทิตย์แกนเดียว (single-axis tracking system) ทำการรวมพลังงานแสงอาทิตย์สะท้อนไปยังห่อที่ตั้งในแนวนานกับแนวรวมรวมแสงเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับของเหลวที่ไหลหมุนเวียนผ่านห่อ โดยการแยกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ของเหลวภายในห่อ เพื่อบรรคุณกันกันห้อนในน้ำให้ผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป แบบที่ 2 แบบ Central Receivers หรือ Power Tower ประกอบด้วยตัวรับความร้อนที่ติดตั้งอยู่กับที่ตั้งอยู่บนหอคอยล้อรอบด้วยแผงกระดาษขนาดใหญ่เป็นจำนวนมากที่เรียกว่า เอซิโอล์ฟแทท เอซิโอล์ฟแททจะสะท้อนรังสีความร้อนไปยังตัวรับความร้อนซึ่งบรรจุของเหลวเพื่อคุณสมบัติความร้อนไว้เพื่อส่งไปยัง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันหรือนำໄไปกักเก็บไว้เพื่อใช้งานต่อไป แบบที่ 3 แบบ Parabolic Dishes ประกอบด้วยตัวรับแสงรูปทรงแบบจาน parabolic ที่มีชุดคุณย์รวมแสงเพื่อสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ไปยังตัวรับความร้อนที่ตั้งอยู่บนชุดคุณย์รวม Parabolic Dishes เพื่อนำความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.1.2 การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน ปัจจุบันมีการใช้งาน 2 ลักษณะ คือ เพื่อผลิตความร้อนสำหรับการอบแห้ง และเพื่อผลิตความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อน

2.1.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อนสำหรับการอบแห้ง การอบแห้ง แบ่งออกเป็น 2 แบบ แบบที่ 1 การอบแห้งโดยใช้พลังงานเฉพาะจากดวงอาทิตย์คือระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ การหมุนเวียนของอากาศอาศัยหลักการการขยายตัวของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศชื้น (Passive) หรือมีเครื่องมือที่ช่วยให้อากาศไหลเวียนตามทิศทางที่ต้องการ (Active) ให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบอากาศที่ไหลผ่านห้องอบจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของวัสดุ ซึ่งสามารถพัฒนาความชื้นจากเครื่องอบแห้งออกสู่ภายนอกทำให้วัสดุที่อบไว้แห้งได้ แบบที่ 2 การอบแห้งระบบผสมผสาน (Hybrid) คือระบบที่อาศัยพลังงานในรูปอื่นๆ เข้าช่วยเพื่อให้ระยะเวลาในการอบวัสดุเร็วขึ้น

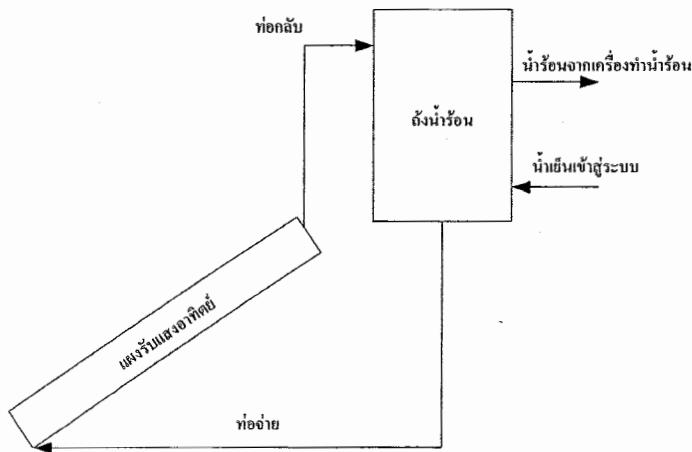
2.1.2.2 พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อน กระบวนการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Domestic solar water heater)

โดยทั่วไปเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) ถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank) ระบบท่อ (Pipes and fitting) ที่ต่อเชื่อมระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์กับถังเก็บน้ำร้อนผ่านท่อกลับ (Return pipe) และท่อจ่าย (Supply pipe) และท่อที่จะนำน้ำร้อนไปใช้ดังแสดงในภาพที่ 2.2

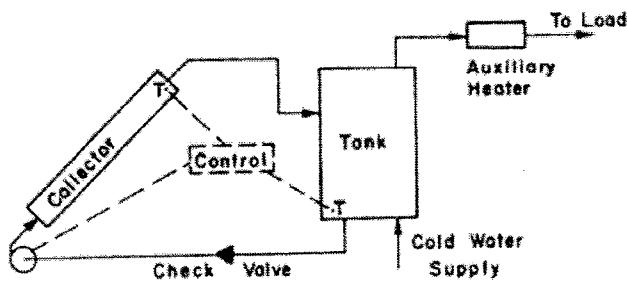


ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไอลิเวียน
ของน้ำตามธรรมชาติ

การจำแนกชนิดของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อาศัยลักษณะการหมุนเวียนของน้ำในระบบที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ แบบการหมุนเวียนของน้ำแบบธรรมชาติ (Natural circulation) ซึ่งเป็น Passive system เรียกว่าการไอลิเวียนแบบ Thermosyphon และแบบการหมุนเวียนของน้ำโดยใช้ปั๊ม (Forced circulation) ซึ่งเป็น Active system ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการหมุนเวียนของน้ำตามธรรมชาติ (Domestic Solar Water Heater with Natural circulation) แสดงในภาพที่ 2.2 การหมุนเวียนของน้ำในระบบเริ่มจากน้ำที่ด้านล่างสุดของถังน้ำซึ่งเป็นส่วนที่ระดับอุณหภูมิของน้ำต่ำที่สุดและไหลเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) โดยผ่านท่อจ่าย (Supply pipe) เข้าที่ห่อรวมด้านล่างของแผงรับแสงอาทิตย์ (Bottom header) แล้วผ่านท่อน้ำในแผงในแผงรับแสงอาทิตย์ (Riser tubes) ไปยังห่อรวมด้านบน (Top header) ความร้อนที่ได้รับจากการรังสีแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ห่อน้ำในแผงรับแสงอาทิตย์ (Riser tubes) เพิ่มสูงขึ้นขณะที่ความหนาแน่นของน้ำลดลงเป็นผลให้น้ำที่ร้อนขึ้นเกิดการขยายตัวและลอยตัวขึ้น สู่ด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์ไปรวมตัวกันที่ห่อรวมด้านบน (Top header)

และไหลไป ยังถังเก็บน้ำร้อน โดยผ่านท่อกลับ (Return pipe) ที่อยู่ระหว่างด้านบนของแพงรับแสงอาทิตย์กับด้านบนของถังน้ำที่ด้านล่างสุดของถังน้ำจะถูกแทนที่ด้วยน้ำร้อนที่เคลื่อนตัวจากแพงรับแสงอาทิตย์ (มารีน่า มะหนี่, 2542) การหมุนเวียนของน้ำแบบธรรมชาตินี้จะเกิดขึ้นจนกระทั่งปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับไม่เพียงพอ เช่น เวลาเข้าครึ่ง พลนค่าและกลางคืน

สำหรับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการหมุนเวียนของน้ำโดยใช้พลังงานจากภายนอก (Forced circulation) แสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการหมุนเวียนของน้ำโดยใช้พลังงานจากภายนอก (Sirikul Prasitpainchai, 2007)

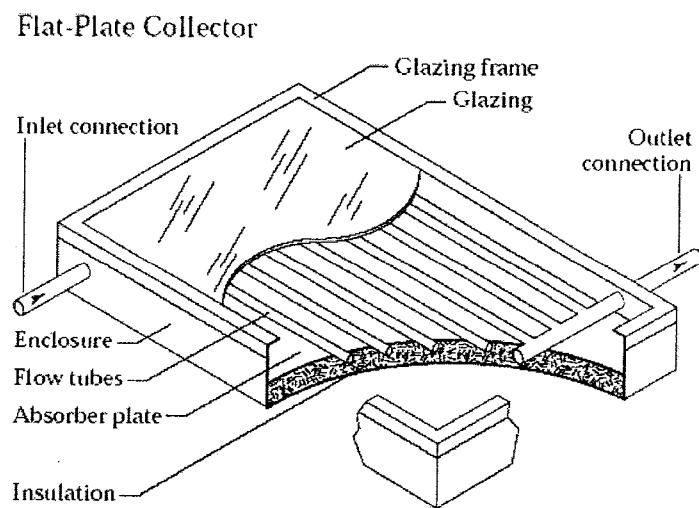
ส่วนที่เพิ่มเติมจากระบบที่น้ำหมุนเวียนแบบธรรมชาติคือ ปั๊มน้ำและระบบควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ (Differential Thermostat) ระบบควบคุมดังกล่าวจะรับทราบถึงระดับอุณหภูมิของน้ำในระบบ 2 ชุด คืออุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากการแพงรับแสงอาทิตย์และที่ด้านล่างสุดถังน้ำร้อน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 ชุด การทำงานของปั๊มน้ำเริ่มจากระดับอุณหภูมิของน้ำไหลออกจากแพงรับแสงอาทิตย์สูงกว่าระดับอุณหภูมิของน้ำด้านล่างสุดของถังน้ำเท่ากับค่าหนึ่ง เช่น 10°C หมายความว่า ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับมากพอที่จะส่งให้ปั๊มทำงาน ในทางตรงกันข้ามถ้าระดับอุณหภูมิของน้ำไหลออกจากแพงรับแสงอาทิตย์ต่ำกว่าระดับอุณหภูมิของน้ำด้านล่างสุดของถังน้ำเท่ากับค่าหนึ่ง เช่น 3°C หมายความว่า ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับต่ำเกินไประบบควบคุมจะสั่งให้ปั๊มหยุดทำงาน การนำน้ำร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์และการไหลเวียนของน้ำกลับเข้าถังหลักการเหมือนกับระบบนำ้ำหมุนเวียนแบบธรรมชาติ (มารีน่า มะหนี่, 2542) วิทยานิพนธ์ศึกษาเฉพาะการปรับปรุงสมรรถนะของแพงรับแสงอาทิตย์ในเครื่องทำน้ำร้อนแบบการหมุนเวียนของน้ำตามธรรมชาติ (Natural circulation) เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อนสามารถผลิตใช้งานตามที่พกอาศัย

ทั่วไปได้ การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้จะช่วยให้การใช้งานของเครื่องมีความคุ้มค่ามากขึ้น สามารถทดแทนเครื่องใช้ไฟฟ้าและช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

2.3 แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector)

แผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้กับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีด้วยกันหลายแบบแต่ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้คือ แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น (Flat-plate solar collector) เนื่องจากต้นทุนการผลิตและค่าบำรุงรักษาต่ำ หลักการทำงานของแผงรับแสงอาทิตย์แบบนี้คือ รับรังสีแสงอาทิตย์แบบรังสีรวม (Total radiation) ซึ่งเท่ากับผลรวมระหว่างรังสีแบบตรง (Beam radiation) รังสีแบบกระจาย (Diffuse radiation) และรังสีแบบสะท้อน (Reflect radiation) ที่ตอกกระหบบนผิวน้ำเพื่อเปลี่ยนพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนซึ่งแผงรับแสงอาทิตย์แบบนี้สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านได้สูงถึง 80°C

2.3.1 รูปร่างและส่วนประกอบ



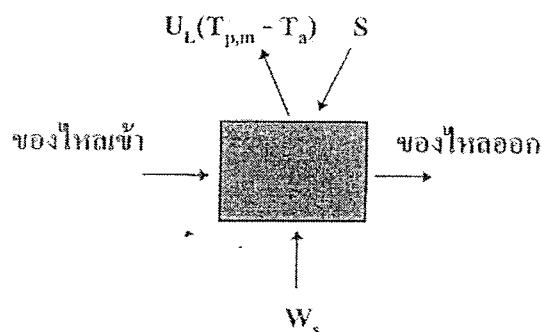
ภาพที่ 2.4 รูปร่างและส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Water Heating, 1996)

จากภาพที่ 2.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น ได้แก่ แผ่นปิดด้านบน (Top cover) ทำด้วยวัสดุโปร่งใสแผ่นดูดความร้อน (Absorber plate) ทำด้วยวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง เช่น โลหะท无知จำเพื่อสามารถดูดรังสีแสงอาทิตย์ได้สูงขึ้นหรืออาจเคลือบ

ด้วยผิวนิดเลือกรังสี (Selector surface) ซึ่งจะให้ค่าการดูดกลืนรังสี (Absorptivity) สูงที่ความขาวคลื่นของรังสีต่างๆ ได้แต่ให้ค่าการส่งออกของรังสีต่ำ (Emissivity) ที่ความขาวคลื่นของรังสีสูง หลักการทำงานของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเกิดจากความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีและถ่ายเทให้ของไหลที่อยู่ภายในเพื่อที่จะป้องกันการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากของไหลในระบบสู่ภายนอกซึ่งหุ้มด้วยผ้าทึบแสงข้างและด้านหลังของแผงรับแสงอาทิตย์ ส่วนโครงสร้างของแผงรับแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปตามลักษณะการใช้งาน เช่น ใช้ในการผลิตน้ำร้อนจะเปลี่ยนเป็นแบบแผ่นและท่อ (Plate and tube) ส่วนที่ใช้ในการอบแห้งนั้นจะเป็นแบบแผ่นเป็นต้น

2.3.2 สมดุลพลังงาน (Energy Balance)

สมการพลังงานสำหรับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้จากการหาผลต่างของปริมาณที่ได้รับและปริมาณที่สูญเสีย เวลา และอัตราการไหล ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 สมดุลพลังงานบนแผงรับแสงอาทิตย์ (มารีน่า มะหนี่, 2542)

จากภาพที่ 2.5 ซึ่งแสดงสมดุลย์พลังงานบนแผงรับแสงอาทิตย์ที่สภาวะสมำเสมอ (Steady state) สามารถเขียนสมดุลย์พลังงานโดยอาศัยกฎข้อที่ 1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์ จะได้ว่า เอนธัลปี ของของไหลที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ ผลกระทบของความร้อนที่ตัวรับรังสีได้รับจากดวงอาทิตย์ และ ถูกลดลงให้กับสิ่งแวดล้อม และงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของไหลผ่านตัวรับรังสี เนื่องจากงานมีค่า น้อยเมื่อเทียบกับเทอมอื่นๆ อาจตัดทิ้งได้ ดังนั้นสมการสมดุลย์พลังงานเขียนได้เป็น

$$H_0 - H_i = A_c S - A_c U_L (T_{p,m} - T_a) \quad (2.1)$$

เมื่อ H_0 และ H_i คือ เอนซัลป์ของของไหหลักและอุณหภูมิตามลำดับ , W

S คือ รังสีคงาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนที่แผ่นครัวรังสี , W/m^2

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน , $\text{W/m}^2\text{K}$

$T_{p,m}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นครัวรังสี , K

T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม , K

A_c คือ พื้นที่ตัวรับรังสี , m^2

ค่า S หาได้จากผลคูณของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบของตัวรับรังสีและประสิทธิภาพเชิงօฟติก (Optical Efficiency, $\tau\alpha$), $H_0 - H_i$ คือเอนซัลป์ของของไหลดที่เพิ่มขึ้นหรือความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Q_u) แทนค่า $H_0 - H_i$ ด้วย Q_u และแยกแฟกเตอร์จะได้

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{p,m} - T_a)] \quad (2.2)$$

สมการนี้ของแพลงรับแสงอาทิตย์ เท่ากับอัตราส่วนของพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ ต่อรังสีแสงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนระนาบของแพลงรับแสงอาทิตย์

$$\eta = \int Q_u d\tau / (A_c \int G_T d\tau) \quad (2.3)$$

2.2.3 การสูญเสียความร้อนจากแพลงรับแสงอาทิตย์

เมื่อกำหนดให้ Q_L แทนการสูญเสียความร้อนจากแพลงรับแสงอาทิตย์จะได้ว่า

การสูญเสียความร้อนจากแพลงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ ผลรวมของการสูญเสียความร้อนจากแพลงรับแสงอาทิตย์ด้านบน การสูญเสียความร้อนจากแพลงรับแสงอาทิตย์ด้านล่างและการสูญเสียความร้อนจากแพลงรับแสงอาทิตย์ด้านข้างของแพลงรับแสงอาทิตย์ และแทนการสูญเสียความร้อนด้านบนด้วย Q_T การสูญเสียความร้อนด้านล่างแทนด้วย Q_B และ Q_E แทนการสูญเสียความร้อนด้านข้างของแพลงรับแสงอาทิตย์ จะได้ว่า

$$Q_L = Q_T + Q_B + Q_E \quad (2.4)$$

2.3.3.1 การสูญเสียความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ด้านบน (Q_T)

การสูญเสียความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ด้านบนเป็นการสูญเสีย

ความร้อนเนื่องจากการพากความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งให้ผ่านความต้านทานต่อให้ความร้อน โดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ความต้านทานต่อให้ของความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวชั้นนอกของแผ่นดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ (Absorber plate) กับ แผ่นทับไส่ (Top cover) ชั้นใน ส่วนที่ 2 คือ ความต้านทานต่อให้ของความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นทับไส่ (Top cover) ชั้นในกับชั้นนอก ส่วนที่ 3 คือ ความต้านทานต่อให้ของความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นทับไส่ (Top cover) ชั้นนอกกับสภาวะแวดล้อมด้านบน (Sky)

2.3.3.2 การสูญเสียความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ด้านหลัง (Q_B)

การสูญเสียความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ด้านล่างเป็นการสูญเสีย

ความร้อนเนื่องจากการพากความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งให้ผ่านความต้านทานต่อให้ความร้อน โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ความต้านทานต่อให้ของความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวชั้nl่างของแผ่นดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ (Absorber plate) กับ ฉนวนกันความร้อน (Insulation) ส่วนที่ 2 คือ ความต้านทานต่อให้ของความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างฉนวนกันความร้อน (Insulation) กับสภาวะแวดล้อมด้านล่าง

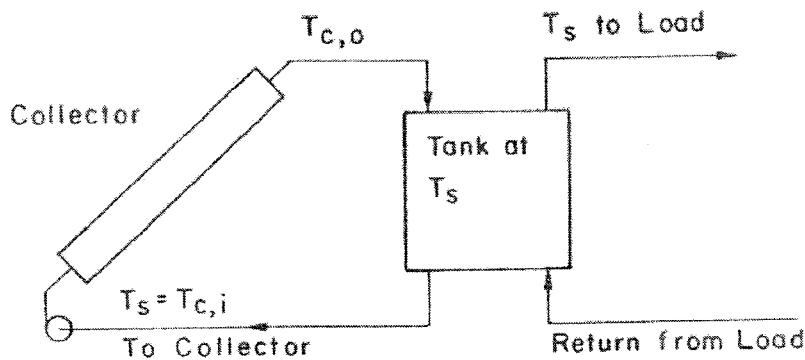
2.3.3.3 การสูญเสียความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ด้านข้าง (Q_E)

การสูญเสียความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ด้านข้างเป็นการสูญเสีย

ความร้อนเนื่องจากการพากความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งให้ผ่านความต้านทานต่อให้ของความร้อน โดยทั่วไปคิดเที่ยบเป็นสัดส่วนกันพื้นที่ด้านหลังของแผงรับแสงอาทิตย์

2.4 ถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank)

น้ำเป็นสารทำงานที่ราคาถูกหาได้ง่าย มีความจุความร้อนสูงและใช้เป็นของให้ทำงานได้ดี ดังนี้จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวเก็บความร้อนในถังน้ำร้อน นอกจากนี้ความร้อนที่ให้เข้ามาเก็บในถังและที่ให้ออกจากถังถูกพาไปโดยน้ำจะไม่เกิดความต่างของอุณหภูมิ ΔT ระหว่างของให้ทำงานและของถังเก็บพลังงาน ในภาพที่ 2.6 เป็นระบบน้ำที่หมุนเวียนผ่านแผงโดยใช้ปั๊ม (Forced circulation system) ถังเก็บพลังงานทำงานอยู่ช่วงอุณหภูมิ สูง-ต่ำ T_u และ T_s ตามลำดับ



ภาพที่ 2.6 ระบบเครื่องทำน้ำร้อนชนิดน้ำในระบบหมุนเวียน โดยแรงกระทำจากภายนอก
(Duffie and Beckman, 1991)

ความจุของพลังงานคือ

$$Q_s = (mC_p)_s (T_o - T_s) \quad (2.5)$$

เมื่อ Q_s คือพลังงานเก็บสะสมในถัง ถ้าระบบทำงานในช่วงอุณหภูมิ T_o และ T_s , m คือ มวลของน้ำ และ C_p คือความร้อนจำเพาะของน้ำ จะสังเกตได้ว่าสำหรับ Q_s มีปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับผลต่างของ T_o และ T_s เช่น T_o อุณหภูมิสูง จะถูกกำหนดโดยข้อความสามารถของแผงรับแสงอาทิตย์ สมมุตติให้น้ำในถังที่ระดับอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่างกันไม่แยกเป็นชั้นและอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเป็น T_s และจะได้สมการพลังงานดังนี้

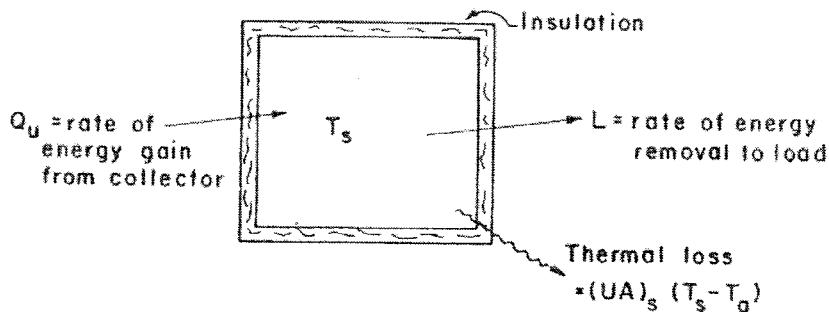
$$(mC_p)_s (dT_s/d\tau) = Q_u - L_s - (UA)_s (T_s - T_a) \quad (2.6)$$

จากสมการที่ (2.59) อาจเขียนในรูปของการเพิ่มเวลา (Finite increment in time) เป็น

$$T_{s,new} = T_{s,old} + (\Delta\tau/mC_p)[Q_u - L_s - (UA)_s (T_s - T_a)] \quad (2.7)$$

เมื่อ Q_u คืออัตราพลังงานไหลดเข้าและไหลดออกจากถังเพื่อนำไปใช้ประโยชน์, m คือ มวล, UA คือผลคูณของสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของถังและพื้นที่ของถังในทิศทางตั้งฉากกับ

การไหลดของพลังงาน , T_s และ T_a คืออุณหภูมิของน้ำในถังและของบรรยายากาศแวดล้อมตามลำดับ, τ คือเวลา และ $\Delta\tau$ คือช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.16 สมดุลพลังงานสำหรับถังเก็บน้ำร้อนแบบน้ำไม่แบ่งแยกชั้น (Unstratified storage)

(Duffie and Beckman, 1991)

ภายใต้สมมติฐานที่ไม่มีการสูญเสียความร้อนขณะที่นำไหลดจากถังเข้าถัง นั่นคืออุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าແงลงเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในถัง คือ $T_{c,i} - T_s$ จะได้ว่า

$$Q_u = (\dot{m}C_p)(T_{c,o} - T_s) \quad (2.8)$$

2.5 การเลือกขนาดระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ขนาดของเครื่องทำน้ำร้อนขึ้นอยู่กับ อัตราการใช้น้ำร้อน ปริมาณแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม การลงทุนราคาเชื้อเพลิง และลักษณะการติดตั้ง ในประเทศไทยการใช้งานเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไม่แพร่หลายมากนัก ดังนี้ข้อมูลด้านอัตราการใช้งานที่เหมาะสมต้องอาศัยประเทศที่มีการใช้แพร่หลายเพื่อขอรับ เช่น ประเทศไทยอสเตรเลียการใช้น้ำร้อนโดยเฉลี่ยที่ 65°C เท่ากับ 45 Liters /Day/Human ถ้าครอบครัวขนาด 4 คน เครื่องทำน้ำร้อนจะต้องผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 180 Liters /Day (มารีน่า มะหนี่, 2542) ขนาดแพงรับแสงอาทิตย์และถังน้ำร้อน ขนาดที่เหมาะสมสำหรับแพงรับแสงอาทิตย์จะต้องผลิตน้ำร้อนได้เพียงพอต่อการใช้งานวันต่อวัน ถังน้ำร้อนจะเท่ากับ 1.3 เท่าของปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตใช้งานวันต่อวัน ยกตัวอย่างการคำนวณขนาดของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งที่จังหวัดชลบุรี เริ่มจากข้อมูลศักยภาพพลังงาน

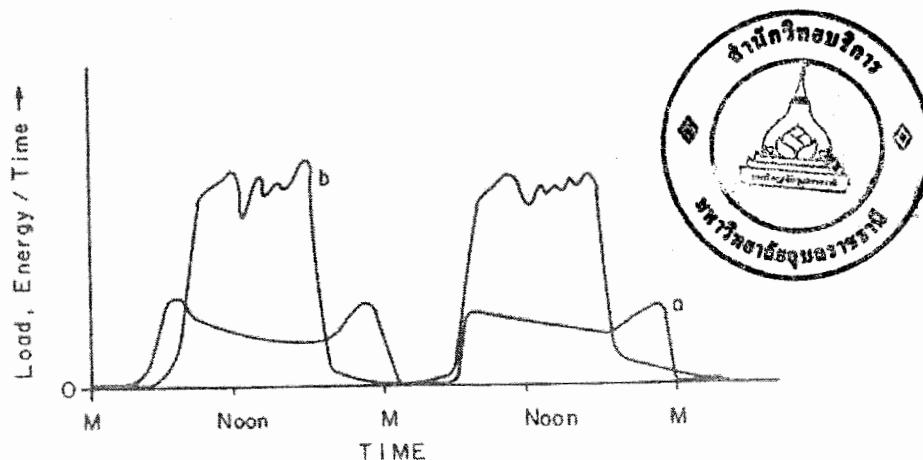
แสงอาทิตย์พบว่า พื้นที่ 1 m^2 ผลิตน้ำร้อนที่ 65°C ได้ประมาณ 50 Liters ดังนั้นที่ครอบครัวขนาด 4 คน ต้องผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 180 Liters ขนาดแพลงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 3.6 m^2 ขนาดถังน้ำร้อนเท่ากับ 230 Liters (มารีน่า มะหัน, 2542) นอกจากนี้แล้วรูปแบบการใช้งานเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อขนาดที่เหมาะสมของถังน้ำร้อน ตัวอย่างของ ความสัมพันธ์ ของขนาดแพลงรับแสงอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อน สำหรับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของขนาดแสงอาทิตย์และขนาดถังเก็บน้ำร้อนสำหรับระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (มารีน่า มะหัน, 2542)

สถานที่	ชนิดของงาน	พื้นที่รับแสง m^2	ขนาดถังเก็บน้ำร้อน m^3
ศูนย์วิจัยพีช	ใช้น้ำแข็งกลางวัน	31.2	1.51
ห้องทดลองบริษัท	ใช้น้ำแข็งกลางวัน	17.8	0.95
ໂຮແຮມ	ใช้น้ำดื่มอุดทิ้งวันและใช้มากช่วงเช้าและเย็น	41.3	3.41
สถานที่ทำงานสายการบิน	ใช้น้ำแข็งกลางวัน	23.8	1.51

* อัตราแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปี $16,000 \text{ kJ/m}^2/\text{day}$ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำคือ 15°C แพลงขนาด 1 m^2 ผลิตน้ำร้อน 65°C ได้ประมาณ 40 ลิตร/วัน

และการกระจายของอัตราการใช้น้ำในรอบวันของผู้ใช้ประเภทที่อยู่อาศัย และสำนักงาน แสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การกระจายอัตราการใช้น้ำร้อนของ ที่พักอาศัย สำนักงาน และห้องปฏิบัติการ
(Duffie and Beckman, 1991)

2.6 สมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อน

สมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนคำนวณ หรือโดยวัดอัตราการให้ลงของน้ำร้อนผ่านแผงรับ แสงอาทิตย์แล้วนำอัตราการให้ลงที่ได้คูณกับความร้อนจำเพาะและอุณหภูมิที่แตกต่างกันของน้ำ ขณะที่ให้ลงเข้าและออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ การวัดหรือคำนวณอัตราการให้ลงหรืออุณหภูมิที่แตกต่างกันดังกล่าววน返ทำได้ยาก เพราะระบบไม่มีอยู่ในสมดุลย์ ตัวแปรดังกล่าวเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา Löf, Close และ Cooper ได้ทำการทดลองและสรุปว่า สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ขนาดมาตรฐานซึ่งผลิตที่อสเตรเลีย (แผงรับแสงอาทิตย์ Solar collector ขนาด 0.6×1.2 m. ท่อจ่าย Supply pipe หอกลับ Return pipe ขนาด 1" ท่อรวม Header ขนาด 1.3 cm.) อุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10°C ไม่ว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องอื่นๆ จะเปลี่ยนแปลงอย่างไรก็ตาม

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลดเวียนของน้ำตามธรรมชาติ นำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Close ในปี ค.ศ. 1962 ซึ่ง Close ได้เสนอสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้คำนวณอัตราการไหลดของน้ำที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำภายในระบบ (Thermosyphon) และอุณหภูมิกายในระบบ อุณหภูมิกายในถังน้ำร้อน และอุณหภูมิที่ห่อจ่ายและท่อกลับ ซึ่งใช้อ้างอิงกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยของ Close ได้เป็นอย่างดี ในเวลาต่อมาหลังจากนั้นมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้เพิ่มมากขึ้นแต่ส่วนใหญ่ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทำน้ำร้อนต่อพฤติกรรมของระบบที่เปลี่ยนไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแพรวรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) โดย Gupta และ Garg ปี ค.ศ. 1968 ได้ศึกษาเกี่ยวกับขนาดที่แตกต่างกันของหอน้ำภายในแพรวรับแสงอาทิตย์ พบร่วมกับน้ำที่เข้าด้วยกันว่าจะมีอัตราการไหลดที่สูงกว่าแต่ความแตกต่างของอุณหภูมิในถังน้ำระหว่างด้านบนกับด้านล่างของถังมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับหอน้ำที่มีขนาดเล็กกว่า Shariah และ Löf ปี ค.ศ. 1996 ที่ศึกษาเกี่ยวกับค่าที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของถังเก็บน้ำร้อนกับพื้นที่ของแพรวรับแสงอาทิตย์ และพบว่า ถังเก็บน้ำร้อนที่สูงมากกว่า 1 เมตร จะไม่มีผลกระแทกต่อ Solar fraction (Solar fraction โดย B. M. Santos และคณะ ปี ค.ศ. 2005 หมายถึง อัตราส่วนความร้อนที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ต่อพลังงานที่ต้องการในกระบวนการ) นอกจากถังน้ำร้อนที่สูงน้อยกว่า 1 เมตร และการใช้งานในปริมาณสูงพอดันซ์ สิชณุกฤฎี ในปี ค.ศ. 2000 ได้เสนอเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใหม่ที่แพรวรับแสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ทั้งน้ำร้อนและไฟฟ้า โดยการติดตั้งโซล่าเซลล์บนแผ่นคุณภาพร้อนเพื่อรับรังสีแสงอาทิตย์และผลิตไฟฟ้า ขณะที่แผ่นคุณภาพร้อนที่อยู่ด้านล่างทำการผลิตน้ำร้อน Jay Burch และคณะ ในปี ค.ศ. 2004 ได้จำลองแพรวรับแสงอาทิตย์เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบแพรวรับแสงอาทิตย์แบบใหม่ที่เรียกว่า Unglazed collector ภายใต้ข้อมูลสภาพอากาศของสหราชอาณาจักรที่แตกต่างกัน 3 แบบ ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของแพรวรับแสงอาทิตย์แบบนี้เหมาะสมมากกับสภาพอากาศแบบร้อนชื้นมากที่สุด พฤทธิ์นาเคนตร และคณะ ในปี ค.ศ. 2005 ได้ปรับปรุงสมรรถนะของแพรวรับแสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ที่ด้านข้างของแพรวรับแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ด้าน และให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 53.29% ที่มุ่งมองแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์เท่ากับ 75 องศา Poolsak Intawee และคณะ ปี ค.ศ. 2006 ได้ปรับปรุงสมรรถนะของแพรวรับแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับแพรวรับแสงอาทิตย์ให้หมุนในทิศทางที่ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุดตลอดทั้งวันซึ่งน้ำร้อนที่ผลิตได้โดยวิธีนี้ มีอุณหภูมิสูงถึง 70°C

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถังน้ำร้อน (Storage tank) โดย S. Furbo และ L.J. Shah ปี ค.ศ. 1997 ได้เสนอถังน้ำร้อนแบบใหม่ที่เรียกว่า Smart solar tanks-heat storage of future มีประสิทธิภาพสูงกว่าถังน้ำร้อนทั่วไปเนื่องจากถังน้ำร้อนทั่วไปได้รับความร้อนทางเดียวคือจากแสงอาทิตย์ ตรงข้ามกับถังน้ำร้อนแบบใหม่นี้ได้รับความร้อนถึง 2 ทางคือจากแสงอาทิตย์และพลังงานสำรองผ่าน Side-arm Mantle tank ในปี ค.ศ. 1997 L.J. Shah และ S. Furbo ได้นำเสนอโปรแกรม CFD ซึ่งสามารถใช้อธินายพุติกิรรมของการการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Mantle tank กับถังน้ำร้อน A.-J. N. Khalifa และ M.A. Hussian ในปี ค.ศ. 2000 ได้เปรียบเทียบการทดลองกับสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อน และได้แสดงวิธีการเพื่อใช้คำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อน ในปี ค.ศ. 2002 D.W. Mather และคณะ ได้เพิ่มความสามารถในการผลิตน้ำร้อนได้มากถึง 2000 ลิตรต่อวัน โดยการเชื่อมต่อถังน้ำร้อนแบบอนุกรมหลายๆ ถังเข้าด้วยกันด้วยชุด漉 2 ชุด ที่ด้านบนซึ่งต่อไปยังโหลดและด้านล่างของถังน้ำซึ่งต่อ กับแผงรับแสงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนระหว่างถังน้ำร้อนภายในภายใต้ปรากฏการณ์ Thermal diode สันติ หวังนิพพานโต และ ประสิทธิ์ นางทิน ปี ค.ศ. 2007 ได้แสดงวิธีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนให้คงที่โดยระบบสมรรถนะว่างพลังงานแสงอาทิตย์และอีทเตอร์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับท่อในระบบ (Connecting pipe) โดย พิลิญช์ และ ชวลิต ปี พ.ศ. 2547 ศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งของท่อกลับ (Returning pipe) จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต่อเข้ากับถังน้ำร้อนระหว่างกึ่งกลาง และด้านบนของถังน้ำร้อน พบว่า การต่อท่อกลับที่ด้านบนของถังน้ำร้อนจะมีสมรรถนะที่ดีกว่า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับท่อน้ำภายในแผงรับแสงอาทิตย์ (Riser tubes) โดย Riazi และ Razavi ปี ค.ศ. 1997 ได้ศึกษาอิทธิพลของชนิดของท่อน้ำภายในแผงรับแสงอาทิตย์ต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนระหว่างท่อน้ำจากท่อเหล็กและท่อน้ำจากโพลีไพรีลีน พบว่า การใช้ท่อน้ำจากโพลีไพรีลีนให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ท่อน้ำที่เป็นท่อเหล็ก และในปี ค.ศ. 2006 Techarungpaisan และ Teeboonma ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของท่อน้ำการกระจายตัวของอุณหภูมิที่แผ่นดูดความร้อน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพุติกิรรมของอุณหภูมิในระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ โดย A. Shitzer และคณะ ปี ค.ศ. 1978 ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายทั่วไป ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิที่แผ่นดูดความร้อนและภายในถังน้ำร้อนเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแผงรับแสงอาทิตย์และถังน้ำร้อนในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการทดลอง Naum Fraidenraich และคณะ ในปี ค.ศ. 1997 ได้พัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธินายอุณหภูมิที่แผ่นดูดความร้อน อุณหภูมิของน้ำร้อน และการถ่ายเทความร้อน

ภายในเผยแพร่รับแสดงอาทิตย์ Abdul-Jabbar และคณะ ปี ค.ศ. 1999 นำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่สภาวะมีและไม่มีโอลด์ K. Chuawittayawuth และ S. Kumar ปี ค.ศ. 2002 ได้อธิบายวิธีการทดลองเพื่อใช้ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิในเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์รวมทั้งแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ Posit Techarungpaisan และคณะ ปี ค.ศ. 2006 ได้ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิและอัตราการไหลของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหล (Flow rate) โดย G. L. Morrison และ D. B. J. Ranatunga ปี ค.ศ. 1980 ได้พัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งสัมพันธ์กับค่าเรย์โนนัมเบอร์เพื่อใช้คำนวณอัตราการไหล พนว่า ที่ค่าเรย์โนนัมเบอร์เท่ากับ 300 อัตราการไหลคำนวณได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด และเป็นแบบจากผลการทดลองเมื่อค่าเรย์โนนัมเบอร์ต่ำกว่าและสูงกว่า 300 Volker Weitbrecht และคณะ ปี ค.ศ. 2002 ได้เสนอสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อแทนค่าการสูญเสียที่คำนวณง่ายดูดต่อต่างๆ ภายในเผยแพร่รับแสดงอาทิตย์เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการไหลในระบบให้แม่นยำมากขึ้น ในปี ค.ศ. 2005 Posit Techarungpaisan และคณะ ได้ศึกษาอัตราการไหลที่ห่อจ่าย-ท่อกลับ (Returning pipe and supplying pipe) และหอน้ำภายในเผยแพร่รับแสดงอาทิตย์จากการเปรียบเทียบระบบที่แตกต่างกัน 3 แบบระบบ พนว่า ระบบที่มีอัตราการไหลต่ำสมรรถนะของการทำน้ำร้อนที่ได้รับสูงกว่าระบบที่อัตราการไหลสูงกว่า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องอิทธิพลของปริมาณแสงอาทิตย์ต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ นำเสนอโดย Helwa และคณะ ในปี ค.ศ. 1995 จากผลการวิจัยพบว่า พื้นที่ที่ปริมาณแสงอาทิตย์ต่ำจะต้องติดตั้งพลังงานความร้อนสำรองแก่ระบบเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน และงานวิจัยที่แสดงสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้คำนวณสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนนำเสนอโดย A. Zerrouki และคณะ ในปี ค.ศ. 2002

งานวิจัยที่พัฒนารูปแบบของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดย Emmanouil และคณะ ในปี ค.ศ. 2002 นำเสนอเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้อ Ethanol C_2H_5OH ไหลเวียนและรับความร้อนที่เผยแพร่รับแสงอาทิตย์เพื่อถ่ายเทความร้อนแก่น้ำที่ถังน้ำร้อน หลังจากนั้น B.J. Huang และคณะ ปี ค.ศ. 2005 ได้พัฒนาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ต่อเนื่องจาก Emmanouil โดยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ของ B.J. Huang ได้รับความร้อนจาก 2 แหล่งคือ แหล่งที่ 1 ได้รับความร้อน Conventional heat pump และแหล่งที่ 2 ได้รับความร้อนจาก Solar heat pipe ในปี ค.ศ. 2006 C.Dharuman และคณะ ได้นำเสนอเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใหม่ซึ่งรวมเผยแพร่รับแสงอาทิตย์กับถังน้ำร้อนเข้าด้วยกัน (Integrate solar water heater) ทำให้การสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ง่ายกว่าและค่าใช้จ่ายในการสร้าง

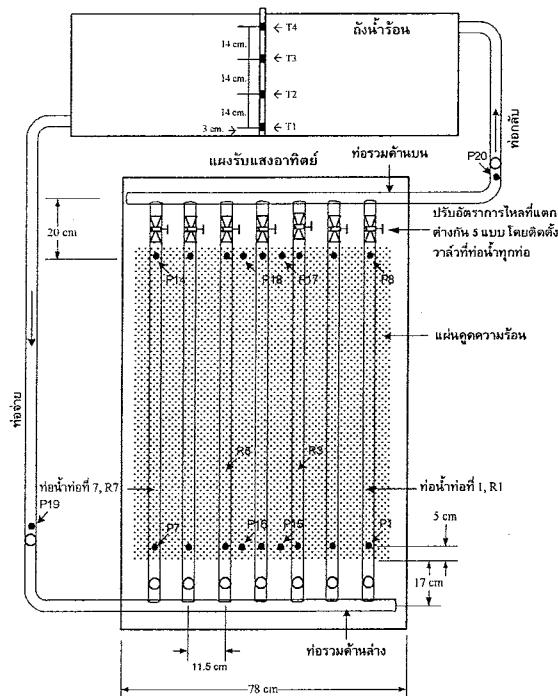
น้อยกว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิมแต่ข้อดีของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นิดนึงคือ มีการสูญเสียความร้อนในเวลาถูกคลายคืน โดย David Faiman และคณะ ปี ค.ศ. 2001 และงานวิจัยอื่นๆ เช่น Y.H. Kuang และ R.Z. Wang ปี ค.ศ. 2006 เสนอวิธีการนำความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์มาใช้ทำน้ำร้อน ทำความร้อนและทำความเย็น เป็นต้น

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

3.1 การเตรียมการทดสอบ

สร้างชุดทดลอง โดยอ้างอิงกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาดในประเทศไทยจากสมมุติฐานที่ว่าอัตราการไหลงของน้ำในท่อน้ำภายในแรงรับแสงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อการสะสมความร้อนของน้ำในท่อน้ำและสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดนี้ ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองเพื่อควบคุมอัตราการไหลงของน้ำในท่อน้ำโดยการติดตั้งวาล์วเปิด-ปิด ที่ท่อน้ำ (Riser tubes) ใกล้ท่อรวมด้านบน (Top header) ทุกท่อ เพื่อวัดอัตราการไหลงของน้ำในทุกๆ ชั่วโมง ที่ห่อจ่าย ท่อถัง และท่อน้ำภายในแรงรับแสงอาทิตย์ วัดอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที ที่ห่อจ่าย ท่อถังและแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งน่องของท่อน้ำ และวัดอุณหภูมน้ำภายในถังน้ำร้อนทุกๆ 5 นาที ซึ่งแตกต่างกันเนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลงน้ำในท่อโดยวาล์วเปิด-ปิด ที่ท่อน้ำ (Riser tubes) ดังแสดงในภาพที่ 3.1

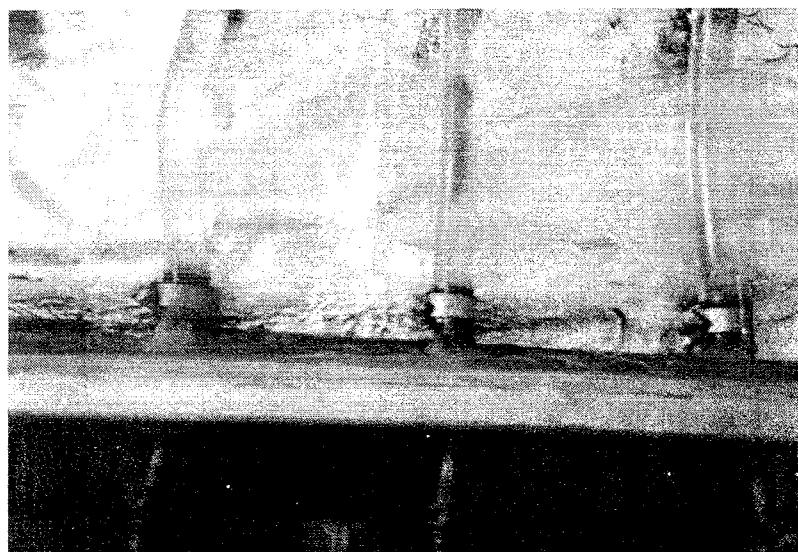


- สำหรับเมื่อต้องการให้เหลือร่อง ท่อจ่าย ท่อถัง และท่อรวมภายในแม่พิมพ์แสงอาทิตย์
- สำหรับเมื่อต้องการให้มีพื้นที่ดูดความร้อนมากในแม่พิมพ์แสงอาทิตย์ และห่อจ่าย-ท่อถัง (P1-P20)
- สำหรับเมื่อต้องการให้มีพื้นที่ดูดความร้อนมากในท่อในท่อน้ำร้อน (T1-T4)

ภาพที่ 3.1 แผนผังการเตรียมชุดทดลอง

3.1.1 การเตรียมชุดทดลองสำหรับวัดอัตราการไหล

การวัดอัตราการไหลใช้วิธี Dry trace inject (Close, 1962 และ Pannigul, 1999) โดยการตัดแผ่นดูดความร้อน 15 cm. ตามความยาวของท่อน้ำ ตัดท่อน้ำทุกห่อความยาว 12 cm. แทนที่ด้วยห่อยางใส่เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.975 cm. เชื่อมต่อระหว่างท่อน้ำและห่อจ่ายด้านล่าง ติดตั้งเครื่องปั๊มสีที่ห่อยางทุกห่อ เช่นเดียวกัน ตัดห่อจ่ายและหอกลับความยาว 15 cm. แทนที่ด้วยห่อยางเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.95 cm. และติดตั้งชุดเข็มฉีดยาที่ห่อยางที่ห่อจ่ายและหอกลับ สีที่ใช้ในการทดลองมีความหนาแน่น 0.9722 เติมสารสีในถุงน้ำเกลือซึ่งสูงกว่าด้านบนสุดของถังน้ำร้อน ปล่อยสารสีผ่านห่อยางขนาดเล็กซึ่งต่อระหว่างชุดเข็มฉีดยาควบคุมอัตราการไหลโดยวาล์วพลาสติก ที่ชุดเข็มฉีดยาแต่ละชุดและตำแหน่งที่วัดอัตราการไหลแสดงในภาพที่ 3.1 วัดอัตราการไหลโดยนาฬิกาจับเวลาเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความยาว 5 cm. ในห่อน้ำทุกห่อ ห่อจ่าย และหอกลับ ทุก 1 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึงเวลา 16.00 น. ปรับตั้งเครื่องโดยวัดอัตราการไหลระหว่าง 0.03-0.5 cm^3/s ค่าคาดความเคลื่อน $\pm 5\%$



ภาพที่ 3.2 ชุดทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลโดยวิธี Dry trace inject

(Close, 1962 และ Pannigul, 1999)

3.1.2 การเตรียมชุดทดลองสำหรับวัดอุณหภูมิ

วัดอุณหภูมิโดย Thermocouple ชนิด K (ค่าคาดความเคลื่อน $\pm 0.5\%$) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนวัดที่พิวของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของห่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง อุณหภูมิของห่อจ่ายและหอกลับวัดที่พิวของห่อจ่ายและหอกลับปีกทับ Thermocouple ด้วยแผ่นสติ๊กเกอร์อะลูมิเนียม แสดงในภาพที่ 3.1 และวัดอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อน

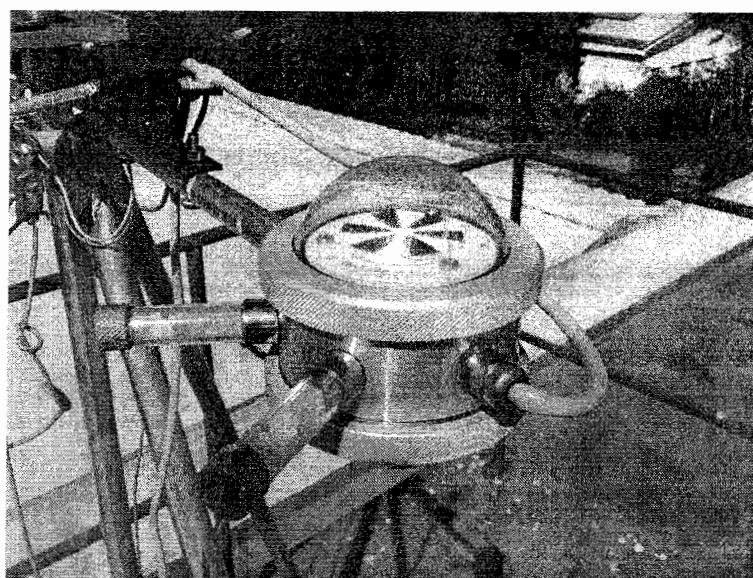
โดย Thermocouple ชนิด K เช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.3 เก็บข้อมูลการวัดอุณหภูมิโดย Data logger (Campbell รุ่น CRX23)



ภาพที่ 3.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ Data logger

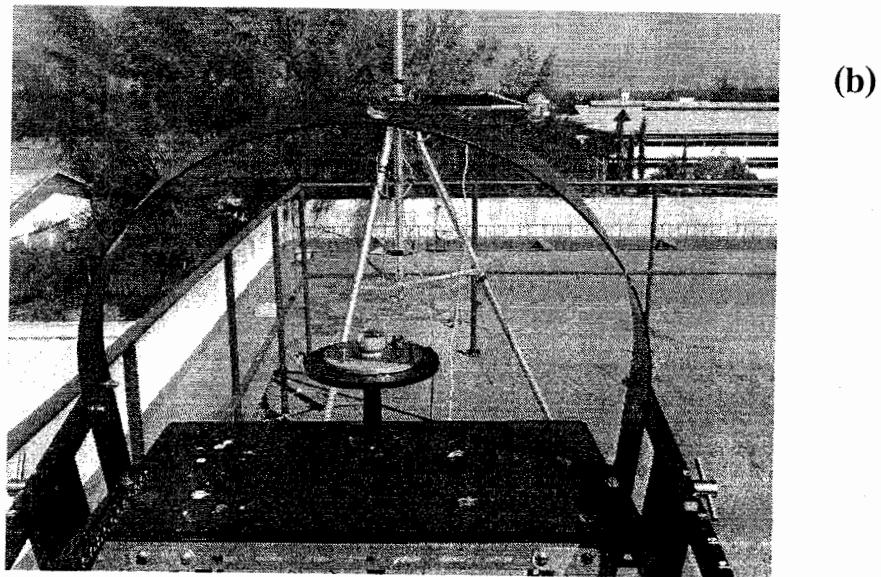
3.1.3 การวัดพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องมือสำหรับวัดปริมาณแสงอาทิตย์ใช้ไฟรานิเมตอร์ (NovaLynx Corporation รุ่น 240-8101 Star Pyranometer ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 2\%$) ดังแสดงในภาพที่ 3.4



(a)

ภาพที่ 3.4 เครื่องมือวัดปริมาณแสงอาทิตย์

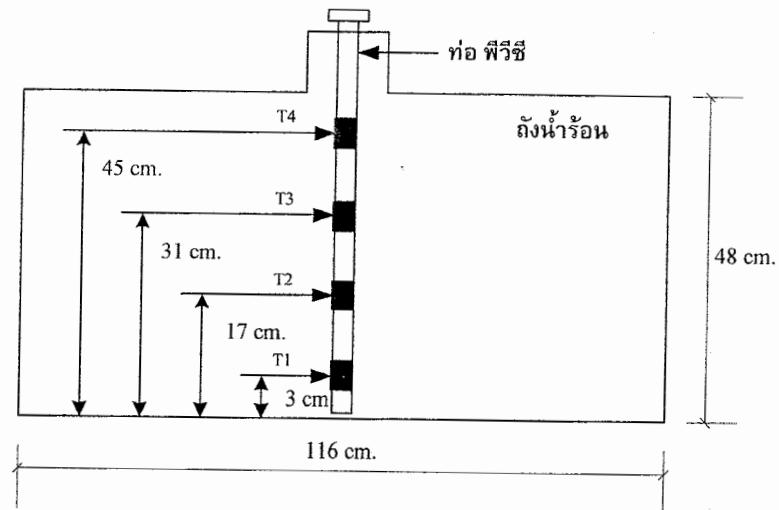


ภาพที่ 3.4 เครื่องมือวัดปริมาณแสงอาทิตย์ (ต่อ)

- (a) การวัดปริมาณแสงอาทิตย์แบบตรงและแบบกระจาย
- (b) การวัดปริมาณแสงอาทิตย์แบบสะท้อน

3.1.4 การวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

วัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในดังตำแหน่งที่แสดงดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนวัด 4 ตำแหน่งที่แตกต่างกันในแนวตั้ง ดังแสดงในภาพที่ 3.5 อุณหภูมิของน้ำตำแหน่งต่ำสุดคือ T_1 ตำแหน่งสูงสุดคือ T_4 อุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่ง สามารถนำมาคำนวณประสิทธิภาพของระบบได้โดยค่า T_1, T_2, T_3, T_4 ใช้คำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำภายในถังน้ำร้อน (Water mean tank temperature, T_{sm}) จากสมการที่ 3.1 คำนวณหามวลของน้ำในแต่ละส่วน m_1, m_2, m_3, m_4 (พิษิษฐ์ และ ชวิติ, 2547) ประสิทธิภาพของระบบมีค่าเท่ากับอัตราส่วน ของพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับต่อพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์รวมที่ต่อกระบทบบขนาดของตัวรับรังสี (Pannigul, 1999)

$$T_{sm} = \frac{\sum_{i=1}^4 T_i m_i}{\sum_{i=4}^4 m_i} \quad (3.1)$$

เมื่อกำหนด T_{sm} หมายถึง อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อน, T_i หมายถึง อุณหภูมิของน้ำในตำแหน่ง 1 ถึงตำแหน่งที่ 4 และ m_i หมายถึง มวลของน้ำในส่วนที่ 1 ถึงส่วนที่ 4

ประสิทธิภาพของระบบ η_{sys} คำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\eta_{sys} = \frac{\Sigma Q_w}{\Sigma I_t A_c} \quad (3.2)$$

โดย Q_w หมายถึง ความร้อนที่นำได้รับ และ $I_t A_c$ หมายถึง รังสีแสงอาทิตย์รวมที่ต่อกระบทบบขนาดของตัวรับรังสี ดังนั้น พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ Q_w คำนวณได้จากสมการที่ 3.3

$$\Sigma Q_w = \sum_{t=6:00}^{16:00} m C_p (T_{sm,t+1} - T_{sm,t}) \quad (3.3)$$

เช่นเดียวกันรังสีแสงอาทิตย์รวมที่ต่อกระบทบบขนาดของตัวรับรังสี $I_t A_c$ คำนวณได้จากสมการที่ 3.4

$$\Sigma I_t A_c = \Sigma (I_t A_c)_t \quad (3.4)$$

3.2 วิธีทำการทดลอง

เพื่อที่จะศึกษาสมรรถนะที่เปลี่ยนแปลงไปของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการลดขั้ตตราการให้เหลือในน้ำบางห่อในแพลงรับแสงอาทิตย์นั้น ผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างชุดทดลอง ตามที่อธิบายก่อนหน้านี้และรายละเอียดของเครื่องแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 วิธีการทดลอง ดำเนินการตามรายละเอียดดังนี้

ก่อนเริ่มทดลองเติมน้ำที่แพลงรับแสงอาทิตย์และถังน้ำร้อนให้เต็มในตอนเช้า

เตรียมอุปกรณ์สำหรับวัดค่าต่างๆ ให้พร้อมก่อนการทดลอง

บันทึกข้อมูล อุณหภูมิของแพ่นดูดความร้อน อุณหภูมน้ำทุกๆ 5 นาที และอัตราการไหลของน้ำทุกๆ ชั่วโมง

การทดลองแต่ละครั้งใช้เวลา 1 วัน

การทดลองประกอบด้วย 5 แบบ เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละวันจะปล่อยน้ำออกจากระบบ ดังนี้

การทดลองแบบที่ 1 เปิดวาล์วที่ท่อน้ำทุกห่อ 100% ตามตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 3.1

การทดลองแบบที่ 2 เปิดวาล์วที่ท่อน้ำทุกห่อ 50% ตามตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 3.1

การทดลองแบบที่ 3 เปิดวาล์วที่ท่อน้ำ R1, R3, R5, R7 100% ที่ท่อน้ำ R2, R4, R6 50% ตามตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 3.1

การทดลองแบบที่ 4 เปิดวาล์วที่ท่อน้ำ R1, R3, R5, R7 100% ปิดวาล์วที่ท่อน้ำ R2, R4, R6 (เปิด 0%)

การทดลองแบบที่ 5 เปิดวาล์วที่ท่อน้ำ R1, R3, R5, R7 50% ปิดวาล์วที่ท่อน้ำ R2, R4, R6 (เปิด 0%)

การทดลองแต่ละแบบนี้ใช้เครื่องมือชุดเดียวกัน ดังนั้นตัวแปรซึ่งไม่อาจควบคุมได้ ที่เกิดขึ้นกับการทดลองแต่ละแบบอันประกอบด้วย ค่ารังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของอากาศ แวดล้อม ผู้วิจัยจึงต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้มีค่าใกล้เคียงกันในการทดลองแต่ละแบบ เพื่อสามารถนำผลของการทดลองแต่ละแบบมาเปรียบเทียบกันได้ เพราะฉะนั้นจึงทำการทดลองแต่ละแบบหลายๆ ครั้ง (หลายวัน) และเลือกวันที่การทดลองแต่ละแบบที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมใกล้เคียงกันมาเปรียบเทียบซึ่งผลการทดลองที่เปรียบเทียบกันได้จะนำเสนอในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดชุดทดลองและรูปแบบการทดลอง

อุปกรณ์	การทดลอง แบบที่ 1	การทดลอง แบบที่ 2	การทดลอง แบบที่ 3	การทดลอง แบบที่ 4	การทดลอง แบบที่ 5
ก.ถังน้ำร้อน					
- ปริมาตร	200 Liters				
- ขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง 48 cm. ยาว 116 cm.				
- วัสดุ	ทำจากสแตนเลส ความหนา 1 mm.				
- จำนวน	ไมโครไฟเบอร์ หนา 2.45 cm.หุ้ม ทับด้วยสังกะสี หนา 1 mm.				
ข.ท่อส่งและท่อกลับ					
- ขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ "				
- วัสดุ	ท่อทองแดง	ท่อทองแดง	ท่อทองแดง	ท่อทองแดง	ท่อทองแดง
- จำนวน	แอโรเฟคหนา $\frac{3}{4}$ "				
ค.แมงรับแสงอาทิตย์					
-ขนาดแมง	780x1820x100 mm.	780x1820x100 mm.	780x1820x100 mm.	780x1820x100 mm.	780x1820x100 mm.
- ท่อน้ำท่อ ที่ 1	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 100%	เปิด 100%	เปิด 50%
- ท่อน้ำท่อ ที่ 2	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 50%	เปิด 0%	เปิด 0%
- ท่อน้ำท่อ ที่ 3	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 100%	เปิด 100%	เปิด 50%
- ท่อน้ำท่อ ที่ 4	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 50%	เปิด 0%	เปิด 0%

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดชุดทดลองและรูปแบบการทดลอง (ต่อ)

- ห้องน้ำท่อ ที่ 5	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 100%	เปิด 100%	เปิด 50%
- ห้องน้ำท่อ ที่ 6	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 50%	เปิด 0%	เปิด 0%
- ห้องน้ำท่อ ที่ 7	เปิด 100%	เปิด 50%	เปิด 100%	เปิด 100%	เปิด 50%
- แผ่นดูด ความร้อน	เหล็กแผ่นทาสีดำ ความหนา 1 mm.				
- ชนวน	ไมโครไฟเบอร์ 3 cm.				
- กระจก	กระจกใส หนา 5 mm.				

3.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นเพื่อทำการทดลอง ดังรายละเอียดชุดทดลองในตารางที่ 3.1 พบว่า แรงรับแสงอาทิตย์ มีขนาดเท่ากับ 1.4 m^2 ถังน้ำร้อนมีขนาดเท่ากับ 200 Liters การทดลองแบบที่ 1 สามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงขึ้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10°C การทดลองแบบที่ 2 สามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงขึ้น โดยเฉลี่ยเท่ากับ 25°C การทดลองแบบที่ 3 สามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงขึ้น โดยเฉลี่ยเท่ากับ 27°C การทดลองแบบที่ 4 สามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงขึ้น โดยเฉลี่ยเท่ากับ 27°C การทดลองแบบที่ 5 สามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงขึ้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 21°C ดังนั้นเมื่อจากการทดลองทั้ง 5 การทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ย ของน้ำร้อนจะเท่ากับ 22°C งบประมาณการก่อสร้างชุดทดลองเท่ากับ 30,000 บาท สมมติฐานดังนี้ อัตราดอกเบี้ย (i) 8 % อายุการใช้งาน (n) 10 ปี ค่าบำรุงรักษาต่อปีเท่ากับ 5 % ของราคาน้ำทุน มูลค่าซากปีสุดท้ายเท่ากับ 5 % ของราคาน้ำทุน และระยะเวลาในการทำงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 330 วันต่อปี ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.5) ถึงสมการที่ (3.9) (เรวัฒน์ ชุนทองจันทร์, 2548)

จากข้อมูลข้างต้นสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

เงินลงทุนสร้างเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_p) คำนวณได้จากสมการที่ (3.5)

$$C_p = \text{ราคาต้นทุน} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.5)$$

มูลค่าชาากเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_s) คำนวณได้จาก

$$C_s = \text{มูลค่าชาากปีสุดท้าย} \times \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (3.6)$$

ค่าซ่อมบำรุงรายปี (C_m) คำนวณได้จาก

$$C_m = 0.05 \times \text{ราคาต้นทุน} \quad (3.7)$$

รวมค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด (C_T) คำนวณได้จาก

$$C_T = C_p + C_s + C_m \quad (3.8)$$

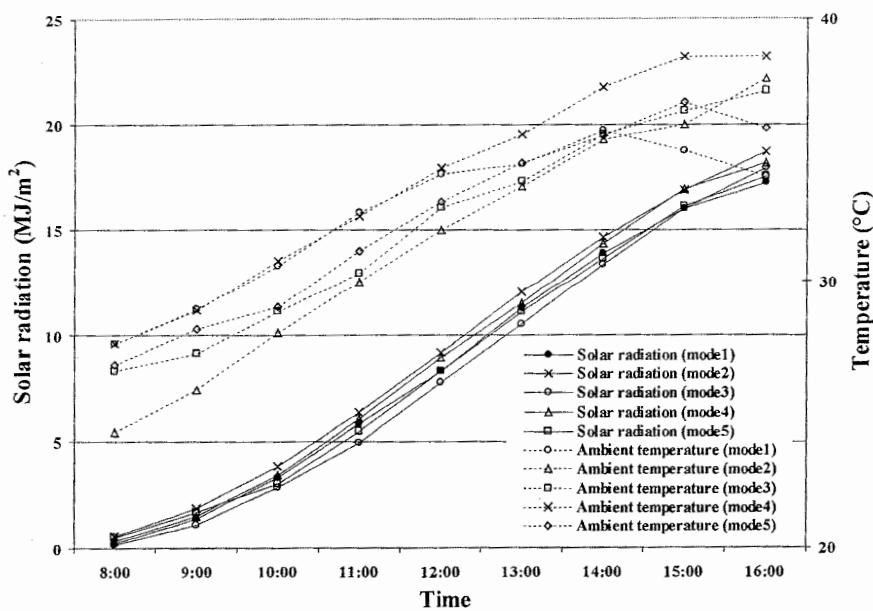
ค่าใช้จ่ายต่อลิตร คำนวณได้จาก

$$\frac{\text{Cost}}{\text{Liter}} = \frac{C_T}{\text{Volume} \times \text{days}} \quad (3.9)$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เนื่องจากใช้ชุดทดลองเพียงชุดเดียว ดังนั้นผลการทดลองทั้ง 5 แบบ จึงเปรียบเทียบในวันที่ทำการทดลองแต่ละแบบซึ่งมีปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.1 โดยนำการทดลองแบบที่ 1 ในวันที่ 23 มีนาคม 2551, นำการทดลองแบบที่ 2 ในวันที่ 24 มีนาคม 2551, นำการทดลองแบบที่ 3 ในวันที่ 21 มีนาคม 2551, นำการทดลองแบบที่ 4 ในวันที่ 20 มีนาคม 2551 และนำการทดลองแบบที่ 5 ในวันที่ 25 มีนาคม 2551 ซึ่งปริมาณแสงอาทิตย์รวมระหว่างวันที่ทำการทดลองเท่ากับ 17.22 MJ/m^2 , 18.66 MJ/m^2 , 17.91 MJ/m^2 , 21.54 MJ/m^2 และ 17.52 MJ/m^2 ตามลำดับ มาเปรียบเทียบกัน เริ่มการทดลองในแต่ละวันที่เวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. และในระหว่างการทดลองไม่มีการถ่ายเทน้ำออกนอกระบบ

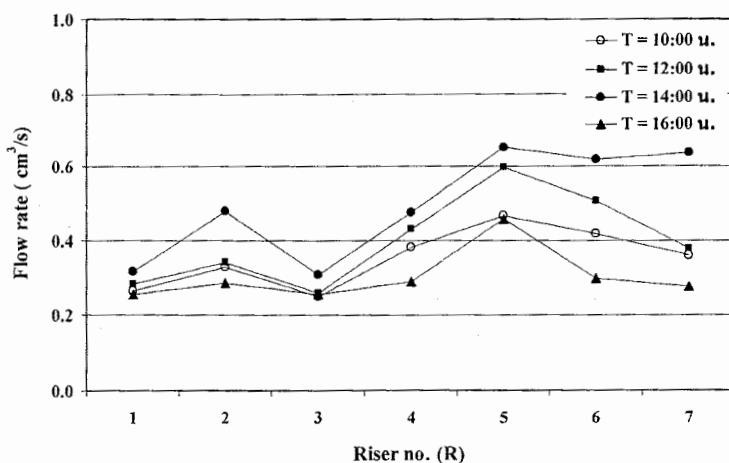


ภาพที่ 4.1 ปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมในระหว่างวันที่ทำการทดลอง

4.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์

4.1.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 1

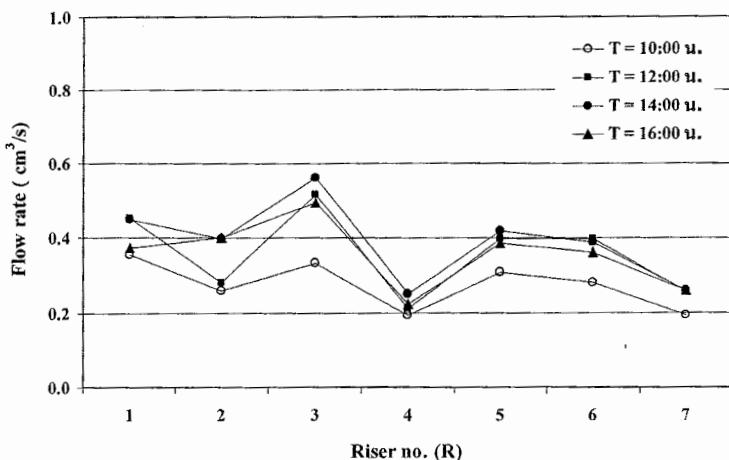
อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 1 แสดงในภาพที่ 4.2 พบว่า อัตราการไหลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง $0.65 \text{ cm}^3/\text{s}$ อัตราการไหลของน้ำในท่อสูงสุดและต่ำสุดเกิดขึ้นที่เวลา 14.00 น. และ 16.00 น. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 1

4.1.2 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 2

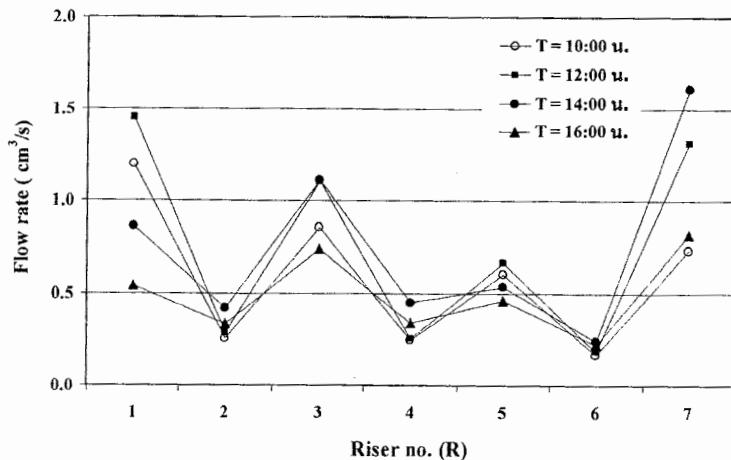
อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.3 พบว่า อัตราการไหลคล่าอยู่ระหว่าง 0.19 ถึง $0.56 \text{ cm}^3/\text{s}$ อัตราการไหลของน้ำในท่อสูงสุดและต่ำสุดเกิดขึ้นที่เวลา 14.00 น. และ 10.00 น.



ภาพที่ 4.3 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 2

4.1.3 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 3

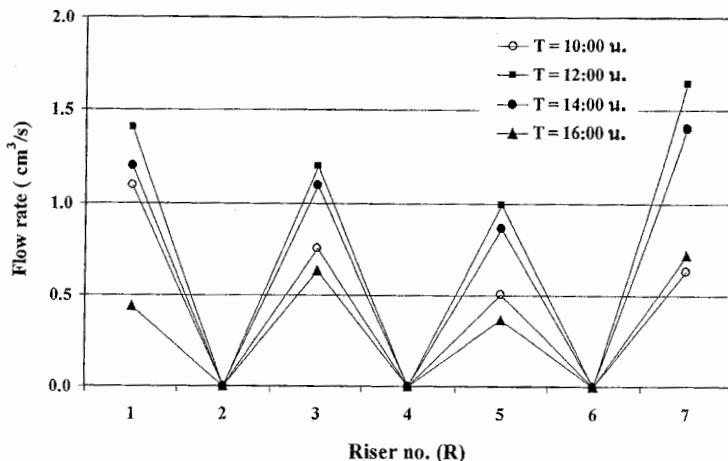
อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ของการทดลองแบบที่ 3 แสดง ดังภาพที่ 4.4 พบว่า อัตราการไหลค่าอยู่ระหว่าง 0.17 ถึง $1.60 \text{ cm}^3/\text{s}$ อัตราการไหลของน้ำในท่อสูงสุดเกิดขึ้นที่เวลา 14.00 n. ส่วนอัตราการไหลของน้ำในท่อต่ำสุดเกิดขึ้นที่เวลา 10.00 n.



ภาพที่ 4.4 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 3

4.1.4 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 4

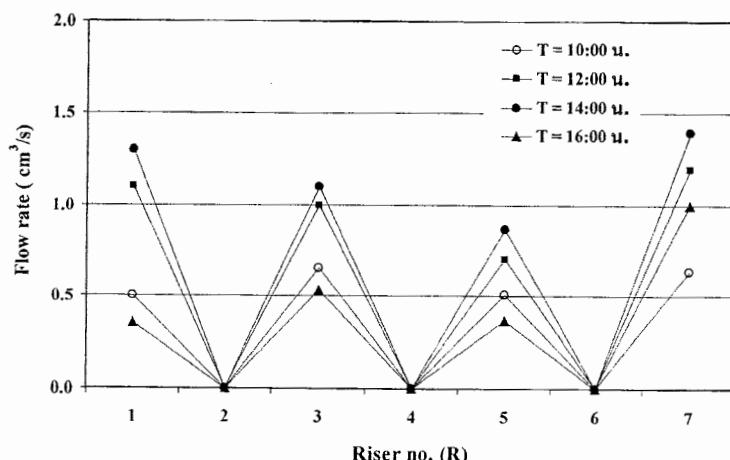
วัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ที่ท่อน้ำ R1, R3, R5 และ R7 เนื่องจากในการทดลองแบบที่ 4 เป็นคราวล์ที่ท่อน้ำ R1, R3, R5 และ R7 เท่านั้น ตามรายละเอียดการทดลองที่แสดงในตารางที่ 1 ผลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำแสดงดังภาพที่ 4.5 พบว่า อัตราการไหลค่าอยู่ระหว่าง 0.36 ถึง $1.63 \text{ cm}^3/\text{s}$ อัตราการไหลของน้ำในท่อสูงสุดและต่ำสุดเกิดขึ้นที่เวลา 12.00 n. และ 16.00 n. ตามลำดับ



ภาพที่ 4.5 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 4

4.1.5 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 5

วัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ที่ท่อน้ำ R1, R3, R5 และ R7 เนื่องจากในการทดลองแบบที่ 4 เป็นเวลาที่ท่อน้ำ R1, R3, R5 และ R7 เท่านั้น ตามรายละเอียดการทดลองที่แสดงในตารางที่ 1 ผลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำแสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่า อัตราการไหลค่าอยู่ระหว่าง 0.35 ถึง 1.40 cm^3/s อัตราการไหลของน้ำในท่อสูงสุดเกิดขึ้นที่เวลา 15.00 น. และอัตราการไหลของน้ำในท่อต่ำสุดเกิดขึ้นที่เวลา 16.00 น.



ภาพที่ 4.6 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 5

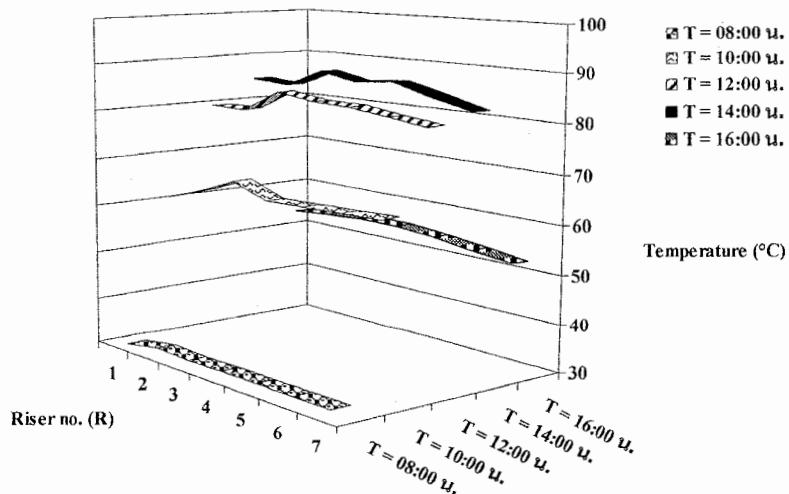
อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์จากการทดลองทั้ง 5 การทดลองแสดงในภาพที่ 4.2 ถึง 4.6 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำระหว่างการทดลองแบบที่ 1 และ 2 พบว่า อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำจากการทดลองแบบที่ 2 น้อยกว่าการทดลองแบบที่ 1 เพราะการเป็นเวลาที่ท่อน้ำทุกท่อเพียง 50 % ซึ่งทำให้อัตราการไหลช้าลงเมื่อเทียบกับการทดลองแบบที่ 1 เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบอัตราการไหลโดยเฉลี่ยของน้ำในท่อน้ำระหว่างการทดลองแบบที่ 3, 4 และ 5 พบว่า อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำของการทดลองแบบที่ 5 น้อยกว่าการทดลองในแบบที่ 4 และการทดลองในแบบที่ 3 เพราะเป็นเวลาที่ท่อน้ำ R1, R2, R3, R4, R5, R6 และ R7 เท่ากับ 50%, 0%, 50%, 0%, 50%, 0% และ 50% การทดลองในแบบที่ 4 เป็นเวลาที่ท่อน้ำ R1, R2, R3, R4, R5, R6 และ R7 เท่ากับ 100%, 0%, 100%, 0%, 100%, 0% และ 100% การทดลองในแบบที่ 3 เป็นเวลาที่ท่อน้ำ R1, R2, R3, R4, R5, R6 และ R7 เท่ากับ 100%, 50%, 100%, 50%, 100%, 50% และ 100% แต่เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองในแบบที่ 1 และ 2 กับการทดลองในแบบที่ 3, 4 และ 5 พบว่า ผลการทดลองที่ได้ค่อนข้างแตกต่างกัน สังเกตได้จาก การวัดอัตราการไหลของน้ำในตำแหน่งที่เป็นเวลา 100% และ 50% จะมีอัตราการไหลของน้ำในท่อสูงกว่าอัตราการไหลของน้ำในการทดลองแบบที่ 1 และ 2 หาก เนื่องจากอิทธิพลของความร้อน

ที่ได้รับเพิ่มสูงขึ้นในห้องน้ำที่เปิดกว้างเพียง 50% และ 0% ในการทดลองแบบที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

4.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งห้องน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง

4.2.1 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งห้องน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 1

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของห้องน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.7 พบร้า ส่วนใหญ่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่อยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C เริ่มตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง 15.00 น. เป็นเวลาร่วมทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง ขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 80.30°C ที่เวลา 15.00 น. และไม่มีช่วงเวลาใดๆ ในการทดลองที่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนอยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C

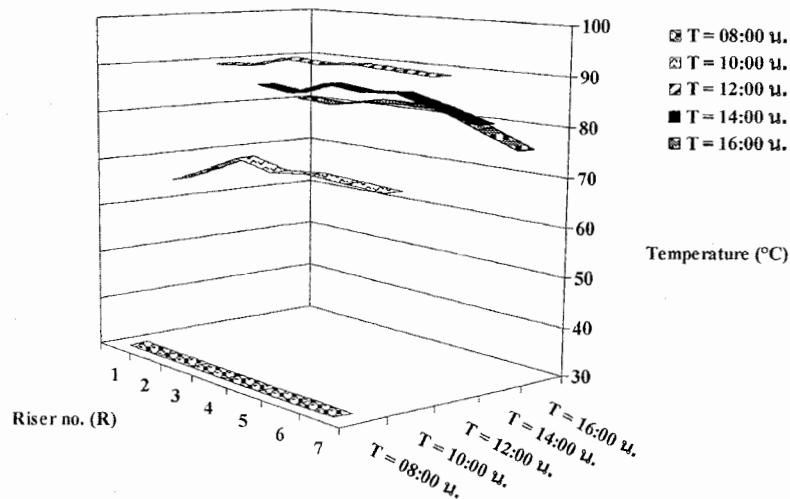


ภาพที่ 4.7 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 1

4.2.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งห้องน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 2

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของห้องน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.8 พบร้า ส่วนใหญ่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่อยู่

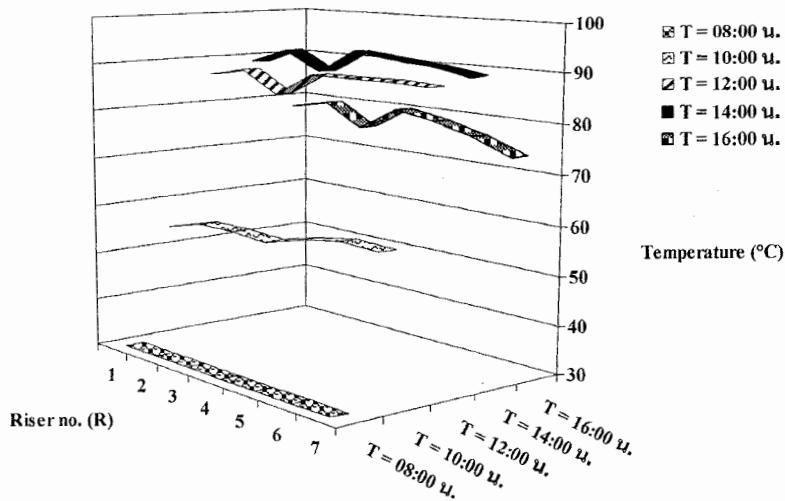
ระหว่าง 80°C ถึง 90°C อยู่ที่เวลา 12.00 น. และ 14.00 น. เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 3 ชั่วโมง ขณะที่ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 84.13°C ที่เวลา 15.00 น. และไม่มีช่วงเวลาใดๆ ของการทดลองที่ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นคุณภาพร้อนอยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C เช่นเดียวกับการทดลองในแบบที่ 1



ภาพที่ 4.8 อุณหภูมิของแผ่นคุณภาพร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 2

4.2.3 อุณหภูมิของแผ่นคุณภาพร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง ในการทดลองแบบที่ 3

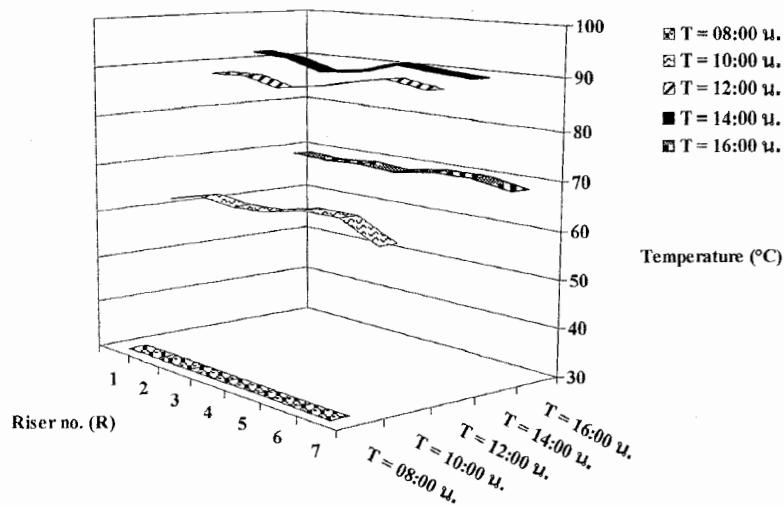
อุณหภูมิของแผ่นคุณภาพร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่างในการ ทดลองแบบที่ 3 แสดงดังภาพที่ 4.9 พนว่า ส่วนใหญ่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นคุณภาพร้อนที่อยู่ ระหว่าง 80°C ถึง 90°C อยู่ที่เวลา 12.00 น. ถึง 15.00 น. เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง ไม่มีช่วงเวลา ใดๆ ในการทดลองที่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นคุณภาพร้อนอยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C ขณะที่ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นคุณภาพร้อนสูงสุดเท่ากับ 89.80°C ที่เวลา 14.00 น.



ภาพที่ 4.9 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกลส์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 3

4.2.4 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งหัวน้ำไกลส์ท่อรวมด้านล่าง ในการทดลองแบบที่ 4

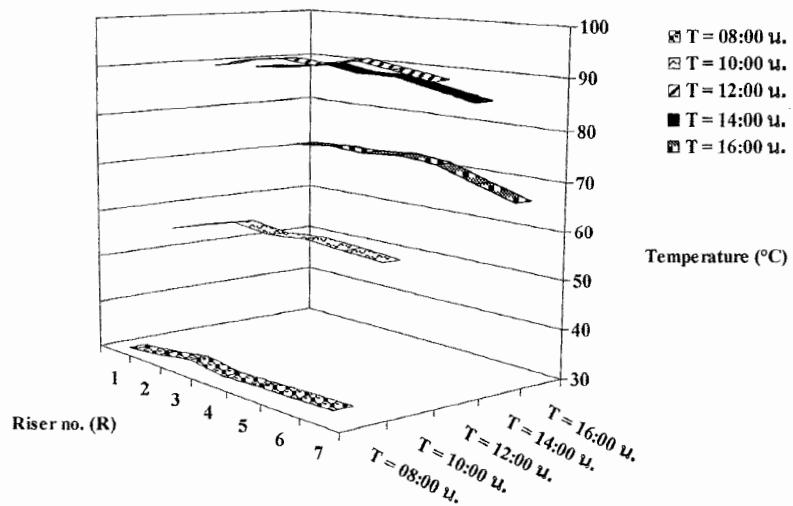
อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งหัวน้ำไกลส์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 4 แสดงดังภาพที่ 4.10 พบว่า ส่วนใหญ่ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่อยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C อยู่ที่เวลา 11.00น. ถึง 15.00น. เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 5 ชั่วโมง ไม่มีช่วงเวลาใดๆ ใน การทดลองที่ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนอยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C ขณะที่ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนสูงสุดเท่ากับ 89.58°C ที่เวลา 14.00 น. เช่นเดียวกับการทดลองในแบบที่ 3



ภาพที่ 4.10 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 4

4.2.5 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 5

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 5 แสดงดังภาพที่ 4.11 พบว่า ส่วนใหญ่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่อยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C อยู่ที่เวลา 12.00น. ถึง 15.00น. เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 4 ไม่มีช่วงเวลาใดๆ ในการทดลองที่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนอยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C ขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนสูงสุดเท่ากับ 84.98°C ที่เวลา 13.00 น.

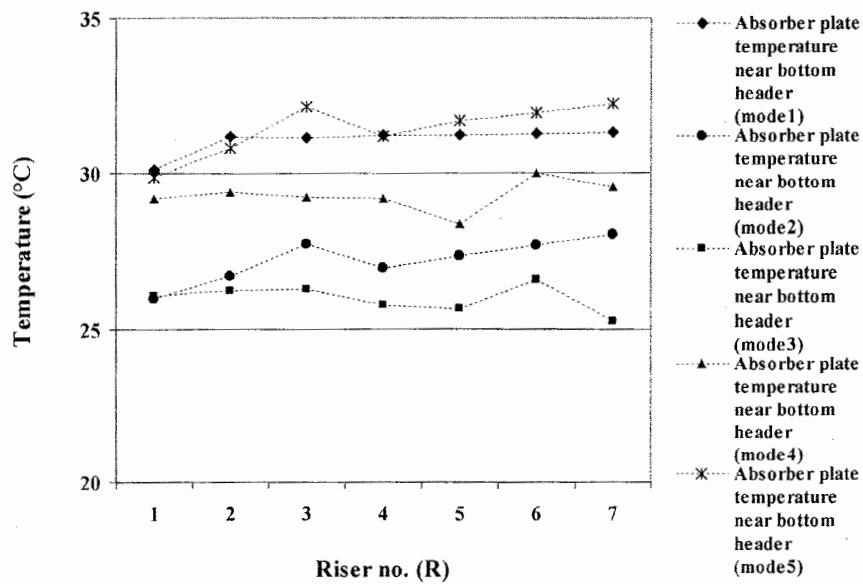


ภาพที่ 4.11 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองแบบที่ 5

4.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง

4.3.1 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 8.00 น.

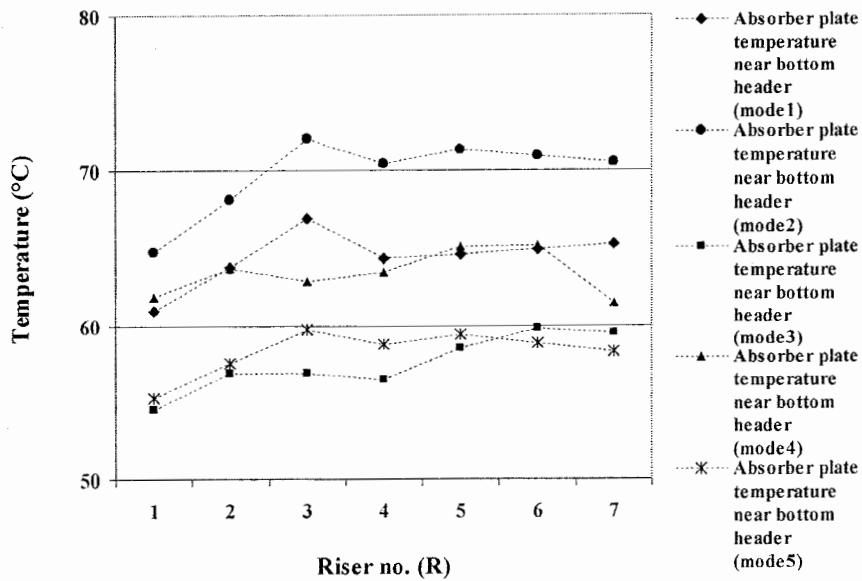
อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแนบของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง ที่เวลา 8.00 น. ในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 แสดงในภาพที่ 4.12 เมื่อจากปริมาณแสงอาทิตย์มีค่าต่ำ ในช่วงแรกของการทดลอง โดยเฉลี่ยในทุกการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.40 MJ/m^2 ดังนั้นอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ช่วงเวลานี้จึงค่อนข้างร้อนเรียนในทุกการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบที่ 1



ภาพที่ 4.12 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 8.00 น.

4.3.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 10.00 น.

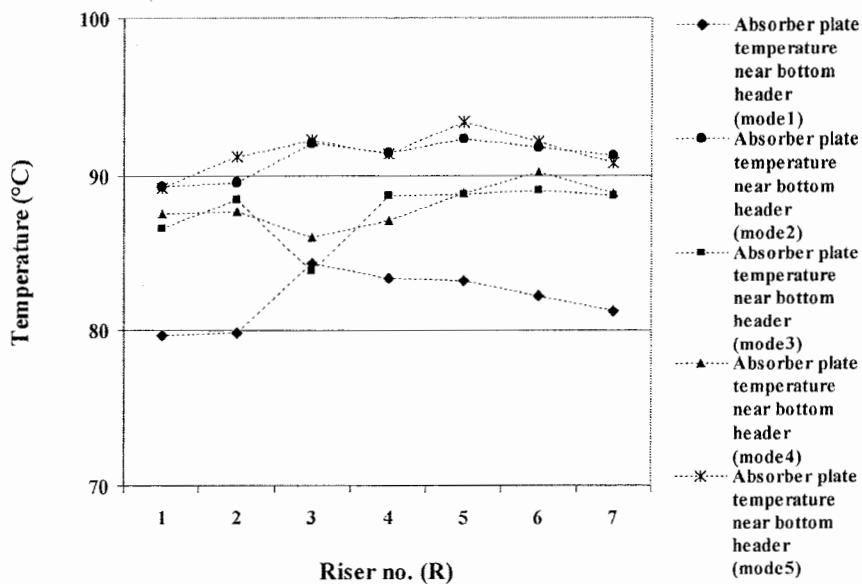
อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง ที่เวลา 10.00 น. ในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 แสดงในภาพที่ 4.13 เนื่องจากปริมาณแสงอาทิตย์ มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉลี่ยในทุกการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.90 MJ/m^2 ดังนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่วัดได้ในการทดลองแต่ละแบบจะจึงปรากฏชัดเจนมากขึ้น และพบว่า อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่มีค่าสูงจะเยื่องมาที่ติดแน่นท่อน้ำ R7 เพราะเป็นตำแหน่งที่รับรังสีแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด ในช่วงเช้าและเกิดผลตรงข้ามกันที่ติดแน่นท่อน้ำ R1 เมื่อเปรียบเทียบการทดลองทั้ง 5 แบบ พบร้า การทดลองในแบบที่ 2 มีอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างสูงที่สุด



ภาพที่ 4.13 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 10.00 น.

4.3.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 12.00 น.

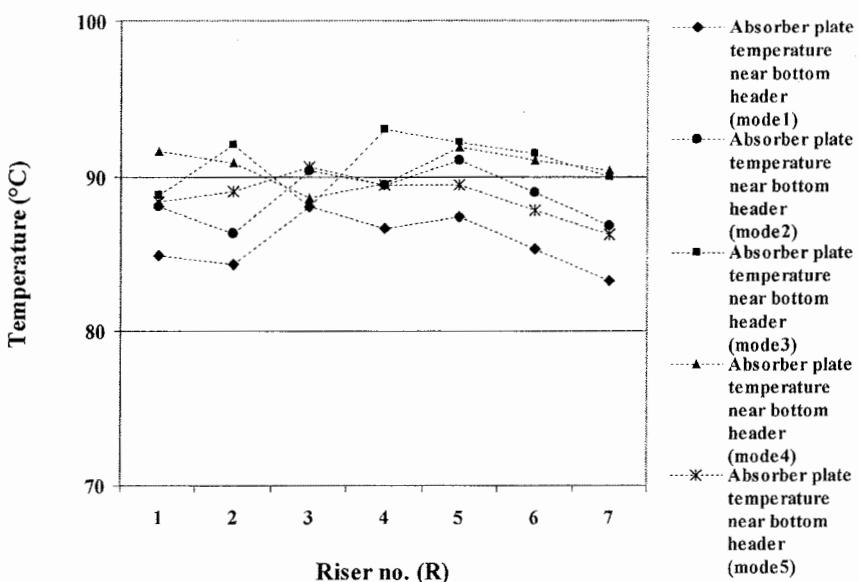
อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง ที่เวลา 12.00 น. ในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 แสดงในภาพที่ 4.14 ณ เวลาเดียวกันนี้ ปริมาณแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยในทุกการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.74 MJ/m^2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่มีค่าสูงจะเข้ามาที่ติดแน่นท่อน้ำ R7 เช่นเดิมแต่ไม่ชัดเจนเท่ากับอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่เวลา 10.00 น. โดยเฉพาะการทดลองในแบบที่ 3, 4 และ 5 อุณหภูมิจะร้อนเรียบคล้ายกับที่เวลา 8.00 น. แต่มีค่าสูงกว่าพระอาทิตย์ที่เวลา 12.00 น. เป็นเวลาที่ทุกๆ ตัวแน่นในแผงรับแสงอาทิตย์ได้รับปริมาณแสงอาทิตย์ไกล์เกียงกันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการทดลองทั้ง 5 แบบ พนวณว่า อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างมีค่าสูงที่สุดอยู่ที่การทดลองแบบที่ 5



ภาพที่ 4.14 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 12.00 น.

4.3.4 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 14.00 น.

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง ที่เวลา 14.00 น. ในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 แสดงในภาพที่ 4.15 ณ เวลาเดียวกันและแสดงอาทิตย์โดยเฉลี่ยในทุกการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.71 MJ/m^2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่มีค่าสูงจะเป็นมาที่ตำแหน่งท่อน้ำ R1 เพราะเป็นตำแหน่งที่รับรังสีแสงอาทิตย์ได้ที่สุดในช่วงบ่ายสังเกตได้ชัดเจนมากที่สุดในการทดลองแบบที่ 5



ภาพที่ 4.15 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่างที่เวลา 14.00 น.

ภาพที่ 4.12 ถึง 4.15 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นของห้องน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่างในการทดลองทั้ง 5 การทดลอง พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนในทุกการทดลองจะอยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C และไม่มีช่วงเวลาใดในการทดลองทั้ง 5 การทดลองที่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนอยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C เมื่อพิจารณาระยะเวลาที่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนอยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C พบว่า การทดลองแบบที่ 4 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวมากที่สุดเท่ากับ 5 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 15.00 น. การทดลองแบบที่ 3 และ 5 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 4 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 12.00 น. ถึง 15.00 น. ส่วนการทดลองแบบที่ 2 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 3 ชั่วโมง โดยเริ่มจากเวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น. ขณะที่การทดลองในแบบที่ 1 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวน้อยที่สุดเท่ากับ 2 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง 15.00 น. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

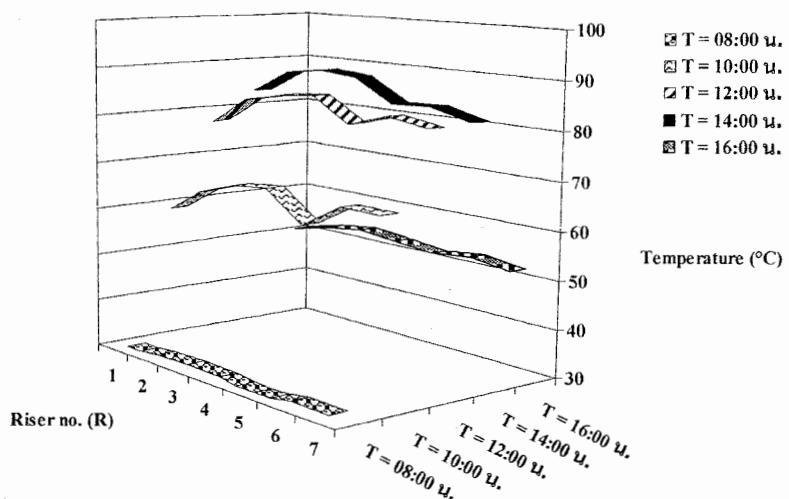
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นของห้องน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง
จากการทดลองทั้ง 5 การทดลอง

การทดลอง	อุณหภูมิไกล์ท่อรวมด้านล่าง ระหว่าง 80°C - 90°C		อุณหภูมิไกล์ท่อรวมด้านล่าง ระหว่าง 90°C - 100°C		อุณหภูมิสูง กว่า 80°C
	ช่วงเวลา (น.)	รวมระยะเวลา (ชั่วโมง)	ช่วงเวลา (น.)	รวมระยะเวลา (ชั่วโมง)	
การทดลอง แบบที่ 1	14.00-15.00	2	-	0	2
การทดลอง แบบที่ 2	12.00-14.00	3	-	0	3
การทดลอง แบบที่ 3	12.00-15.00	4	-	0	4
การทดลอง แบบที่ 4	11.00-15.00	5	-	0	5
การทดลอง แบบที่ 5	12.00-15.00	4	-	0	4

4.4 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งห้องน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน

4.4.1 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งห้องน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน ในการทดลองแบบที่ 1

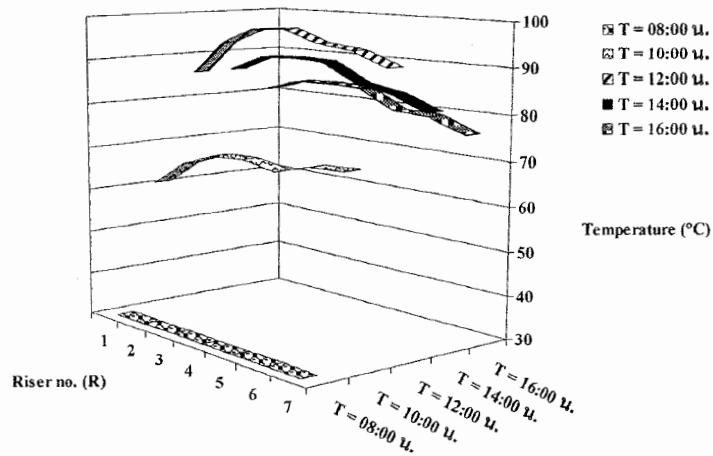
อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งห้องน้ำใกล้ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.16 และพบว่า ส่วนใหญ่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนจะอยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C โดยเริ่มต้นที่เวลา 11.00 น. ถึง 14.00 น. เป็นระยะเวลารวมทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง ขณะที่อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 86.88°C ที่เวลา 13.00 น. และไม่มีช่วงเวลาใดๆ ในการทดลองที่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่อยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C



ภาพที่ 4.16 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 1

4.4.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งห้องน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน ในการทดลองแบบที่ 2

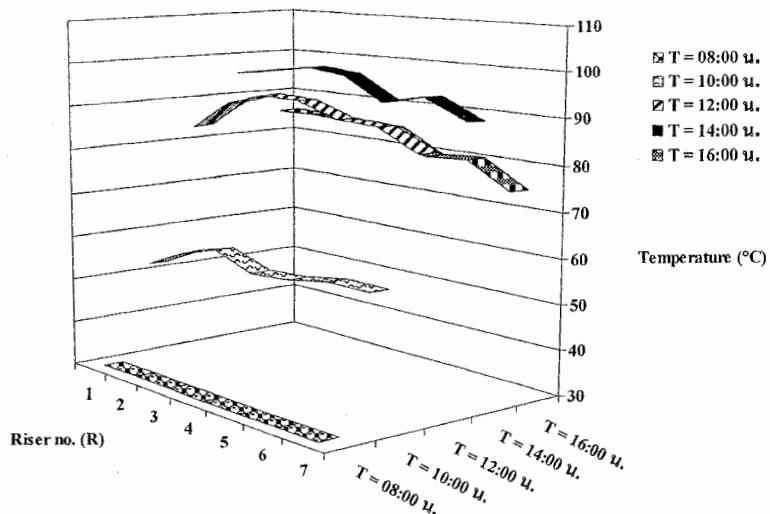
อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งห้องน้ำใกล้ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.17 พ布ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนจะอยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C และ 90°C ถึง 100°C ถึง 100°C มีช่วงระยะเวลาที่เท่ากันเป็นเวลารวมทั้งสิ้นช่วงเวลาละ 3 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนอยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C อยู่ที่เวลา 11.00 น. และ 15.00 น. ถึง 16.00 น. เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 3 ชั่วโมง ขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนอยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C อยู่ที่เวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น. ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 95.21°C ที่เวลา 13.00 น.



ภาพที่ 4.17 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 2

4.4.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ทำแห้งห้องน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน ในการทดลองแบบที่ 3

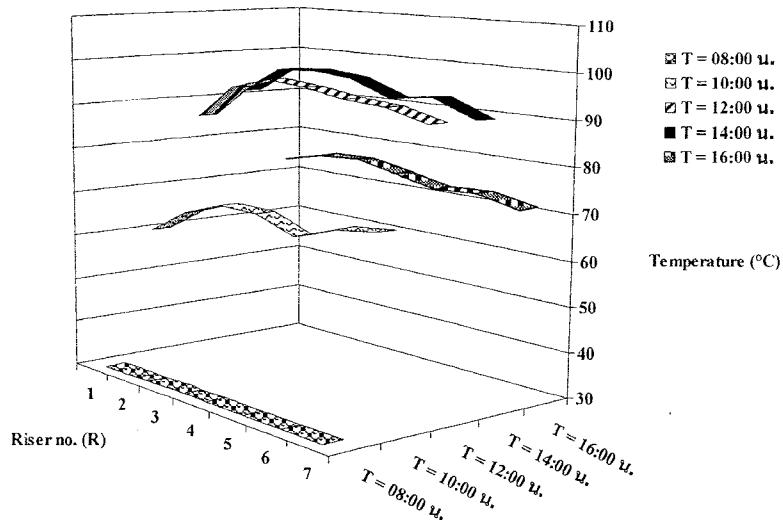
ภาพที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ทำแห้งห้องน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 3 พนว่า ส่วนใหญ่ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนอยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C เกิดขึ้นที่เวลา 13.00 น. ถึง 15.00 น. เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C เกิดขึ้นที่เวลา 12.00 น. และ 16.00 น. เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิสูงสุดตลอดทั้งการทดลองเกิดขึ้นที่เวลา 14.00 น. มีค่าเท่ากับ 95.15°C



ภาพที่ 4.18 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 3

4.4.4 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน ในการทดลองแบบที่ 4

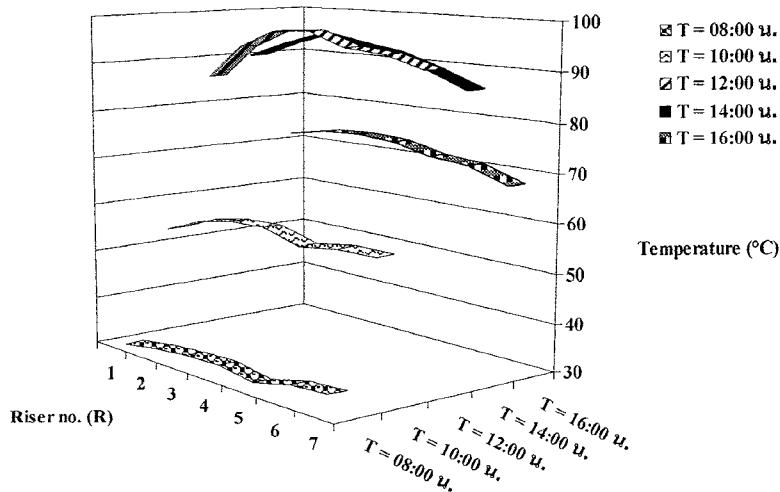
อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 4 แสดงภาพรูปที่ 4.19 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่อยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C ที่เวลา 12.00 น. ถึง 15.00 น. เป็นเวลาร่วมทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C อยู่ที่เวลา 11.00 น. เป็นระยะเวลารวมทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิสูงสุดมีค่าเท่ากับ 94.51°C เกิดขึ้นที่เวลา 14.00 น.



ภาพที่ 4.19 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 4

4.4.5 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน ในการทดลองแบบที่ 5

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 5 แสดงดังภาพที่ 4.20 และพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนอยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C อยู่ที่เวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น. เป็นเวลาร่วมทั้งสิ้น 3 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C อยู่ที่เวลา 11.00 น. และ 15.00 น. เป็นระยะเวลารวมทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิสูงสุดลดลงทั้งการทดลองเกิดขึ้นที่เวลา 13.00 น. มีค่าเท่ากับ 94.93°C

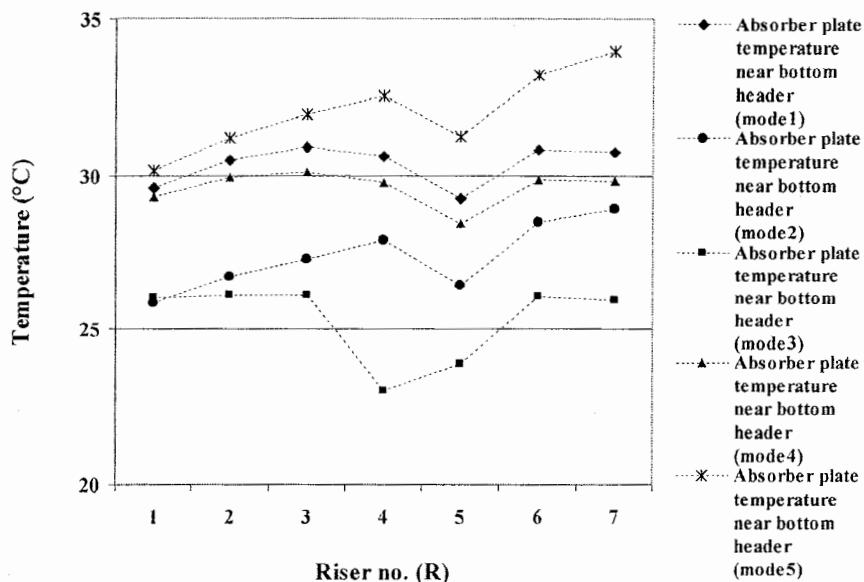


ภาพที่ 4.20 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลองแบบที่ 5

4.5 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน

4.5.1 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนที่เวลา 8.00 น.

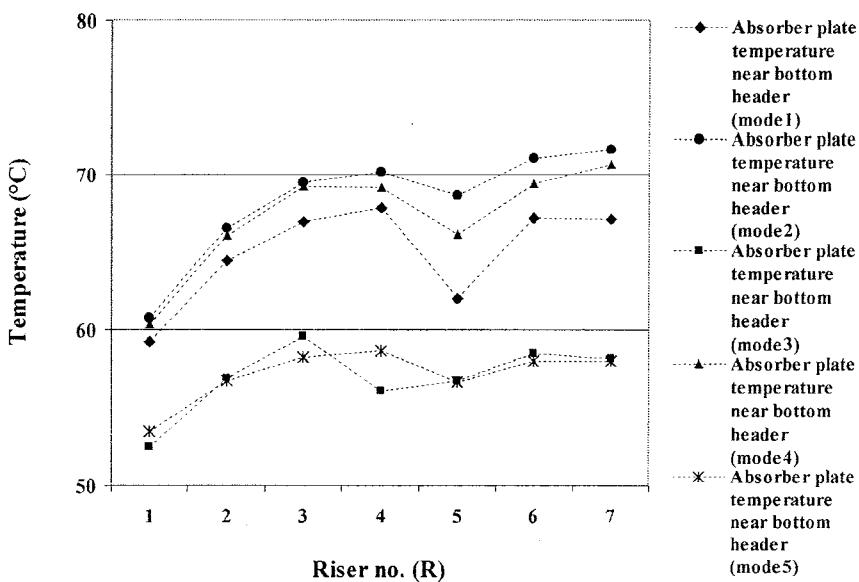
อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน ที่เวลา 8.00 น. ในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 แสดงในภาพที่ 4.21 เนื่องจากความคุมอัตรารการ ให้ลด ของน้ำในท่อน้ำให้ลดต่ำลงในการทดลองแบบที่ 2, 3, 4 และ 5 ดังนั้น น้ำภายในท่อน้ำจึงสะสม ความร้อนได้นานขึ้นจากเดิมที่ไม่มีการควบคุมอัตรารการ ให้ลดของน้ำในการทดลองแบบที่ 1 ดังนั้น ณ ช่วงเวลาที่อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนในการทดลอง แบบที่ 1 จึงค่อนข้างนานเรียบกว่าในทุกการทดลอง ขณะที่การทดลองแบบที่ 2, 3, 4 และ 5 สังเกต ได้ชัดเจนถึงความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งที่วัดของการทดลองแต่ละแบบ โดยเฉพาะ อย่างยิ่ง ในการทดลองแบบที่ 5 และพบว่า อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่มีค่าสูงจะເเยื่องมากที่ ตำแหน่ง ท่อน้ำ R7 เพราะเป็นตำแหน่งที่รับรังสีแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุดในช่วงเช้า เช่นเดียวกับผล ของการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง เมื่อเปรียบเทียบ การทดลองที่ 5 แบบพบว่า อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนมีค่าสูงที่สุดอยู่ที่การ ทดลองแบบที่ 5



ภาพที่ 4.21 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนที่เวลา 8.00 น.

4.5.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนที่เวลา 10.00 น.

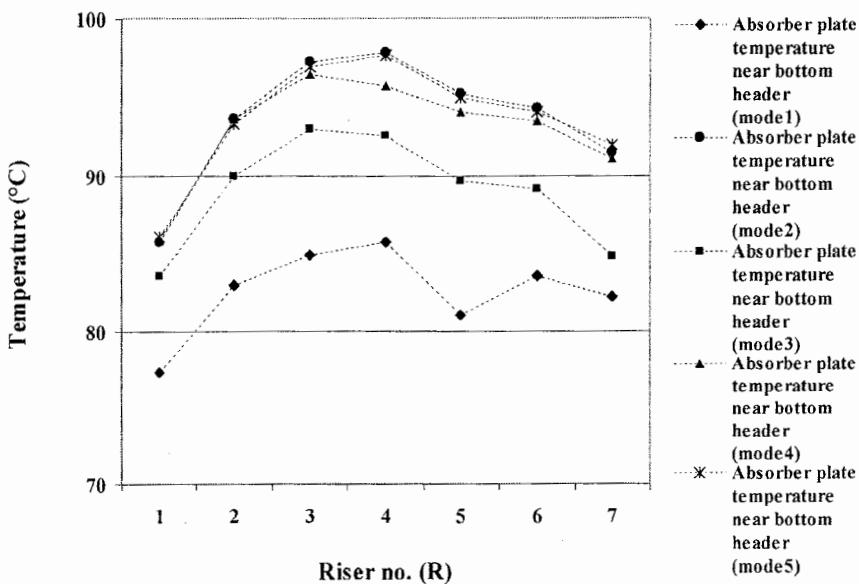
อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน ที่เวลา 10.00 น. ในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 แสดงในภาพที่ 4.22 พบว่า อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อน ที่มีค่าสูงจะเยื่องมาที่ติดแน่นท่อน้ำ R7 เพราะเป็นติดแน่นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ได้ที่สุดในช่วงเช้า และตรงข้ามกัน ที่ติดแน่นท่อน้ำ R1 เช่นเดียวกับผลของการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง เมื่อเปรียบเทียบการทดลองทั้ง 5 แบบ พบว่า การทดลองในแบบที่ 2 มีอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนสูงที่สุด



ภาพที่ 4.22 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนที่เวลา 10.00 น.

4.5.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน ที่เวลา 12.00 น.

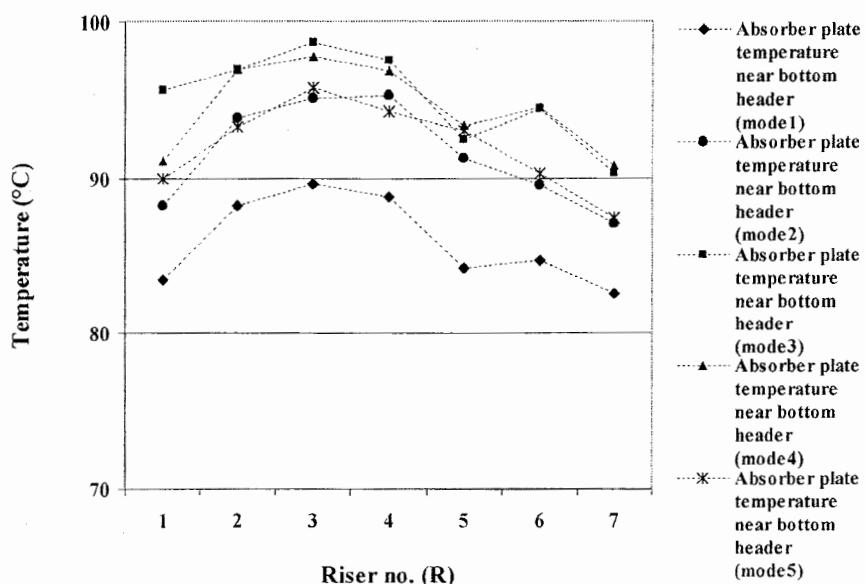
อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่คำแนะนำของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน ที่เวลา 12.00 น. ในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 แสดงในภาพที่ 4.23 พบว่า อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อน ที่คำแนะนำของท่อน้ำ R7 สูงกว่า อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่คำแนะนำของท่อน้ำ R1 เช่นเดิม แต่ อุณหภูมิสูงสุดไม่ได้เยื่องมาที่คำแนะนำของท่อน้ำ R7 แต่อยู่ใกล้กลางระหว่างท่อน้ำ R1 และ R7 มีลักษณะรูปร่างของอุณหภูมิคล้ายรูปประฆังกว่า เมื่อเปรียบเทียบการทดลองทั้ง 5 แบบ พบว่า การทดลองในแบบที่ 2 มีอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนสูงที่สุด การทดลองแบบที่ 5, 4, 3 และ 1 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.23 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนที่เวลา 12.00 น.

4.5.4 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนที่เวลา 14.00 น.

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน ที่เวลา 14.00 น. ในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 แสดงในภาพที่ 4.24 เช่นเดียวกับที่เวลา 12.00 น. อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อน ที่ตำแหน่งท่อน้ำ R7 สูงกว่าอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำ R1 เช่นเดิม แต่อุณหภูมิสูงสุดไม่ได้เยื่องมาที่ตำแหน่งท่อน้ำ R7 แต่อยู่ใกล้กลางระหว่างท่อน้ำ R1 และ R7 มีลักษณะรูปร่างของอุณหภูมิคล้ายรูปประแจกว่า เมื่อเปรียบเทียบการทดลองทั้ง 5 แบบ พบร่วมกันว่า การทดลองในแบบที่ 3 มีอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบนสูงที่สุด การทดลองแบบที่ 4, 5, 2 และ 1 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.24 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านบนที่เวลา 14.00 น.

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งของท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านบน

จากการทดลองทั้ง 5 การทดลอง

การทดลอง	อุณหภูมิใกล้ท่อรวมด้านบน ระหว่าง 80°C-90°C		อุณหภูมิใกล้ท่อรวมด้านบน ระหว่าง 90°C-100°C		อุณหภูมิสูง กว่า 80°C
	ช่วงเวลา (น.)	รวมระยะเวลา (ชั่วโมง)	ช่วงเวลา (น.)	รวมระยะเวลา (ชั่วโมง)	
การทดลอง แบบที่ 1	11.00-14.00	4	-	0	4
การทดลอง แบบที่ 2	11.00, 15.00- 16.00	3	12.00-14.00	3	6
การทดลอง แบบที่ 3	12.00, 16.00	2	13.00-15.00	3	5
การทดลอง แบบที่ 4	11.00	1	12.00-15.00	4	5
การทดลอง แบบที่ 5	15.00	2	12.00-14.00	3	5

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นของท่อน้ำไก่ล็อท่อรวมด้านบน จากการทดลองทั้ง 5 แบบ แสดงในรูปที่ 4.21 ถึง 4.24 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนในทุกการทดลองส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 80°C ถึง 90°C เช่นเดียวกับ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นของท่อน้ำไก่ล็อท่อรวมด้านล่างดังนี้ การทดลองแบบที่ 1 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 4 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 2 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 3 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 3 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 2 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 4 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 1 ชั่วโมง และการทดลองแบบที่ 5 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 2 ชั่วโมง และอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่อยู่ระหว่าง 90°C ถึง 100°C ใน การทดลองแบบที่ 2 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 3 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 3 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 3 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 4 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 4 ชั่วโมง และการทดลองแบบที่ 5 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 3 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่มี อุณหภูมิตั้งแต่ 80°C ขึ้นไป พบว่า การทดลองแบบที่ 2 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวมากที่สุดเท่ากับ 6 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 3, 4 และ 5 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 5 ชั่วโมง และการทดลอง แบบที่ 1 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ มีอุณหภูมิตั้งแต่ 90°C ขึ้นไป พบว่า การทดลองแบบที่ 2 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวมากที่สุดเท่ากับ 3 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 3 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 3 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 5 มีช่วง ระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 3 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 4 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวมากที่สุดเท่ากับ 2 ชั่วโมง ขณะที่การทดลองแบบที่ 1 ไม่มีช่วงระยะเวลาดังกล่าว เนื่องจากการไม่มีการควบคุมอัตรา การไหลของน้ำในท่อน้ำภายในແง蓉รับแสงอาทิตย์ให้ช้าลงในการทดลองที่ 2 ถึง 5 เป็นผลให้น้ำใน ท่อน้ำสะสมความร้อนได้มากขึ้น ดังนั้น อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนในการทดลองที่ 2 ถึง 5 จึงสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนในการทดลองที่ 1 สังเกตได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยของ แผ่นดูดความร้อนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 90°C ขึ้นไปไม่เกิดขึ้นในการทดลองแบบที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนในการทดลองที่ 2 ถึง 5 พบว่า เนื่องจากอัตราการไหลในการ ทดลองแบบที่ 2 มีค่าน้อยที่สุดจึงมีอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนสูงที่สุด สังเกตได้จากอุณหภูมิ เฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 80°C ขึ้นไป พบว่า การทดลองแบบที่ 2 มีช่วง ระยะเวลาดังกล่าวมากที่สุดเท่ากับ 6 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 3, 4 และ 5 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าว เท่ากับ 5 ชั่วโมง และการทดลองแบบที่ 1 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 4 ชั่วโมง และอุณหภูมิ เฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 90°C ขึ้นไป พบว่า การทดลองแบบที่ 2 มีช่วง ระยะเวลาดังกล่าวมากที่สุดเท่ากับ 3 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 3 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ

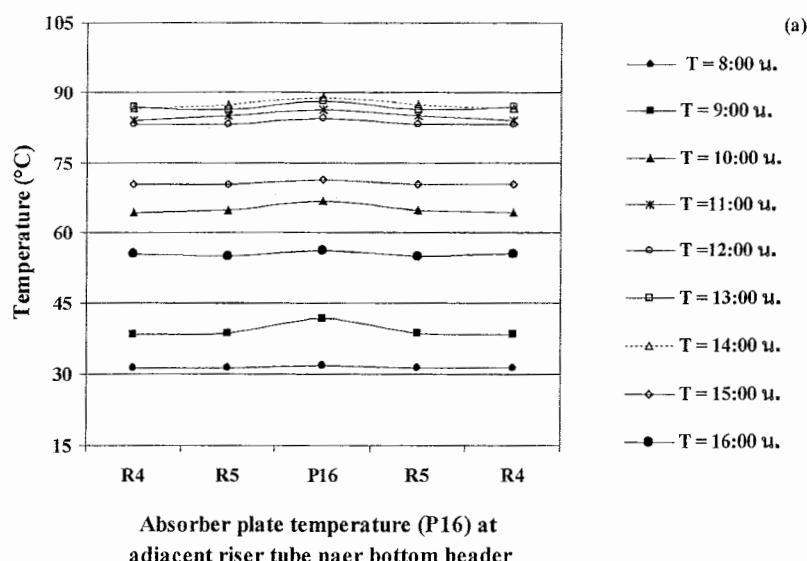
3 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 5 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวเท่ากับ 3 ชั่วโมง การทดลองแบบที่ 4 มีช่วงระยะเวลาดังกล่าวมากที่สุดเท่ากับ 4 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4.2

4.6 อุณหภูมิของแผ่นคู่ความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อุปกรณ์ชิดกัน

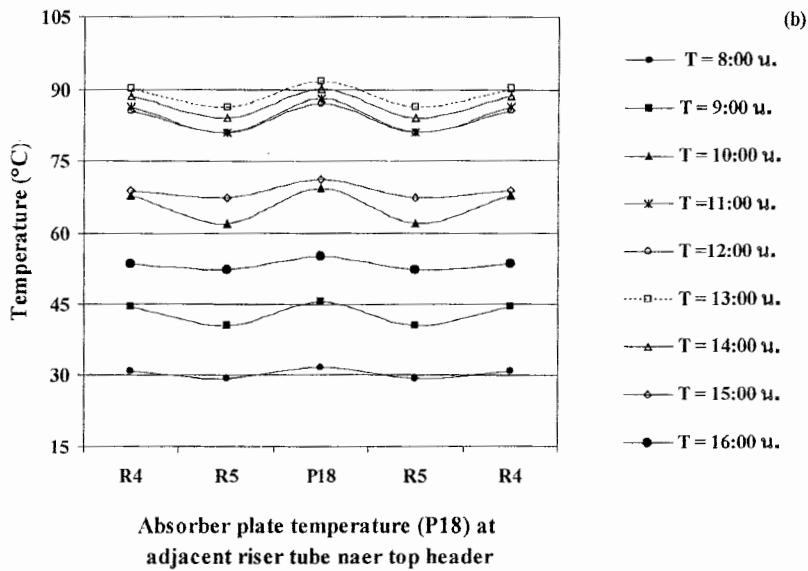
4.6.1 อุณหภูมิของแผ่นคู่ความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อุปกรณ์ชิดกัน

ใกล้ท่อรวมด้านบนและล่างในการทดลองแบบที่ 1

อุณหภูมิของแผ่นคู่ความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อุปกรณ์ชิดกันใกล้ท่อรวมด้านบนและล่าง ใน การทดลองแบบที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4.25(a) และ 4.25(b) จากภาพที่ 4.25(a) ซึ่งแสดงอุณหภูมิของแผ่นคู่ความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อุปกรณ์ชิดกันที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านล่าง พบว่า รูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ค่อนข้างราบเรียบตั้งแต่ช่วงแรกของการไปจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง และ จากภาพที่ 4.25(b) ซึ่งแสดงอุณหภูมิของแผ่นคู่ความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อุปกรณ์ชิดกันที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบน พบว่า ช่วงแรกของการทดลองรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ค่อนข้างราบเรียบ แต่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับเพิ่มสูงขึ้นรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้จะมีลักษณะคล้ายรูปหัวใจ เนื่องจากงานวิจัยของ A. Shitzer และคณะที่ทำการวิจัยในปี ค.ศ 1978 โดยอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อุปกรณ์ชิดกัน (ที่ตำแหน่ง P18 ระหว่างท่อน้ำ R4 และ R5) อุณหภูมิจะเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสูงสุดเท่ากับ 91.75°C ที่เวลา 13.00 น. หลังจากนั้น อุณหภูมิจะลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกันจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 4.25 อุณหภูมิของแผ่นคู่ความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่ใกล้อุปกรณ์ชิดกัน
ในการทดลองแบบที่ 1

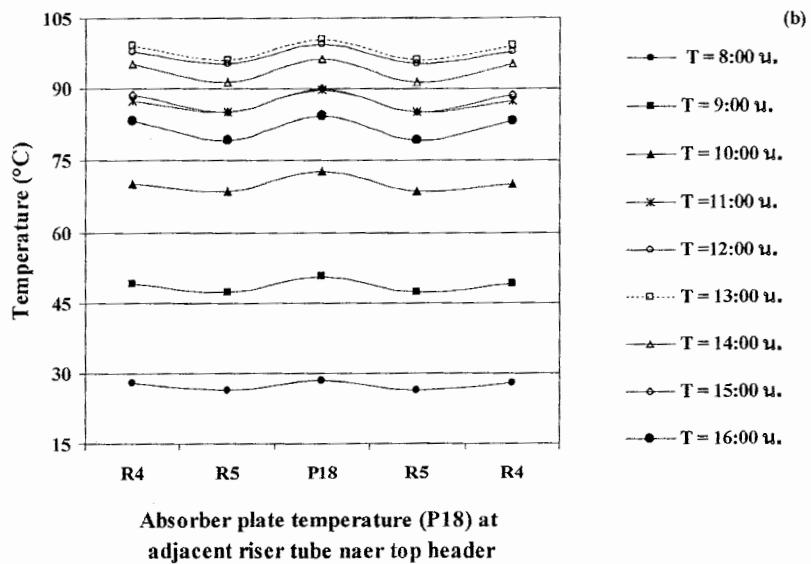
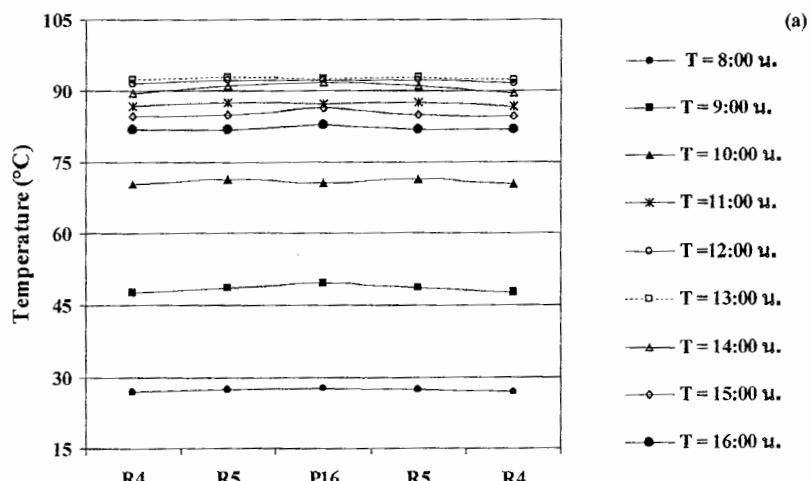


ภาพที่ 4.25 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่ใกล้กัน
ในการทดลองแบบที่ 1 (ต่อ)

- (a) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านล่าง
- (b) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านบน

4.6.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อยู่ใกล้ชิดกันใกล้ท่อรวมด้านบนและล่างในการทดลองแบบที่ 2

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อยู่ชิดกันใกล้ท่อรวมด้านบนและล่าง ใน การทดลองแบบที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4.26(a) และ 4.26(b) จากภาพที่ 4.26(a) ซึ่งแสดงอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อยู่ชิดกันที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านล่าง พบว่า รูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ค่อนข้างราบรื่นตั้งแต่ช่วงแรกของการทดลองไปจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง และ จากภาพที่ 4.26(b) ซึ่งแสดงอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อยู่ชิดกันที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบน พนว่า ช่วงแรกของการทดลองรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ค่อนข้างราบรื่น แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับเพิ่มสูงขึ้นรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้มีลักษณะคล้ายรัง┃กว่าเห็นเดี๋ยวกับงานวิจัยของ A. Shitzer และคณะที่ทำการวิจัยในปี ค.ศ 1978 โดยอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อยู่ชิดกัน (ที่ตำแหน่ง P18 ระหว่างท่อน้ำ R4 และ R5) อุณหภูมิจะเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดเท่ากับ 100.28°C ที่เวลา 13.00 น. หลังจากนั้น อุณหภูมิจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เช่น กับงานกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

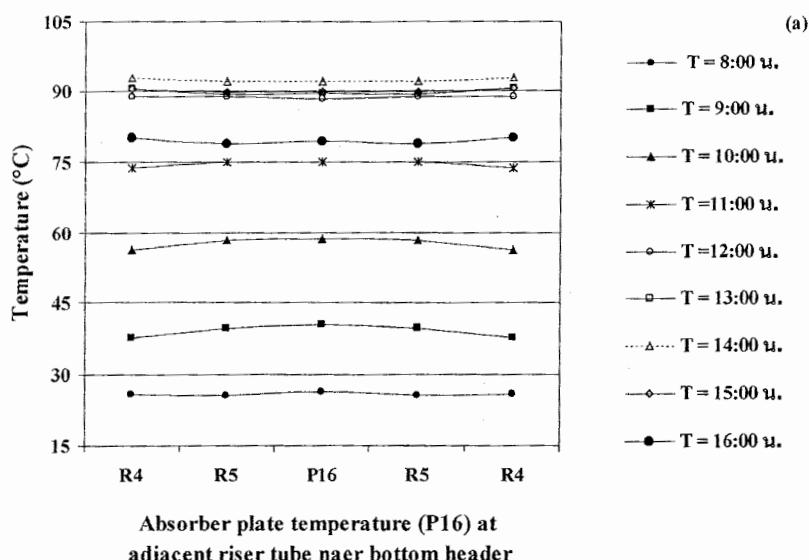


ภาพที่ 4.26 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำส่องห่อที่ไกล์อี้ซิดกัน
ในการทดลองแบบที่ 2

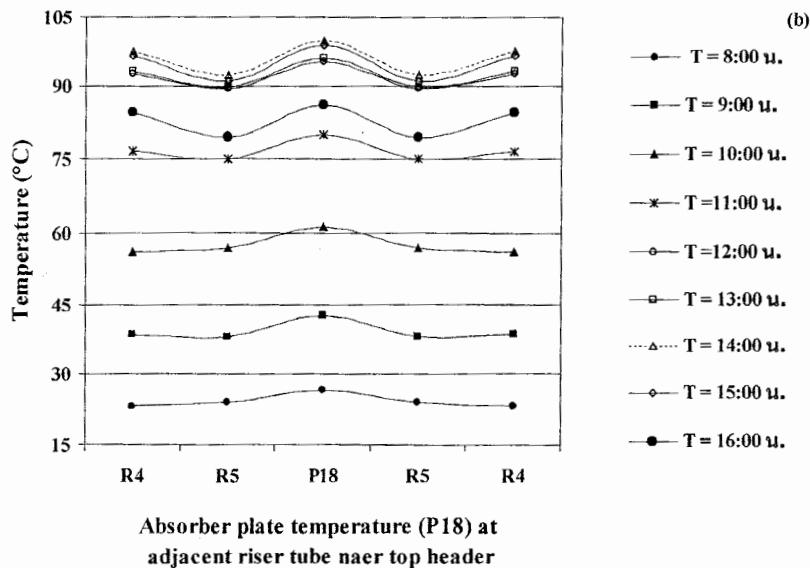
- (a) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ห่อรวมค้านล่าง
- (b) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ห่อรวมค้านบน

4.6.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อยู่ใกล้ชิดกันใกล้ท่อรวม ด้านบนและล่างในการทดลองแบบที่ 3

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อยู่ชิดกันใกล้ท่อรวม ด้านบนและล่าง ใน การทดลองแบบที่ 3 แสดงดังภาพที่ 4.27(a) และ 4.27(b) จากรูปที่ 4.27(a) ซึ่ง แสดงอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อยู่ชิดกันที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านล่าง พบว่า รูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ค่อนข้างราบเรียบตั้งแต่ช่วงแรกของการทดลองไปจนกระทั่งสิ้นสุด การทดลอง และ จากราฟที่ 4.27(b) ซึ่งแสดงอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่ อยู่ชิดกันที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบน พบว่า ช่วงแรกของการทดลองรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ ค่อนข้างราบเรียบ แต่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณสองอาทิตย์ที่ได้รับเพิ่มสูงขึ้นรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ จะมีลักษณะคล้ายระฆังกว้างชั่นเดียวกับงานวิจัยของ A. Shitzer และคณะที่ทำการวิจัยในปี ค.ศ 1978 โดยอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อยู่ชิดกัน (ที่ตำแหน่ง P18 ระหว่างท่อน้ำ R4 และ R5) อุณหภูมิจะเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดเท่ากับ 99.90°C ที่เวลา 14.00 น. หลังจากนั้น อุณหภูมิจะลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกันจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 4.27 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองท่อที่ใกล้ชิดกัน ในการทดลองแบบที่ 3

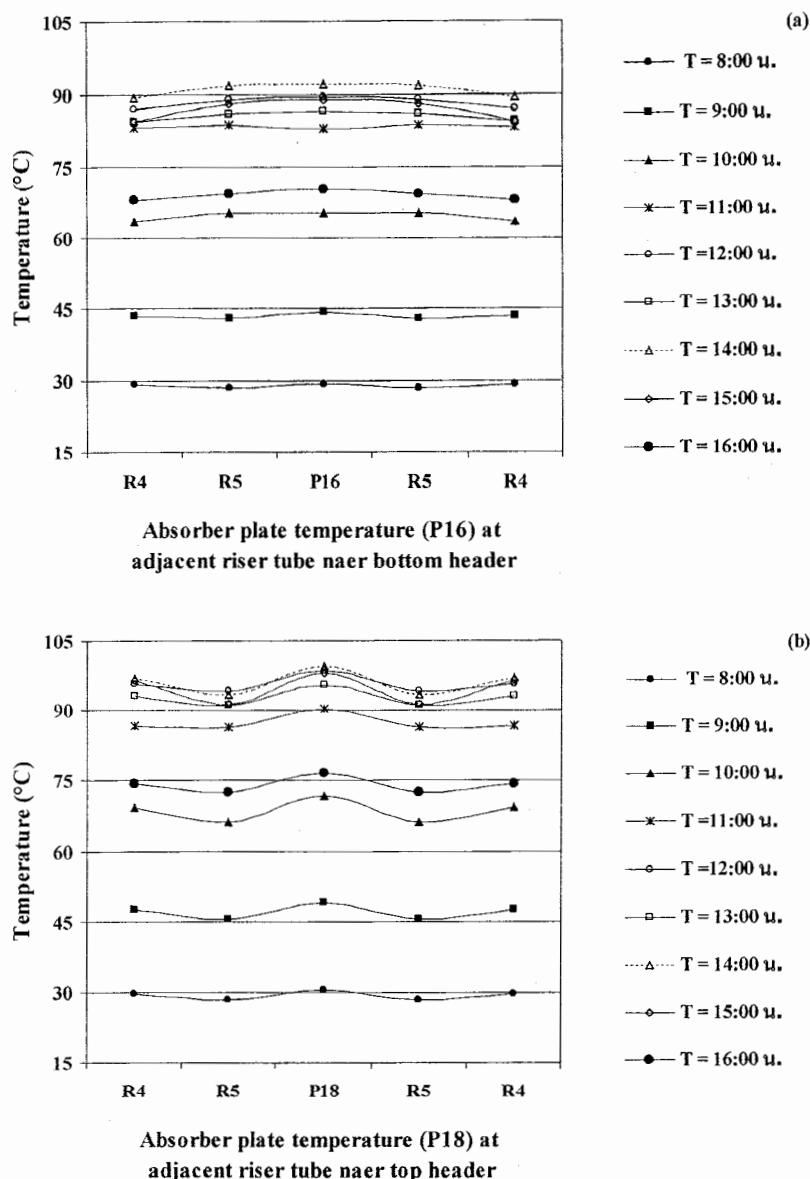


ภาพที่ 4.27 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่ไกล์อี้ซิดกันในการทดลองแบบที่ 3 (ต่อ)

- (a) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ห่อรวมด้านล่าง
- (b) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ห่อรวมด้านบน

4.6.4 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่อยู่ไกล์ชิดกันไกล์ห่อรวมด้านบนและล่างในการทดลองแบบที่ 4

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่อยู่ไกล์ชิดกันไกล์ห่อรวมด้านบนและล่าง ใน การทดลองแบบที่ 3 แสดงคังภาพที่ 4.28(a) และ 4.28(b) จากรูปที่ 4.28(a) ซึ่งแสดงอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่อยู่ไกล์ชิดกันที่ตำแหน่งไกล์ห่อรวมด้านล่าง พบว่า รูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ค่อนข้างราบเรียบตั้งแต่ช่วงแรกของการทดลองไปจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง และ จากราฟที่ 4.28(b) ซึ่งแสดงอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่อยู่ไกล์ชิดกันที่ตำแหน่งไกล์ห่อรวมด้านบน พบว่า ช่วงแรกของการทดลองรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ค่อนข้างราบเรียบ แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับเพิ่มสูงขึ้นรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้จะมีลักษณะคล้ายระฆัง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ A. Shitzer และคณะที่ทำการวิจัยในปี ค.ศ 1978 โดยอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ระหว่างท่อน้ำสองห่อที่อยู่ไกล์ชิดกัน (ที่ตำแหน่ง P18 ระหว่างท่อน้ำ R4 และ R5) อุณหภูมิจะเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสูงสุดเท่ากับ 99.42°C ที่เวลา 14.00 น. หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกันจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

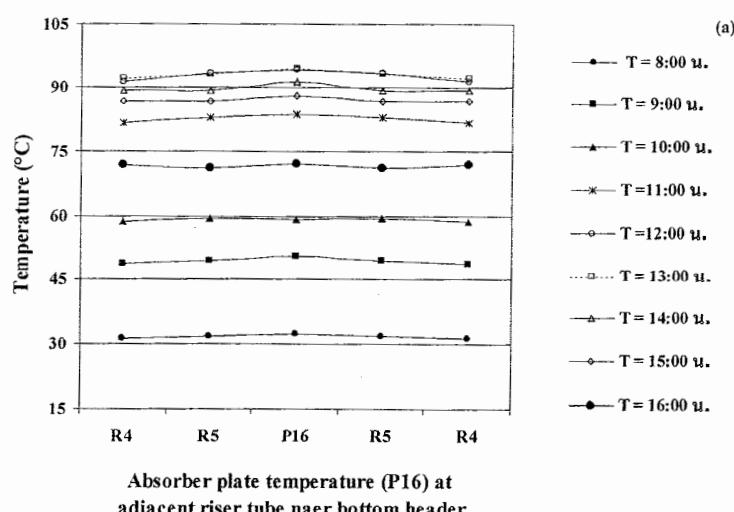


ภาพที่ 4.28 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างห้องน้ำสองห้องที่ใกล้กัน
ในการทดลองแบบที่ 4

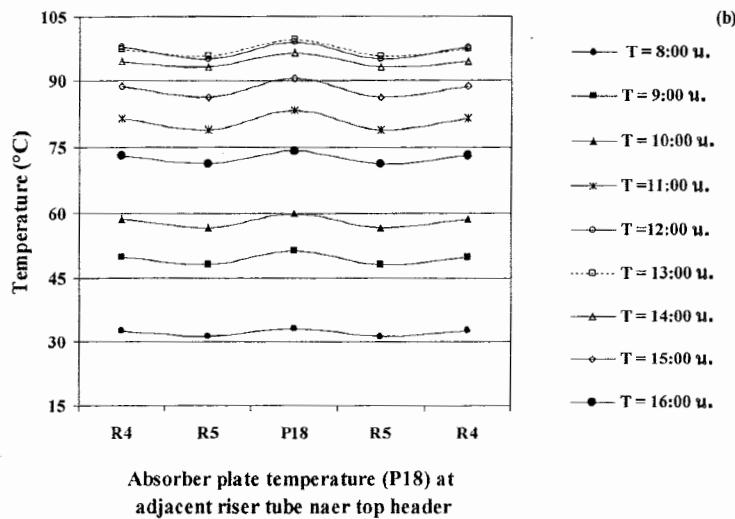
- (a) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ห้องรวมค้านล่าง
- (b) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ห้องรวมค้านบน

4.6.5 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่อยู่ใกล้ชิดกันใกล้ท่อรวมด้านบนและล่างในการทดลองแบบที่ 5

อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่อยู่ชิดกันใกล้ท่อรวมด้านบนและล่าง ในการทดลองแบบที่ 5 แสดงดังภาพที่ 4.29(a) และ 4.29(b) จากรูปที่ 4.29(a) ซึ่งแสดงอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่อยู่ชิดกันที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านล่าง พบว่า รูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ค่อนข้างราบเรียบตั้งแต่ช่วงแรกของการทดลองไปจนกระทั่งสิ้นสุด การทดลอง และ จากภาพที่ 4.29(b) ซึ่งแสดงอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่อยู่ชิดกันที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบน พบว่า ช่วงแรกของการทดลองรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ค่อนข้างราบเรียบ แต่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับเพิ่มสูงขึ้นรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้มีลักษณะคล้ายระฆังเห่นเดียวกับงานวิจัยของ A. Shitzer และคณะที่ทำการวิจัยในปี ค.ศ 1978 โดย อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ระหว่างห่อน้ำสองห่อที่อยู่ชิดกัน (ที่ตำแหน่ง P18 ระหว่างห่อน้ำ R4 และ R5) อุณหภูมิจะเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสูงสุดเท่ากับ 99.59°C ที่เวลา 13.00 น. หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกันจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 4.29 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อน้ำสองห่อที่ใกล้ชิดกัน
ในการทดลองแบบที่ 5



ภาพที่ 4.29 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างท่อที่ใกล้ชิดกันในการทดลองแบบที่ 5 (ต่อ),

- (a) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านล่าง
- (b) อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านบน

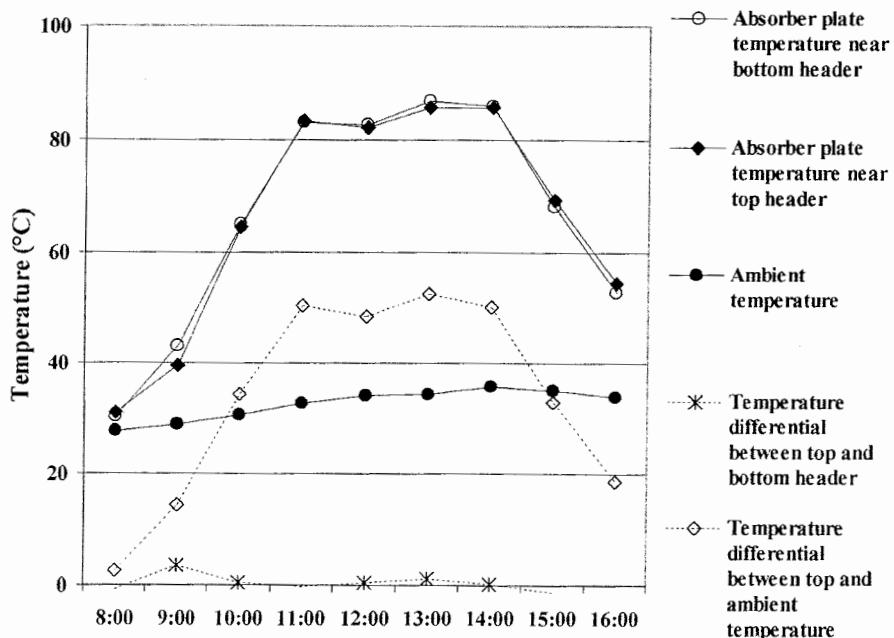
จากการวัดอุณหภูมิที่ของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งซึ่งอยู่ระหว่างท่อน้ำสองท่อที่อยู่ชิดกันใกล้ท่อรวมด้านบนและล่าง พบว่า ที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้มีลักษณะเป็นรูประฆังค่าว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปริมาณแสงอาทิตย์มีค่าสูงๆ ขณะที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านล่างรูปร่างของอุณหภูมิที่ได้ค่อนข้างราบเรียบตลอดการทดลอง แม้ว่าปริมาณแสงอาทิตย์ ณ เวลานั้นจะมีค่าสูงก็ตาม

4.7 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

4.7.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างในการทดลองแบบที่ 1

จากภาพที่ 4.30 ซึ่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนระหว่างตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมระหว่างการทดลองในแบบที่ 1 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบร่วมกัน ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างมากที่สุดเท่ากับ 3.58°C ที่เวลา 9.00น. ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนกับ

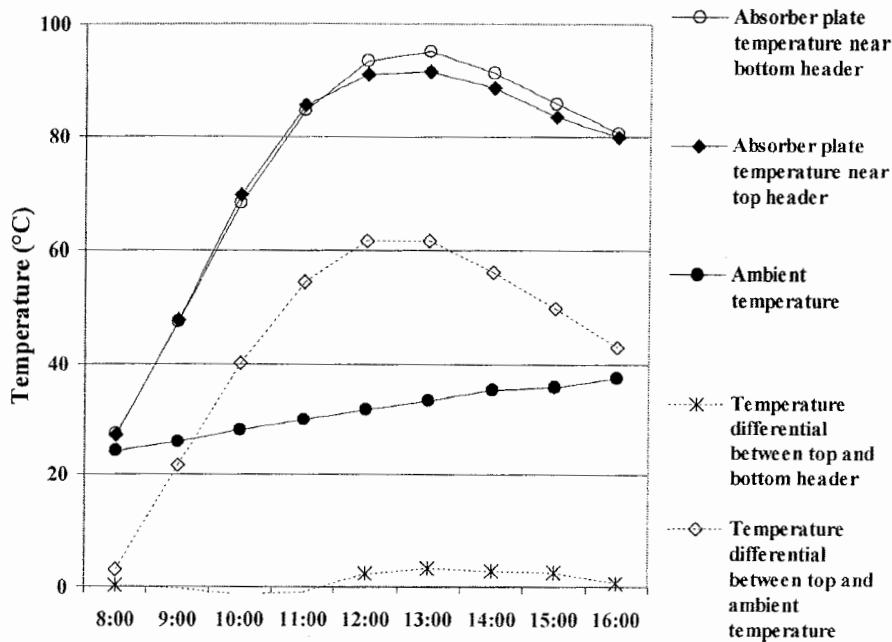
อุณหภูมิแวดล้อมน้อยที่สุดเท่ากับ 2.69°C ที่เวลา 8.00 น.มากที่สุดเท่ากับ 52.40°C ที่เวลา 13.00 น. ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนกับอุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 33.82°C



ภาพที่ 4.30 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างในการทดลองแบบที่ 1

4.7.2 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างในการทดลองแบบที่ 2

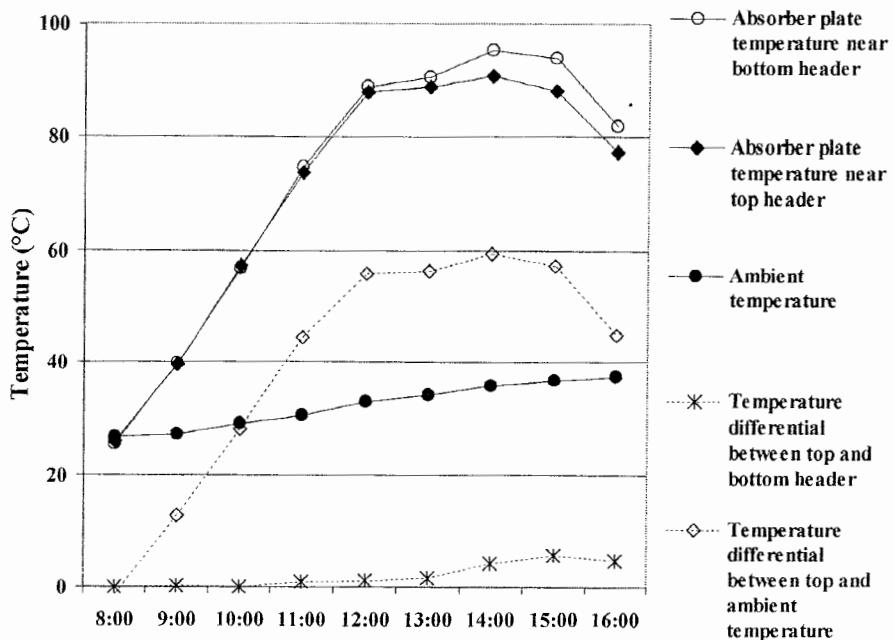
จากภาพที่ 4.31 ซึ่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนระหว่างตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมระหว่างการทดลองในแบบที่ 2 พบร่วมกันว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบร่วมกันว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างมากที่สุดเท่ากับ 3.45°C ที่เวลา 13.00 น. ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนกับอุณหภูมิแวดล้อมน้อยที่สุดเท่ากับ 3.05°C ที่เวลา 8.00 น.มากที่สุดเท่ากับ 61.60°C ที่เวลา 12.00 น. ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนกับอุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 43.54°C



ภาพที่ 4.31 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างใน การทดลองแบบที่ 2

4.7.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง ใน การทดลองแบบที่ 3

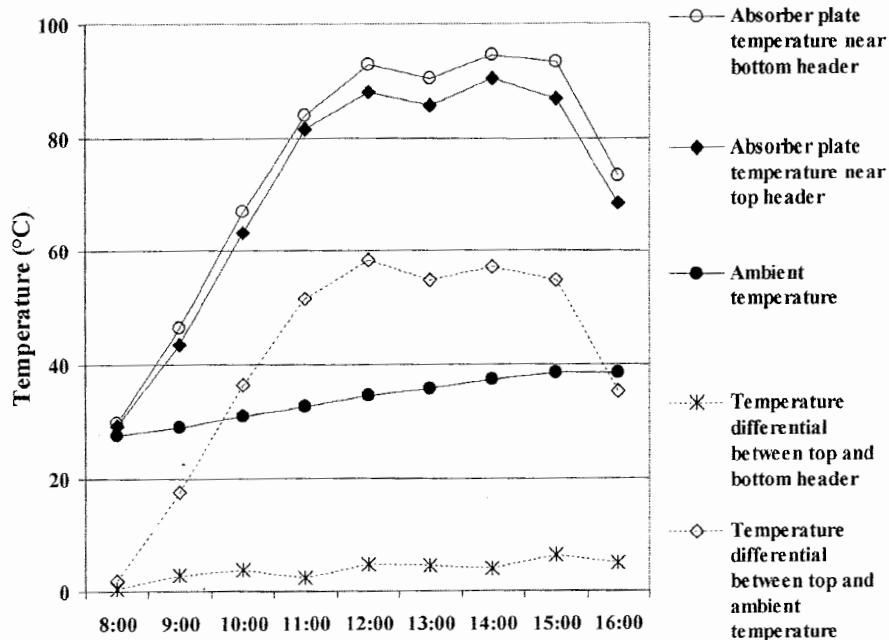
จากภาพที่ 4.32 ซึ่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนระหว่างตำแหน่ง ใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมระหว่างการทดลองในแบบที่ 3 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พนวจ ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูด ความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างมากที่สุดเท่ากับ 5.67°C ที่เวลา 15.00 น. ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวม ด้านบนกับอุณหภูมิแวดล้อมน้อยที่สุดเท่ากับ 0°C ที่เวลา 8.00 น.มากที่สุดเท่ากับ 59.55°C ที่เวลา 14.00 น. ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวม ด้านบนกับอุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 39.80°C



ภาพที่ 4.32 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างใน การทดลองแบบที่ 3

4.7.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง ใน การทดลองแบบที่ 4

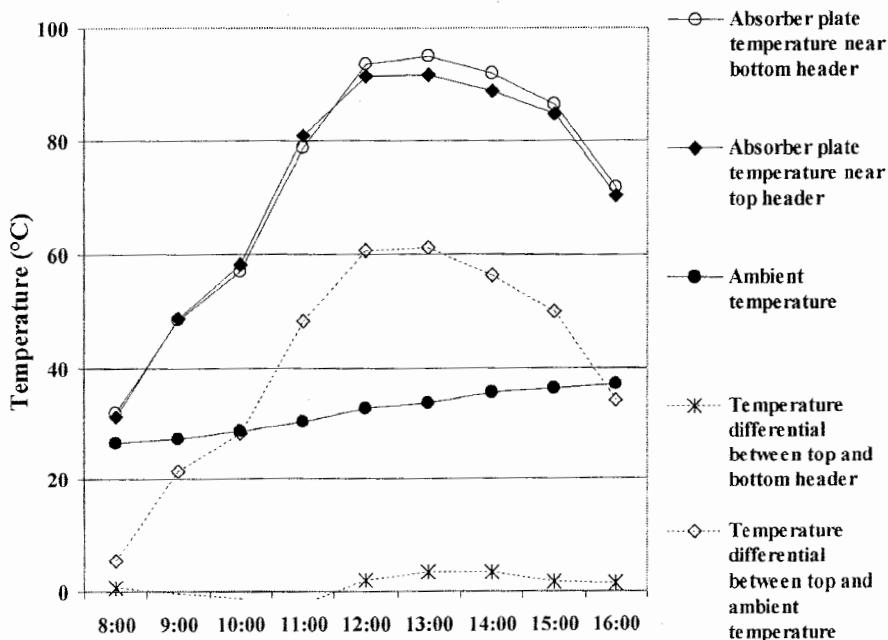
จากภาพที่ 4.33 ซึ่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนระหว่างตำแหน่ง ใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมระหว่างการทดลองในแบบที่ 4 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูด ความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนและด้านล่างมากที่สุดเท่ากับ 6.43°C ที่เวลา 15.00 น. ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อรวม ด้านบนกับอุณหภูมิแวดล้อมน้อยที่สุดเท่ากับ 1.96°C ที่เวลา 8.00 น.มากที่สุดเท่ากับ 58.53°C ที่ เวลา 12.00 น. ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งใกล้ท่อ รวมด้านบนกับอุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 40.88°C



ภาพที่ 4.33 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแผ่นสำหรับไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่างใน การทดลองแบบที่ 4

4.7.5 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแผ่นสำหรับไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง ในการทดลองแบบที่ 5

จากภาพที่ 4.34 ซึ่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนระหว่างตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่างเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมระหว่างการทดลองในแบบที่ 5 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแผ่นสำหรับไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบร้า ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูด ความร้อนที่ติดแผ่นสำหรับไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่างมากที่สุดเท่ากับ 3.30°C ที่เวลา 14.00 น. ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแผ่นสำหรับไกล์ท่อรวม ด้านบนกับอุณหภูมิแวดล้อมน้อยที่สุดเท่ากับ 5.47°C ที่เวลา 8.00 น.มากที่สุดเท่ากับ 61.08°C ที่ เวลา 13.00 น. ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแผ่นสำหรับไกล์ท่อ รวมด้านบนกับอุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 40.67°C



ภาพที่ 4.34 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่างใน การทดลองแบบที่ 5

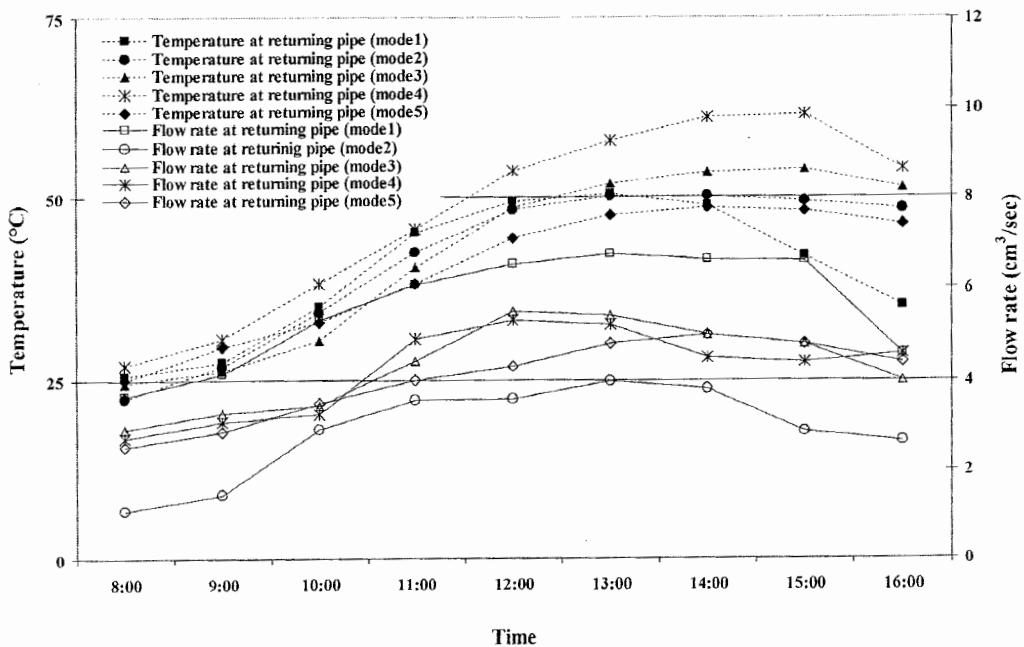
เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนระหว่างตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบน และด้านล่างเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมจากการทดลองในแบบที่ 5 การทดลอง แสดงในภาพ ที่ 4.30 ถึง 4.34 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งไกล์ท่อรวม ด้านบนและด้านล่าง ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองในการทดลองแบบที่ 4 มีค่า มากที่สุดเท่ากับ 6.43°C และการทดลองแบบที่ 3, 5, 2 และ 1 ตามลำดับ ความแตกต่างของ อุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบนกับอุณหภูมิแวดล้อม โดยเฉลี่ยตลอดการทดลอง ใน การทดลองแบบที่ 2 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 43.54°C การทดลองแบบ ที่ 4 มีค่าเท่ากับ 40.88°C การทดลองแบบที่ 5 มีค่าเท่ากับ 40.67°C การทดลองแบบที่ 3 มีค่า เท่ากับ 39.80°C และการทดลองแบบที่ 1 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 33.82°C เพราะว่าการควบคุม อัตราการ ไหลของน้ำในท่อน้ำให้ช้าลงตามการทดลองแบบที่ 2 ซึ่งมีอัตราการ ไหลของน้ำในท่อน้ำ กายในแรงรับแรงอาทิตย์น้อยที่สุดเป็นผลให้น้ำในท่อน้ำสะสมความร้อนได้มากที่สุด สังเกตได้จาก อุณหภูมิเฉลี่ยของแรงรับแรงอาทิตย์ที่ตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบนซึ่งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ 5 การทดลอง ขณะที่การทดลองแบบที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแรงรับแรงอาทิตย์ที่ ตำแหน่งไกล์ท่อรวมด้านบนต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 5 การทดลอง ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนระหว่างตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนกับอุณหภูมิเวดล้อมจากการทดลองทั้ง 5 การทดลอง

การทดลอง	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนระหว่างตำแหน่งใกล้ท่อรวมด้านบนกับอุณหภูมิเวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)
การทดลองแบบที่ 1	33.82
การทดลองแบบที่ 2	43.54
การทดลองแบบที่ 3	39.80
การทดลองแบบที่ 4	40.88
การทดลองแบบที่ 5	40.67

4.8 อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่ท่อกลับ

อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่ท่อกลับจากการทดลองทั้ง 5 การทดลอง แสดงในภาพที่ 4.35 พบว่า อุณหภูมิของน้ำที่ท่อกลับในการทดลองแบบที่ 2 มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำที่ท่อกลับมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องจากอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายใน管 รับแรงจากทิศที่มีค่าน้อยที่สุด เช่นเดียวกัน เพราะน้ำร้อนที่ผลิตได้จากแรงรับแรงจากทิศที่ซึ่งสะสมความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ภายในแรงรับแรงจากทิศที่ได้มากที่สุด ในการทดลองแบบที่ 2 ดังแสดงในหัวข้อที่ผ่านมา ในแนวทำงานเดียวกัน อุณหภูมิของน้ำที่ท่อกลับสูงที่สุดในลำดับรองลงมาเกิดในการทดลองแบบที่ 3 และการทดลองแบบที่ 5 ในการทดลองแบบที่ 4 และอุณหภูมิของน้ำที่ท่อกลับต่ำที่สุดเกิดในการทดลองแบบที่ 1 ขณะที่เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของน้ำ พบว่า การทดลองแบบที่ 1 มีอัตราการไหลของน้ำสูงที่สุด รองลงมาเกิดในการทดลองแบบที่ 3 การทดลองแบบที่ 4 การทดลองแบบที่ 5 และการทดลองแบบที่ 2 มีอัตราการไหลของน้ำต่ำที่สุด ซึ่งอัตราการไหลของน้ำหมายถึงความสามารถในการผลักน้ำร้อนของแรงรับแรงจากทิศที่แตกต่างกันในการทดลองทั้ง 5 การทดลองและมีผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในท่อน้ำร้อนรวมทั้งประสิทธิภาพของระบบดังแสดงในหัวข้อถัดไป



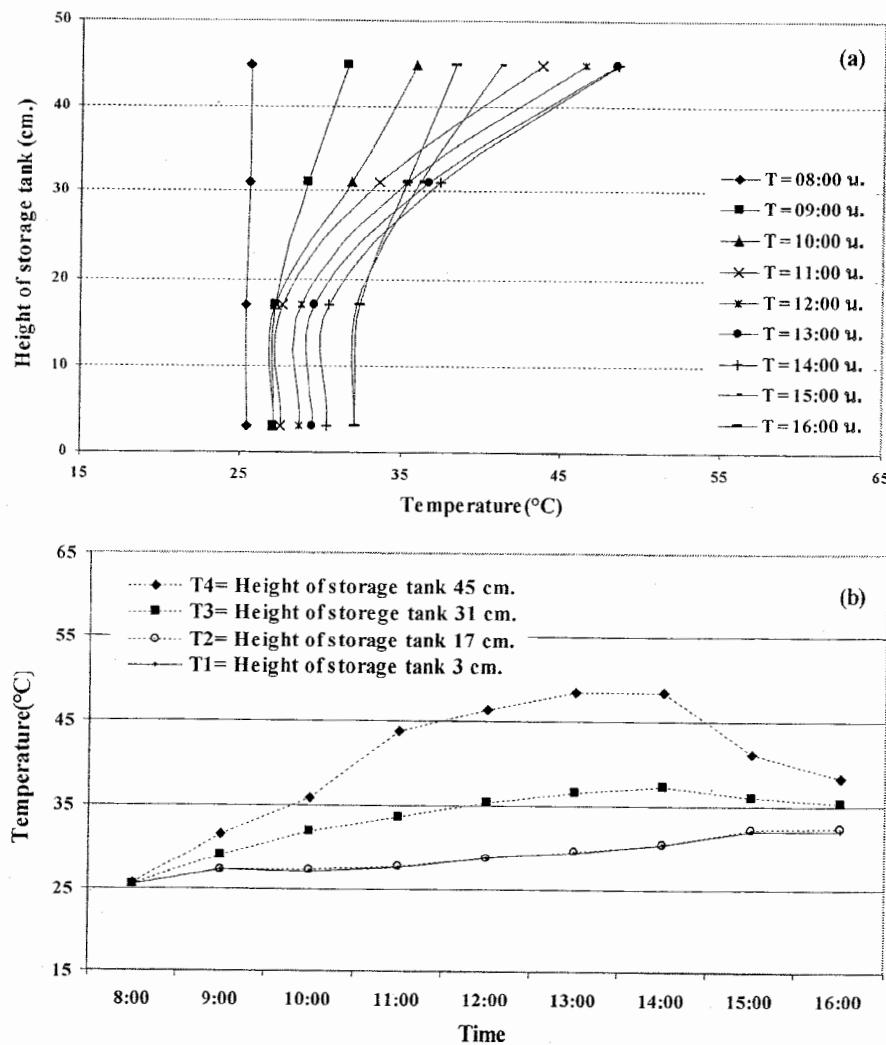
ภาพที่ 4.35 อุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่ท่อกลับ

4.9 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

4.9.1 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 1

ภาพที่ 4.36(a) แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 1 พบว่า ช่วงแรกของการทดลองอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T1 ถึง T4 ใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นอุณหภูมิ ของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่งๆ จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ที่ตำแหน่ง T4 อุณหภูมิของน้ำจะสูงที่สุด ตามด้วย T3, T2 และ T1 และสูงสุดเท่ากับ 48.49°C ที่เวลา 14.00 น. ขณะที่ ภาพที่ 4.36(b) แสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่ง T1 ถึง T4 พบว่า อุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่ง T1, T2 และ T3 จะเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น ยกเว้นอุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่ง T4 เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่รับน้ำร้อนที่เคลื่อนตัวจากแพลงรับแสงอาทิตย์ดังนั้นของอุณหภูมิของน้ำในตำแหน่งนี้จึงเปลี่ยนตามอุณหภูมิและปริมาณของน้ำร้อนที่ได้รับจากแพลงรับแสงอาทิตย์และปริมาณแสงอาทิตย์ระหว่างวันที่ทำการทดลอง นอกจากนี้ พบว่า อุณหภูมิของน้ำในถังแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นที่ 1 ตำแหน่ง T1 และ T2 ชั้นที่ 2 ตำแหน่ง T3 และชั้นที่ 3 ตำแหน่ง T4 อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 1 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 2 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 11.00 น. อยู่ระหว่าง 35°C ถึง 45°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 16.00 น. อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 3 จะอยู่

ระหว่าง 25°C ถึง 35°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 10.00 น. อุณหภูมิระหว่าง 35°C ถึง 45°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง 11.00 น. และ 15.00 น. ถึง 16.00 น. อุณหภูมิของน้ำตั้งแต่ 45°C ขึ้นไปเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น.



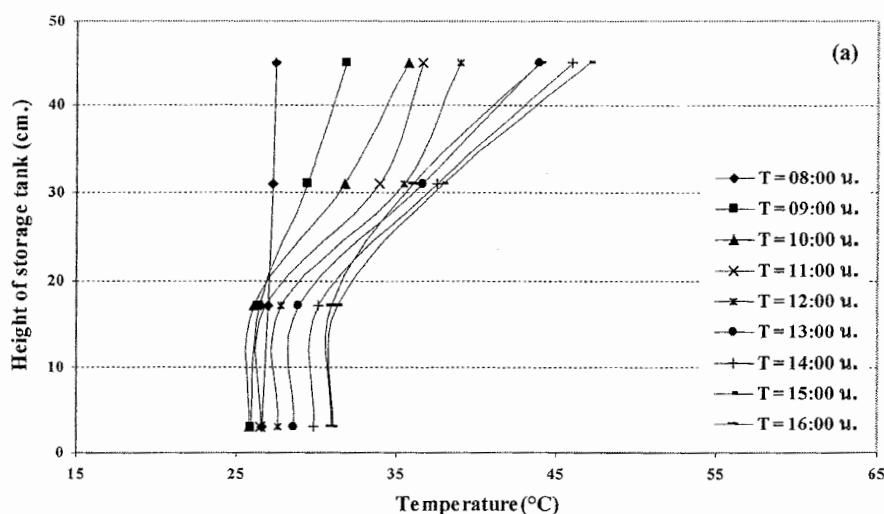
ภาพที่ 4.36 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 1

(a) การกระจายตัวของอุณหภูมน้ำในถังน้ำร้อน

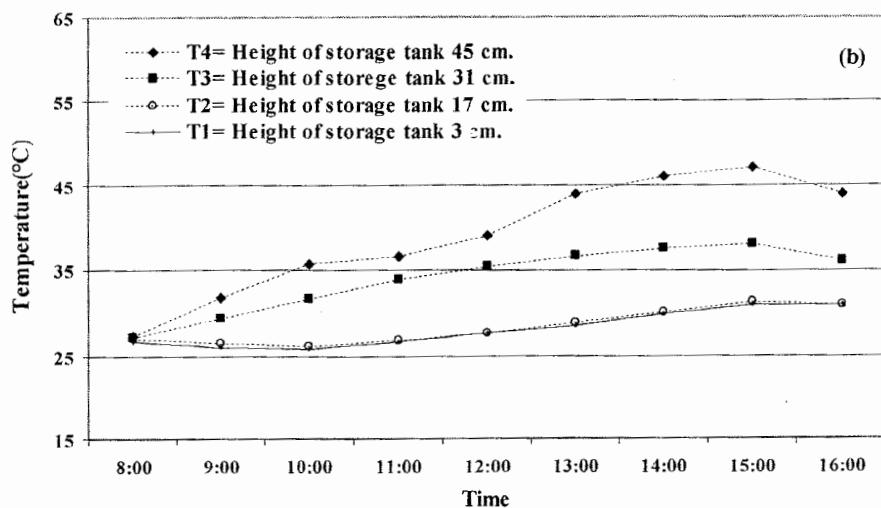
(b) อุณหภูมิในแนวคิ่งของน้ำภายในถังน้ำร้อน

4.9.2 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 2

ภาพที่ 4.37(a) แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อน ในการทดลองแบบที่ 2 พนว่า ช่วงแรกของการทดลองอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T1 ถึง T4 ค่อนข้างราบเรียบ หลังจากนั้นอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่งๆ จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ที่ตำแหน่ง T4 อุณหภูมิของน้ำจะสูงที่สุด ตามด้วย T3, T2 และ T1 และสูงสุดเท่ากับ 47.02°C ที่เวลา 15:00 น. ขณะที่ภาพที่ 4.37(b) แสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่ง T1 ถึง T4 พนว่า อุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่ง T1, T2 และ T3 จะเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น ยกเว้นอุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่ง T4 เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่รับน้ำร้อนที่เคลื่อนตัวจากแรงรับแสงอาทิตย์ดังนั้นของอุณหภูมิของน้ำในตำแหน่งนี้จึงเปรียบตามอุณหภูมิและปริมาณของน้ำร้อนที่ได้รับจากแรงรับแสงอาทิตย์และปริมาณแสงอาทิตย์ระหว่างวันที่ทำการทดลอง นอก จากนี้ พนว่า อุณหภูมิของน้ำในถังแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นที่ 1 ตำแหน่ง T1 และ T2 ชั้นที่ 2 ตำแหน่ง T3 และชั้นที่ 3 ตำแหน่ง T4 อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 1 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 2 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 11.00 น. อยู่ระหว่าง 35°C ถึง 45°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 16.00 น. อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 3 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 10.00 น. อยู่ระหว่าง 35°C ถึง 45°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง 13.00 น. และ 16.00 น. อุณหภูมิของน้ำตั้งแต่ 45°C ขึ้นไปเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง 15.00 น.



ภาพที่ 4.37 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 2

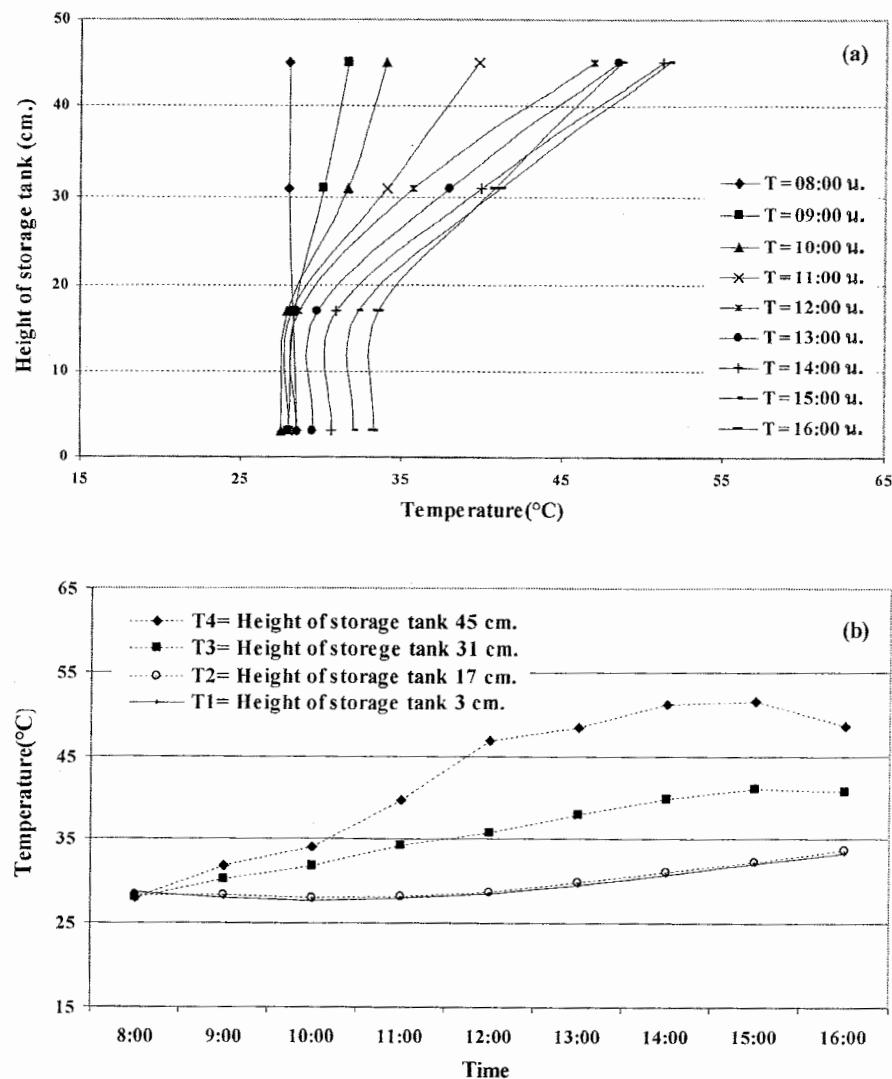


ภาพที่ 4.37 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 2 (ต่อ)

- (a) การกระจายตัวของอุณหภูมน้ำในถังน้ำร้อน
- (b) อุณหภูมิในแนวคิ่งของน้ำภายในถังน้ำร้อน

4.9.3 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 3

ภาพที่ 4.38(a) แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อน ในการทดลองแบบที่ 3 พนบว่า ช่วงแรกของการทดลองอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T1 ถึง T4 ก่อนข้างนานเรียบร้อย หลังจากนั้นอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่งๆ จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ที่ตำแหน่ง T4 อุณหภูมิของน้ำจะสูงที่สุด ตามด้วย T3, T2 และ T1 และสูงสุดเท่ากับ 51.54°C ที่เวลา 15:00 น. ขณะที่ภาพที่ 4.38(b) แสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่ง T1 ถึง T4 พนบว่า อุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่ง T1, T2 และ T3 จะเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น ยกเว้นอุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่ง T4 เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่รับน้ำร้อนที่เกลื่อนตัวจากแสงรับแสงอาทิตย์ดังนั้นของอุณหภูมิของน้ำในตำแหน่งนี้จึงประตามอุณหภูมิและปริมาณของน้ำร้อนที่ได้รับจากแสงรับแสงอาทิตย์และปริมาณแสงอาทิตย์ระหว่างวันที่ทำการทดลอง นอกจากนี้พนบว่า อุณหภูมิของน้ำในถังแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นที่ 1 ตำแหน่ง T1 และ T2 ชั้นที่ 2 ตำแหน่ง T3 และชั้นที่ 3 ตำแหน่ง T4 อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 1 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 2 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 11.00 น. อยู่ระหว่าง 35°C ถึง 45°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 16.00 น. อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 3 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 10.00 น. อยู่ระหว่าง 35°C ถึง 45°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่เวลา 11.00 น. อุณหภูมิของน้ำตั้งแต่ 45°C ขึ้นไปเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 12.00 น. ถึง 16.00 น.



ภาพที่ 4.38 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 3

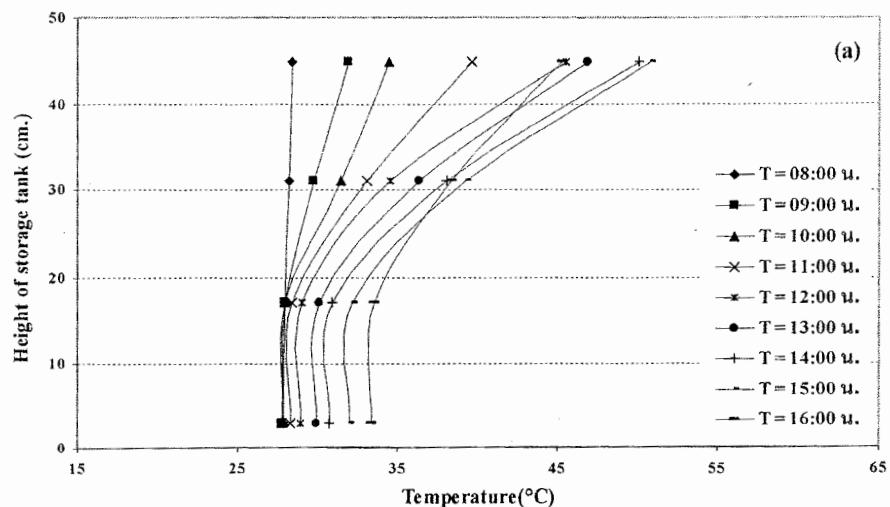
(a) การกระจายตัวของอุณหภูมน้ำในถังน้ำร้อน

(b) อุณหภูมิในแนวคี่ของน้ำภายในถังน้ำร้อน

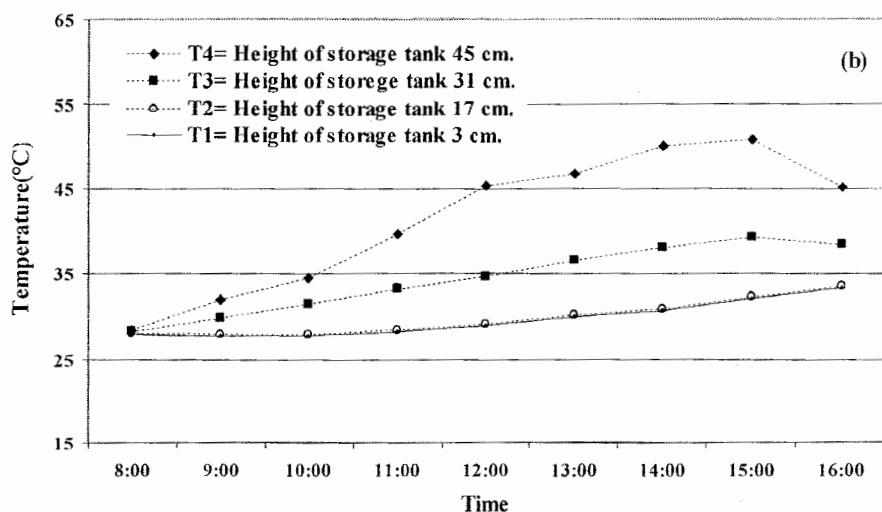
4.9.4 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 4

ภาพที่ 4.39(a) แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมน้ำในถังน้ำร้อน ในการทดลองแบบที่ 4 พบร้า ช่วงแรกของการทดลองอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T1 ถึง T4 ค่อนข้างราบเรียบ หลังจากนั้นอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่งๆ จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ที่ตำแหน่ง T4 อุณหภูมิของน้ำจะสูงที่สุด ตามด้วย T3, T2 และ T1 และสูงสุดเท่ากับ 58.82 $^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 15:00 น. ขณะที่ภาพที่ 4.39(b) แสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่ง T1 ถึง T4 พบร้า อุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่ง T1, T2 และ T3 จะเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะที่

เป็นเชิงเส้น ยกเว้นอุณหภูมิของน้ำที่ต่ำແທນ T4 เนื่องจากเป็นตัวແທນที่รับน้ำร้อนที่เคลื่อนตัวจาก แผงรับแสงอาทิตย์ดังนั้นของอุณหภูมิของน้ำในตัวແທนนี้จึงแปรตามอุณหภูมิและปริมาณของน้ำ ร้อนที่ได้รับจากแผงรับแสงอาทิตย์และปริมาณแสงอาทิตย์ระหว่างวันที่ทำการทดลอง นอกจากนี้ พบว่า อุณหภูมิของน้ำในถังแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นที่ 1 ต่ำແທນ T1 และ T2 ชั้นที่ 2 ต่ำແທນ T3 และชั้นที่ 3 ต่ำແທນ T4 อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 1 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C อุณหภูมิของน้ำใน ชั้นที่ 2 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 11.00 น. อยู่ระหว่าง 35°C ถึง 45°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 16.00 น. อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 3 จะอยู่ ระหว่าง 25°C ถึง 35°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 10.00 น. อยู่ระหว่าง 35°C ถึง 45°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่เวลา 11.00 น. อุณหภูมิของน้ำตั้งแต่ 45°C ขึ้นไปเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 12.00 น. ถึง 16.00 น.



ภาพที่ 4.39 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 4



ภาพที่ 4.39 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 4 (ต่อ)

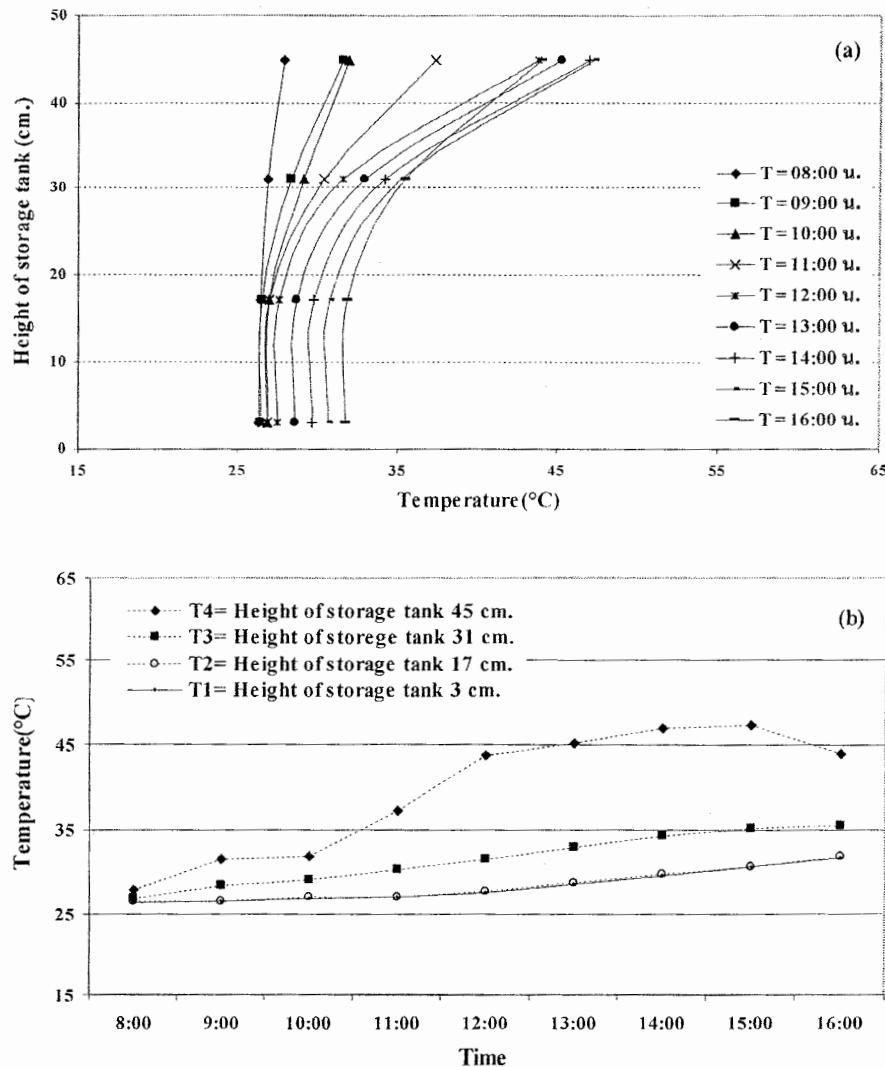
(a) การกระจายตัวของอุณหภูมน้ำในถังน้ำร้อน

(b) อุณหภูมิในแนวตั้งของน้ำภายในถังน้ำร้อน

4.9.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 5

ภาพที่ 4.40(a) แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อน ในการทดลองแบบที่ 5 พนว่า ช่วงแรกของการทดลองอุณหภูมิที่ต่ำแห่ง T1 ถึง T4 ค่อนข้างราบเรียบ หลังจากนั้นอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ต่ำแห่งๆ จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ที่ต่ำแห่ง T4 อุณหภูมิของน้ำจะสูงที่สุด ตามด้วย T3, T2 และ T1 และสูงสุดเท่ากับ 47.22°C ที่เวลา 15:00 น. ขณะที่ภาพที่ 4.40(b) แสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ต่ำแห่ง T1 ถึง T4 พนว่า อุณหภูมิของน้ำที่ต่ำแห่ง T1, T2 และ T3 จะเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น ยกเว้นอุณหภูมิของน้ำที่ต่ำแห่ง T4 เนื่องจากเป็นต่ำแห่งที่รับน้ำร้อนที่เคลื่อนตัวจากแสงรับแสงอาทิตย์ดังนั้นของอุณหภูมิของน้ำในต่ำแห่งนี้จึงแบรตานอุณหภูมิและปริมาณของน้ำร้อนที่ได้รับจากแสงรับแสงอาทิตย์และปริมาณแสงอาทิตย์ระหว่างวันที่ทำการทดลอง นอกจากนี้ พนว่า อุณหภูมิของน้ำในถังแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นที่ 1 ต่ำแห่ง T1 และ T2 ชั้นที่ 2 ต่ำแห่ง T3 และชั้นที่ 3 ต่ำแห่ง T4 อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 1 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 2 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 15.00 น. อยู่ระหว่าง 35°C ถึง 45°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 15.00 น. ถึง 16.00 น. อุณหภูมิของน้ำในชั้นที่ 3 จะอยู่ระหว่าง 25°C ถึง 35°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 10.00 น. อยู่ระหว่าง 35°C ถึง

45°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 12.00 น. และ 16.00 น. อุณหภูมิของน้ำตั้งแต่ 45°C ขึ้นไปเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 12.00 น. ถึง 15.00 น.



ภาพที่ 4.40 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 5

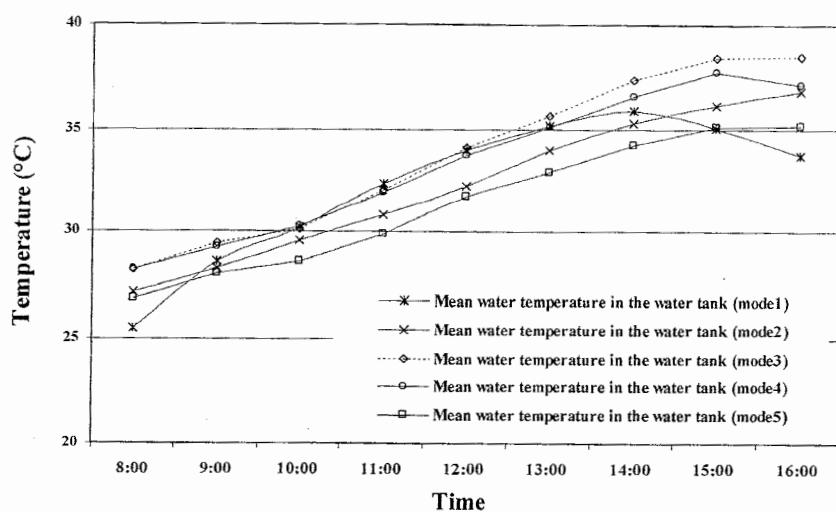
- (a) การกระจายตัวของอุณหภูมน้ำในถังน้ำร้อน
- (b) อุณหภูมิในแนวคิดของน้ำภายในถังน้ำร้อน

จากภาพที่ 4.36(b), 4.37(b), 4.38(b), 4.39(b) และ 4.40(b) เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่ง T1 ถึง T4 จากการทดลองที่ 5 การทดลองพบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่ตำแหน่ง T1, T2 และ T3 จะเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น ยกเว้นอุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่ง T4 ซึ่งเปรียบตามอุณหภูมิและปริมาณของน้ำร้อน

ที่ได้รับจากแสงอาทิตย์และปริมาณแสงอาทิตย์ระหว่างวันที่ทำการทดลอง อุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่ตำแหน่ง T1 และ T2 ค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้ง 5 การทดลองอยู่ที่ประมาณ 25°C ถึง 35°C เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่ง T3 และ T4 พบว่า ในการทดลองแบบที่ 3 มีการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนดีที่สุด ลำดับรองลงมาเกิดขึ้นในการทดลองแบบที่ 4 การทดลองแบบที่ 5 การทดลองแบบที่ 2 และการทดลองแบบที่ 1 ตามลำดับ และมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนซึ่งแสดงในหัวข้อดังไป

4.10 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำภายในถังน้ำร้อน

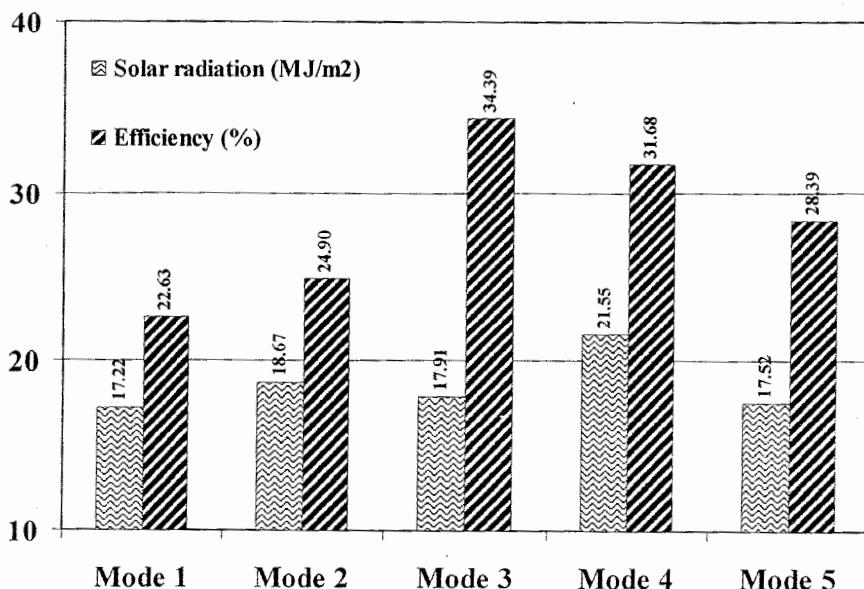
เมื่อเปรียบเทียบกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนตามรูปที่แสดงในภาพที่ 4.36 ถึง 4.40 พบว่า การทดลองในแบบที่ 3 มีการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนดีที่สุด สามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนในการทดลองแต่ละแบบได้โดยใช้จากการที่ (3.1) ผลการคำนวณแสดงในรูปที่ 4.41 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำภายในถังน้ำร้อนสูงที่สุดเกิดขึ้นในการทดลองแบบที่ 3 และสูงสุดรองลงมาในการทดลองแบบที่ 4, 5, 2 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนในหัวข้อที่ผ่านมา



ภาพที่ 4.41 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำภายในถังน้ำร้อน

4.11 ประสิทธิภาพของระบบ

ประสิทธิภาพของระบบในการทดลองแต่ละแบบแสดงดังภาพที่ 4.42



ภาพที่ 4.42 ประสิทธิภาพของระบบและปริมาณแสงอาทิตย์ในระหว่างวันที่ทำการทดลองแต่ละแบบ

ประสิทธิภาพของระบบคำนวณได้โดยอาศัยสมการที่ (3.1) ถึง (3.4) พบว่า การทดลองในแบบที่ 3 มีประสิทธิภาพของระบบสูงที่สุด ขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิ และปริมาณน้ำร้อนที่ได้รับจากแรงรับแสงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับแบบที่ 4 มีค่าสูงที่สุด แต่เนื่องจากอัตราการไหหลงน้ำร้อนจากแรงรับแสงอาทิตย์มีค่าน้อยซึ่งหมายถึงความสามารถในการผลิตน้ำร้อนจากแรงรับแสงอาทิตย์มีค่าต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 4.35 ซึ่งไม่เหมาะสมกับขนาดถังน้ำร้อนที่ใช้ในการทดลอง แต่ในการทดลองแบบที่ 3 แรงรับแสงอาทิตย์สามารถผลิตน้ำร้อนได้ในปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดถังน้ำร้อนที่ใช้ในการทดลองมากที่สุด (ถังน้ำขนาด 200 ลิตร) ดังนั้น ประสิทธิภาพของระบบที่คำนวณได้สูงที่สุดจึงเกิดในการทดลองแบบที่ 3 รองลงมาเกิดในการทดลองแบบที่ 4 การทดลองแบบที่ 5 การทดลองแบบที่ 2 และต่ำที่สุดเกิดในการทดลองแบบที่ 1 ดังแสดงได้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพของระบบที่ได้รับในการทดลองทั้ง 5 การทดลอง

การทดลอง	วันที่ทำการทดลอง	ปริมาณแสงอาทิตย์	ประสิทธิภาพของระบบ
การทดลองแบบที่ 1	23 มีนาคม 51	17.22 MJ/m ²	22.62%
การทดลองแบบที่ 2	24 มีนาคม 51	18.66 MJ/m ²	24.89%
การทดลองแบบที่ 3	21 มีนาคม 51	17.91 MJ/m ²	34.39%
การทดลองแบบที่ 4	20 มีนาคม 51	21.54 MJ/m ²	31.67%
การทดลองแบบที่ 5	25 มีนาคม 51	17.52 MJ/m ²	28.39%

4.12 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยสมการที่ (3.5) ถึง (3.9) โดยกำหนด
สมมุติฐาน ณ ปี (2007) ดังนี้ อัตราดอกเบี้ย (i) 8 % อายุการใช้งาน (n) 10 ปี ค่าบำรุงรักษาต่อปี
เท่ากับ 5% ของราคาต้นทุน มูลค่าซากปีสุดท้ายเท่ากับ 5% ของราคาต้นทุน และระยะเวลาในการ
ทำงานโดยเฉลี่ย 330 วันต่อปี จะได้ว่า

เงินลงทุนสร้างเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_P) เท่ากับ 4470.88 บาท

มูลค่าซากเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_S) เท่ากับ 103.54 บาท

ค่าซ่อมบำรุงรายปี (C_m) เท่ากับ 1500 บาท

ค่าใช้จ่ายปั้งหมุด (C_T) เท่ากับ 5867 บาท

ค่าใช้จ่ายต่อตัว (C_{per}) เท่ากับ 0.08 บาท

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การควบคุมอัตราการไอลอกองน้ำในท่อน้ำภายในเพงรับแสงอาทิตย์ให้ช้าลงในการทดลองแบบที่ 2, 3, 4 และ 5 ทำให้น้ำในท่อน้ำภายในเพงรับแสงอาทิตย์สะสมความร้อนได้มากขึ้น เพราะฉะนั้นอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนภายในเพงรับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำร้อนที่หักลับ จึงเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองแบบที่ 1

5.1.2 ประสิทธิภาพของระบบและอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนซึ่งแตกต่างกันในการทดลองแต่ละแบบเนื่องจากการควบคุมอัตราการไอลอกองน้ำที่ห่อน้ำภายในเพงรับแสงอาทิตย์แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนในการทดลองทั้ง 5 การทดลอง พบร้า การกระจายตัวของอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนดีที่สุดเกิดในการทดลองแบบที่ 3 มีลำดับรองลงมาเกิดขึ้นในการทดลองแบบที่ 4 การทดลองแบบที่ 5 การทดลองแบบที่ 2 และการทดลองแบบที่ 1 ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบสูงสุดจึงเกิดในการทดลองแบบที่ 3, 4, 5, 2 และ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากัน 34.39%, 31.68%, 28.39%, 24.90% และ 22.63% ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณน้ำร้อนที่ได้รับจากเพงรับแสงอาทิตย์ในการทดลองแบบที่ 3 มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับถังน้ำร้อนที่ทำการวิจัย

5.1.3 รูปแบบของการห้วงเวลาเพื่อควบคุมอัตราการไอลอกองน้ำที่ห่อน้ำภายในเพงรับแสงอาทิตย์ห่อน้ำภายในเพงรับแสงอาทิตย์ของการทดลองแบบที่ 3 ซึ่งสามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพัลส์งานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ได้มากที่สุด จึงน่าจะใช้เป็นแนวทางสำหรับออกแบบเพงรับแสงอาทิตย์เพื่อพัฒนาของสมรรถนะให้สูงขึ้น โดยแนวการออกแบบใหม่คือ การนึ่งห่อน้ำที่ปลายด้านบนในเพงรับแสงอาทิตย์ โดยนึ่งท่อลงครึ่งหนึ่งในตำแหน่งห่อเว็นท่อ ซึ่งจะได้สร้างระบบใหม่นี้และทดสอบเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในแพลงรับแสงอาทิตย์ พบว่า ตำแหน่งที่อยู่ใกล้กัน ระหว่างท่อรวมด้านบนและท่อรวมด้านล่างเป็นชุดที่อุณหภูมิสูงที่สุด ดังนั้น การควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่บริเวณดังกล่าวอาจช่วยเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตจากแพลงรับ แสงอาทิตย์ได้รวมทั้งประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้นต่อไปได้

5.2.2 ควรที่จะเพิ่มชุดการทดลองและศึกษาถึงความเป็นไปได้ของขนาดของถังน้ำร้อน ที่สามารถนำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงแต่มีปริมาณการผลิตที่ต่ำมาใช้ประโยชน์ต่อไป

5.3.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองถ้าต้องการให้ผลการทดลองที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้นควรที่จะมีชุดทดลองให้เพียงพอ กับการทดลองที่ต้องการศึกษา เนื่องจากมีตัวแปรหลายตัวที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบ เช่น ปริมาณแสงอาทิตย์ ความเร็วลม และอุณหภูมิเวกดล่อง เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. “โครงการจัดทำแผนที่ศักยภาพ พลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลความเที่ยมสำหรับประเทศไทย”, พลังงานแสงอาทิตย์.

<http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=98>. 11 มีนาคม, 2550.

พฤทธิ์ นาเนตร และคณะ. “การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์”, ใน การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานครั้งที่ 1. น.11-11. ชลบุรี : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2548.

พิสัยฐ์ เตชะรุ่ง ไพศาล และชาลิต ถินวงศ์พิทักษ์. “ผลของการดำเนินการต่อท่อน้ำร้อนจากแสงรับ แสงอาทิตย์เข้าสู่ถังน้ำร้อนแบบวงวนอนต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนโดยใช้ พลังงานแสงอาทิตย์”, วิศวกรรมสาร มนบ. ปีที่ 31(1) : น. 56-71 ; มกราคม-มีนาคม, 2547.
พอพนธ์ สิชณกฤษฎ์. “เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดใหม่ผลิตได้ทึ้งไฟฟ้า และความร้อน”, วิศวกรรมสาร. ปีที่ 53(8) : น. 89-92 ; สิงหาคม, 2543.

มารีน่า มะหนี่. วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2542.

เรวัฒน์ บุนทองจันทร์. การทำความเย็นและความร้อนโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นตัวเก็บรังสี.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหบษัติ : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2548.
สันติ หวังนิพพาน โトイ และประสิทธิ์ นางทิน. “การควบคุมอุณหภูมิน้ำในถังปิดของระบบผสม พลังงาน แสงอาทิตย์และอีทเตอร์”, ใน การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 6. น. 87-91. เชียงใหม่ : สำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2550.

A. Shitzer, D. Kalmanoviz, Y. Zvirin and G. Grossman. “Experiments with a flat plate solar water heating system in thermosyphonic flow”, Solar Energy. 22(1): 27-35, 1979.

A. M. Shariah and G. O. G. Löf. “The optimization of tank-volume-to-collector-area ratio for a thermosyphon solar water heater”, Renewable Energy. 7(3): 289-300; March, 1996.

ເອກສາຣອ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- Abdul-Jabbar N. Khalifa and M. M. Mehdi. "On the verification of one dimensional heat flow in a horizontal thermosyphon storage tank", Energy Conversion and Management. 40(9): 961-974; June, 1999.
- A. -J. N. Khalifa and M. A. Hussain. "Heat flow in a horizontal solar thermal storage tank with an auxiliary heater", Energy Conversion and Management. 43(4): 549-555; March, 2002.
- A. Zerrouki, A. Boum  dien and K. Bouhadef. "The natural circulation solar water heater model with linear temperature distribution", Renewable Energy. 26(4): 549-559; August, 2002.
- B.J. Huang, J.P. Lee and J.P. Chyng. "Heat-pipe enhanced solar-assisted heat pump water heater", Solar Energy. 78(3): 375-381; March, 2005.
- B. M. Santos, M. R. Queiroz and T. P. F Borges, A solar collector design procedure for crop drying", Brazilian Journal of Chemical Engineering. 22(2): 277-284; April-June, 2005.
- C. L. Gupta and H. P. Garg. "System design in solar water heaters with natural circulation", Solar Energy. 12(2): 163-170; December, 1968.
- C. Dharuman, J.H. Arakeri and K. Srinivasan. "Performance evaluation of an integrated solar water heater as an option for building energy conservation", Energy and Buildings. 38(3): 214-219; March, 2006.
- D. J. Close. "The performance of solar water heaters with natural circulation", Solar Energy. 6(1): 33-40; January-March, 1962.
- D. W. Mather, K. G. T. Hollands and J. L. Wright. "Single- and multi-tank energy storage for solar heating systems: fundamentals", Solar Energy. 73(1): 3-13; July, 2002.
- David Faiman, Haim Hazan and Ido Laufer. "Reducing the heat loss at night from solar water heaters of the integrated collector-storage variety", Solar Energy. 71(2): 87-93, 2001.
- Energy Efficiency and Renewable Energy. Solar Water Heating. <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy96/17459.pdf>. January 11, 2008.
- Emmanouil Mathioulakis and Vassilis Belessiotis. "A new heat-pipe type solar domestic hot water system", Solar Energy. 72(1): 13-20; January, 2002.

ເອກສາຮ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- G. L. Morrison and D. B. J. Ranatunga. "Thermosyphon circulation in solar collectors", Solar Energy. 24(2): 191-198, 1980.
- Jay Burch, Craig Christensen, Jim Salasovich and Jeff Thornton. "Simulation of an unglazed collector system for domestic hot water and space heating and cooling", Solar Energy. 77(4): 399-406; October, 2004.
- John A. Duffie and William A. Beckman. Solar Energy Thermal Process. New York, U.S.A.: Wiley, 1991.
- K. Chuawittayawuth and S. Kumar. "Experimental investigation of temperature and flow distribution in a thermosyphon solar water heating system", Renewable Energy. 26(3): 431-448; July, 2002.
- L. J. SHAH and S. Furbo. "CORRELATION OF EXPERIMENTAL AND THEORETICAL DATA FOR MANTLE TANKS USED IN LOW FLOW SDHW SYSTEMS", Solar Energy. 64(4): 245-256; December, 1998.
- Mohammad R. Riazi and Jalil Razavi. "Performance of Polypropylene and Steel Tubes in Solar Water Heaters with Natural Circulation", Energy Sources. 19(2): 147–152; February, 1997.
- N. H. Helwa, A. M. Mobarak, M. S. El-Sallak and H. H. El-Ghetany. "Effect of hot-water consumption on temperature distribution in a horizontal solar water storage tank", Applied Energy. 52(2-3): 185-197, 1995.
- Naum Fraidenraich, J. M. Gordon and Rita de Cassia Fernandes de Lima. "Improved solutions for temperature and thermal power delivery profiles in linear solar collectors", Solar Energy. 61(3): 141-145; September, 1997.
- Pannigul, P. A study of temperature and flow distribution in a natural circulation Solar water heater system. Master Thesis: Asian Institute of Technology, 1999.
- Pisit Techarungpaisan, Bancha Buddadee, Sivanappan Kumar. "Investigation of Water Flow Rate in a Thermosyphon Solar Water Heater", in The 19th Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. Thailand, 2005.
<http://www.ubu.ac.th/itap/DataPisit1.htm>. January 11, 2008.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Pisit Techarungpaisan, Apichart Artnaseaw, Sivanappan Kumar, Investigation on Flow and Temperature Distribution in a Thermosyphon Solar Water Heaters”, in Asian Conference on Solar Energy Materials and Solar Cells. Sri Lanka, 2006.
<http://www.ubu.ac.th/itap/DataPisit1.htm>. January 11, 2008.
- P.Techarungpaisan U.Teeboonma and R.Khunthongjan. “Investigation on water cooling and heating performance of an unglazed metallic roof panel solar water heater”, in The 5th International Conference on Sustainable Energy Technologies. Italy, 2006.
<http://www.ubu.ac.th/itap/DataPisit1.htm>. January 11, 2008.
- Poolsak Intawee and Chumnong Chaichoet. “Efficiency Enhancement of Solar Water Heater”, in The 2th Conference on Energy Technology Network of Thailand; E-NETT. Suranaree University of Technology, 2549. <http://www.e-nett.sut.ac.th/pdf%5CENTT49-151.pdf>. January 11, 2008.
- S. Furbo and L. J. SHAH. “SMART SOLAR TANKS-HEAT STORAGE OF THA FUTURE?”, In ISEC 1997 SOLAR WORLD CONGRESS. <http://www.orbit.dtu.dk/All.External?recid=16891&format=long&ownerclasses=dtu,department>. January 11, 2008.
- Sirikul Prasitpaichai. “Solar Thermal Technology”, in Market Development for Solar Thermal Application in Thailand. Siam City Hotel Bangkok, 2007. http://www.soltherm-Thailand.net/dmdocuments/Solar_Hot_Water_Technology_14mar07_sirikul.pdf. January 11, 2008.
- Volker Weitbrecht, David Lehmann and Andreas Richter. “Flow distribution in solar collectors with laminar flow conditions”, Solar Energy. 73(6): 433-441; December, 2002.
- Y.H. Kuang and R.Z. Wang. “Performance of a multi-functional direct-expansion solar assisted heat pump system”, Solar Energy. 80(7): 795-803; July, 2006.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดสอบ

ชื่อภูมิภาคทางตอน

1. ปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิเมืองต่ำสุด

ตารางที่ ก.1 ชื่อภูมิภาคและสถานที่และอุณหภูมิเมืองต่ำสุดในกรุงเทพมหานคร ประจำปี พ.ศ. 2551 ภาคตอนใต้ ภาคตะวันออกเฉียงใต้ ภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคใต้

เวลา และช่วงเวลา	การทดสอบแบบที่ 1		การทดสอบแบบที่ 2		การทดสอบแบบที่ 3		การทดสอบแบบที่ 4		การทดสอบแบบที่ 5	
	23 มีนาคม พ.ศ. 2551		24 มีนาคม พ.ศ. 2551		21 มีนาคม พ.ศ. 2551		20 มีนาคม พ.ศ. 2551		25 มีนาคม พ.ศ. 2551	
	บริเวณแสงอาทิตย์	อุณหภูมิ								
แม็คล้อด	แม็คล้อด	แม็คล้อด	แม็คล้อด	แม็คล้อด	แม็คล้อด	แม็คล้อด	แม็คล้อด	แม็คล้อด	แม็คล้อด	แม็คล้อด
ตะวัน	ตะวัน	ตะวัน	ตะวัน	ตะวัน	ตะวัน	ตะวัน	ตะวัน	ตะวัน	ตะวัน	ตะวัน
8:00	0.21	0.21	27.68	0.61	24.35	0.17	0.17	26.63	0.36	0.36
9:00	1.21	1.42	28.95	1.27	1.88	25.91	0.93	1.10	27.31	1.16
10:00	1.93	3.35	30.67	1.95	3.83	28.08	1.77	2.87	28.88	1.91
11:00	2.51	5.86	32.67	2.54	6.37	30.07	2.08	4.95	30.38	2.65
12:00	2.43	8.29	34.12	2.80	9.17	32.02	2.83	7.78	32.84	2.85
13:00	2.97	11.26	34.49	2.88	12.05	33.66	2.76	10.54	33.85	2.60
14:00	2.65	13.91	35.73	2.63	14.68	35.44	2.82	13.36	35.61	2.85
15:00	2.07	15.98	35.00	2.17	16.85	35.99	2.62	15.98	36.50	2.55
16:00	1.25	17.23	34.00	1.81	18.67	37.70	1.93	17.91	37.26	1.23

2. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 1 (ทำการทดลองในวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2551)

2.1 อัตราการไหลงน้ำในท่อน้ำภายใน盆形รับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลงน้ำในท่อน้ำภายใน盆形รับแสงอาทิตย์

อัตราการไหลงน้ำ cm^3/sec									
สภาพอากาศ	แจ่มใส	แฉมใส	แจ่มใส						
ค่าแทนง่วงท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	0.251	0.265	0.266	0.271	0.285	0.337	0.318	1.215	0.257
2	0.286	0.304	0.329	0.341	0.341	0.391	0.478	0.47	0.286
3	0.248	0.249	0.251	0.257	0.258	0.302	0.309	0.287	0.255
4	0.315	0.361	0.381	0.4	0.429	0.486	0.476	0.478	0.288
5	0.39	0.453	0.467	0.588	0.598	0.745	0.652	0.639	0.457
6	0.308	0.356	0.417	0.452	0.507	0.533	0.62	0.539	0.3
7	0.257	0.293	0.36	0.375	0.378	0.416	0.638	0.61	0.277
อัตราการไหลงน้ำท่ออกดัน	3.624	4.141	5.315	6.061	6.534	6.751	6.625	6.594	4.595

2.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
		องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)									
8:00	แจ่มใส	30.120	31.210	31.170	31.260	31.230	31.275	31.320	31.520	31.680	
9:00	แจ่มใส	36.879	39.692	42.290	38.304	38.341	40.167	41.993	39.414	41.552	
10:00	แจ่มใส	61.036	63.803	67.033	64.383	64.694	65.028	65.362	64.949	66.806	
11:00	แจ่มใส	79.175	81.692	85.950	84.017	85.033	84.204	83.375	84.725	86.375	
12:00	แจ่มใส	79.658	79.767	84.350	83.417	83.233	82.233	81.233	83.683	84.742	
13:00	แจ่มใส	84.625	84.333	87.567	86.858	86.367	85.658	84.950	87.208	88.325	
14:00	แจ่มใส	84.942	84.358	88.025	86.683	87.392	85.342	83.292	87.750	89.017	
15:00	แจ่มใส	69.028	69.391	70.698	70.385	70.379	68.471	66.563	71.084	71.551	
16:00	แจ่มใส	53.995	54.833	55.310	55.223	54.710	53.681	52.653	55.673	55.913	

2.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	29.610	30.480	30.920	30.640	29.310	30.850	30.740	27.310	31.470	
9:00	แจ่มใส	39.783	42.152	44.047	44.323	40.400	45.503	46.223	41.653	45.413	
10:00	แจ่มใส	59.200	64.347	66.943	67.841	61.981	67.224	67.089	67.478	69.299	
11:00	แจ่มใส	76.629	82.775	85.517	86.417	81.108	85.100	84.250	85.592	88.317	
12:00	แจ่มใส	77.408	82.983	84.917	85.750	81.075	83.592	82.292	85.142	87.175	
13:00	แจ่มใส	81.308	87.917	89.750	90.325	86.317	87.758	84.850	89.983	91.758	
14:00	แจ่มใส	83.467	88.242	89.708	88.817	84.233	84.675	82.600	89.625	90.408	
15:00	แจ่มใส	66.303	69.083	70.176	68.858	67.391	67.989	66.152	71.166	71.253	
16:00	แจ่มใส	51.038	52.925	53.890	53.298	52.180	53.193	52.150	54.700	54.963	

2.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิเวลส้อม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวม ด้านบน	ไกล์ท่อรวม ด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิ เวลส้อม
	องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	30.364	31.084	27.670	-0.719	2.694
9:00	43.204	39.666	28.950	3.538	14.254
10:00	64.946	64.477	30.660	0.469	34.286
11:00	83.114	83.349	32.660	-0.236	50.454
12:00	82.574	81.985	34.120	0.589	48.454
13:00	86.889	85.765	34.480	1.124	52.409
14:00	85.963	85.719	35.730	0.244	50.233
15:00	67.993	69.273	35.000	-1.280	32.993
16:00	52.668	54.343	34.000	-1.676	18.668

2.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1 ที่ระดับ 45 cm.	T2 ที่ระดับ 31 cm.	T3 ที่ระดับ 17 cm.	T4 ที่ระดับ 3 cm.
	องศาเซลเซียส (°C)			
8:00	25.580	25.530	25.370	25.500
9:00	31.615	29.142	27.209	27.113
10:00	35.857	31.833	27.213	27.096
11:00	43.712	33.631	27.670	27.573
12:00	46.399	35.347	28.786	28.677
13:00	48.378	36.675	29.647	29.523
14:00	48.491	37.371	30.542	30.436
15:00	41.085	36.146	32.275	32.132
16:00	38.278	35.334	32.405	32.151

3. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 2 (ทำการทดลองในวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2551)

3.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายใน盆形รับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายใน盆形รับแสงอาทิตย์

อัตราการไหล cm^3/sec									
สภาพอากาศ	แจ่มใส								
ค่าแทนง่ำท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	0.251	0.265	0.266	0.271	0.285	0.337	0.318	1.215	0.257
2	0.286	0.304	0.329	0.341	0.341	0.391	0.478	0.470	0.286
3	0.248	0.249	0.251	0.257	0.258	0.302	0.309	0.287	0.255
4	0.315	0.361	0.381	0.400	0.429	0.486	0.476	0.478	0.288
5	0.390	0.453	0.467	0.588	0.598	0.745	0.652	0.639	0.457
6	0.308	0.356	0.417	0.452	0.507	0.533	0.620	0.539	0.300
7	0.257	0.293	0.360	0.375	0.378	0.416	0.638	0.610	0.277
อัตราการไหลที่ท่อ กลับ	1.100	1.464	2.925	3.570	3.588	3.968	3.800	2.872	2.643

3.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง								
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16
องศาเซลเซียส (°C)										
8:00	แจ่มใส	25.975	26.668	27.677	26.948	27.312	22.485	27.981	27.092	27.594
9:00	แจ่มใส	42.799	45.820	49.829	47.655	48.586	27.730	50.387	48.156	49.762
10:00	แจ่มใส	64.831	68.189	71.967	70.390	71.331	34.613	70.529	70.655	72.191
11:00	แจ่มใส	80.950	84.967	87.850	86.708	87.492	39.498	85.317	87.233	88.525
12:00	แจ่มใส	89.367	89.633	92.092	91.517	92.325	42.610	91.383	92.375	93.475
13:00	แจ่มใส	91.117	89.183	93.183	92.450	92.933	45.031	91.317	92.783	94.108
14:00	แจ่มใส	88.033	86.333	90.417	89.475	91.083	47.442	86.858	90.550	91.842
15:00	แจ่มใส	83.650	82.750	85.317	84.717	84.983	48.856	80.550	85.567	86.467
16:00	แจ่มใส	80.350	79.917	81.517	81.817	81.850	49.658	75.550	82.600	83.000

3.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน								
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18
องศาเซลเซียส (°C)										
8:00	แจ่มใส	25.869	26.734	27.348	27.944	26.453	28.529	28.945	24.777	28.375
9:00	แจ่มใส	41.068	45.154	47.726	48.970	47.156	50.881	52.083	47.743	50.710
10:00	แจ่มใส	60.745	66.506	69.497	70.179	68.711	71.094	71.685	69.749	72.693
11:00	แจ่มใส	78.233	83.692	86.925	87.375	85.025	86.075	85.533	87.192	89.808
12:00	แจ่มใส	85.725	93.633	97.225	97.883	95.192	94.292	91.425	96.483	99.342
13:00	แจ่มใส	88.217	96.717	98.617	98.958	95.850	96.225	91.883	97.775	100.283
14:00	แจ่มใส	88.258	93.883	95.158	95.250	91.325	89.600	87.075	94.608	96.292
15:00	แจ่มใส	85.450	88.758	89.275	88.833	85.108	84.050	80.875	89.142	90.108
16:00	แจ่มใส	80.800	83.233	83.467	83.283	79.233	78.933	75.950	83.883	84.417

3.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิเวคล้อม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวมด้านบน	ไกล์ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิเวคล้อม
องศาเซลเซียส (°C)					
8:00	27.403	27.172	24.35	0.231	3.053
9:00	47.577	47.795	25.91	-0.218	21.667
10:00	68.345	69.738	28.07	-1.393	40.275
11:00	84.694	85.670	30.06	-0.976	54.634
12:00	93.625	91.167	32.02	2.458	61.605
13:00	95.210	91.758	33.66	3.451	61.550
14:00	91.507	88.739	35.43	2.768	56.077
15:00	86.050	83.533	35.98	2.517	50.070
16:00	80.700	79.957	37.69	0.743	43.010

3.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	27.454	27.262	26.996	26.677
9:00	31.885	29.466	26.438	25.897
10:00	35.729	31.768	26.119	25.799
11:00	36.636	33.983	26.785	26.597
12:00	39.024	35.458	27.795	27.641
13:00	43.910	36.618	28.882	28.668
14:00	45.997	37.548	30.146	29.911
15:00	47.028	37.933	31.319	31.087
16:00	44.000	36.000	31.000	31.000

4. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 3 (ทำการทดลองในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2551)

4.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อหัวภายในแมงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อหัวภายในแมงรับแสงอาทิตย์

อัตราการไหล cm ³ /sec									
สภาพอากาศ	แจ่มใส	แฉ่งใส	แฉ่ใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แจ่มใส
ตำแหน่งท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	0.523	0.796	1.197	1.248	1.451	0.984	0.857	0.707	0.540
2	0.242	0.258	0.258	0.278	0.289	0.569	0.418	0.268	0.332
3	0.760	0.856	0.856	0.901	1.104	1.331	1.107	0.957	0.737
4	0.213	0.248	0.248	0.305	0.259	0.451	0.448	0.298	0.342
5	0.697	0.604	0.604	0.703	0.663	0.557	0.536	0.386	0.466
6	0.146	0.170	0.170	0.208	0.189	0.260	0.241	0.091	0.228
7	0.587	0.734	0.734	1.243	1.309	1.548	1.608	1.458	0.818
อัตราการไหลที่ต่อคัน	2.925	3.274	3.449	4.424	5.500	5.400	5.000	4.800	4.000

4.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง								
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16
		องศาเซลเซียส (°C)								
8:00	แจ่มใส	26.044	26.211	26.284	25.761	25.658	26.545	25.281	26.079	26.347
9:00	แจ่มใส	37.460	38.486	40.069	37.574	39.627	41.569	41.186	39.102	40.571
10:00	แจ่มใส	54.536	56.843	56.842	56.393	58.499	59.858	59.538	57.721	58.792
11:00	แจ่มใส	72.018	74.183	71.188	73.605	74.817	75.858	75.425	74.775	74.933
12:00	แจ่มใส	86.742	88.567	83.875	88.817	88.825	89.117	88.783	89.075	88.408
13:00	แจ่มใส	87.950	90.392	85.692	90.625	89.358	89.592	88.033	90.242	89.608
14:00	แจ่มใส	88.825	92.067	88.067	93.025	92.200	91.475	89.967	93.292	92.233
15:00	แจ่มใส	87.142	89.483	85.292	90.667	89.775	88.767	86.317	90.917	89.767
16:00	แจ่มใส	77.833	79.625	75.310	80.033	78.667	76.596	73.438	80.442	79.233

4.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน									
		ที่ก่อ น้ำ R1	ที่ก่อ น้ำ R2	ที่ก่อ น้ำ R3	ที่ก่อ น้ำ R4	ที่ก่อ น้ำ R5	ที่ก่อ น้ำ R6	ที่ก่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	26.029	26.113	26.144	22.997	23.875	26.071	25.961	21.165	26.257	
9:00	แจ่มใส	37.965	40.126	41.851	38.387	37.937	40.999	41.008	38.738	42.509	
10:00	แจ่มใส	52.504	56.938	59.547	56.092	56.765	58.477	58.181	57.949	61.263	
11:00	แจ่มใส	70.142	74.950	77.642	76.508	75.050	75.508	73.642	74.892	79.875	
12:00	แจ่มใส	83.575	89.975	92.958	92.550	89.600	89.175	84.808	91.342	95.300	
13:00	แจ่มใส	87.808	92.358	94.000	93.150	89.692	90.250	85.650	92.992	95.892	
14:00	แจ่มใส	95.608	96.967	98.667	97.558	92.467	94.483	90.317	97.642	99.900	
15:00	แจ่มใส	95.892	96.342	97.725	96.475	91.117	92.500	87.117	96.833	98.783	
16:00	แจ่มใส	85.450	85.300	84.908	84.642	79.375	80.092	74.539	85.067	86.175	

4.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิแวดล้อม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวม ด้านบน	ไกล์ท่อรวม ด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิ แวดล้อม
	องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	25.313	25.969	26.62	-0.656	-1.307
9:00	39.753	39.424	27.03	0.329	12.723
10:00	56.929	57.501	28.88	-0.572	28.049
11:00	74.777	73.870	30.37	0.907	44.407
12:00	88.949	87.818	32.83	1.131	56.119
13:00	90.415	88.806	33.85	1.610	56.565
14:00	95.152	90.804	35.6	4.349	59.552
15:00	93.881	88.206	36.5	5.675	57.381
16:00	82.044	77.358	37.25	4.686	44.794

4.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
อุณหภูมิเชิงสี ($^{\circ}\text{C}$)				
8:00	27.967	27.950	28.286	28.524
9:00	31.663	30.138	28.305	27.930
10:00	34.029	31.702	27.858	27.521
11:00	39.747	34.092	28.134	27.952
12:00	46.893	35.708	28.618	28.421
13:00	48.380	37.958	29.765	29.486
14:00	51.203	39.923	30.988	30.652
15:00	51.540	41.083	32.279	31.998
16:00	48.583	40.748	33.572	33.300

5. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 4 (ทำการทดลองในวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2551)

5.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์

สภาพอากาศ	แจ่มใส								
ค่ำ昏ตื่นท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	0.323	0.493	1.096	1.248	1.400	1.300	1.200	0.720	0.440
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.376	0.546	0.756	0.978	1.200	1.150	1.100	0.869	0.637
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.297	0.467	0.504	0.749	0.993	0.859	0.866	0.616	0.366
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.432	0.572	0.634	1.137	1.639	1.440	1.400	1.039	0.718
อัตราการไหลที่ต่อ gekap	2.725	3.074	3.249	4.900	5.300	5.200	4.500	4.400	4.600

5.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	29.134	29.371	29.175	29.148	28.306	29.967	29.536	28.931	29.099	
9:00	แจ่มใส	42.789	43.640	42.955	43.329	42.785	45.433	43.238	43.669	44.088	
10:00	แจ่มใส	61.896	63.750	62.922	63.530	65.200	65.233	61.493	64.602	65.193	
11:00	แจ่มใส	80.067	82.292	78.908	83.383	83.892	83.167	80.542	83.783	83.117	
12:00	แจ่มใส	87.583	87.783	86.083	87.175	88.958	90.242	88.967	88.817	89.425	
13:00	แจ่มใส	86.308	85.375	83.925	84.692	86.225	87.133	86.892	86.142	86.642	
14:00	แจ่มใส	91.642	90.875	88.658	89.592	91.842	91.042	90.408	91.408	92.175	
15:00	แจ่มใส	88.092	85.717	86.067	84.650	88.158	89.042	86.792	87.633	89.100	
16:00	แจ่มใส	68.670	68.277	68.847	68.165	69.486	69.585	68.169	69.755	70.318	

5.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแน่นท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	29.337	29.945	30.109	29.799	28.481	29.874	29.846	25.936	30.474	
9:00	แจ่มใส	41.157	45.602	47.660	47.750	45.608	48.028	48.931	46.594	49.365	
10:00	แจ่มใส	60.266	66.048	69.274	69.196	66.153	69.465	70.694	68.986	71.419	
11:00	แจ่มใส	74.576	82.892	86.508	86.692	86.267	86.467	85.742	85.392	90.133	
12:00	แจ่มใส	85.892	93.650	96.408	95.658	94.067	93.433	91.033	95.458	98.392	
13:00	แจ่มใส	85.208	92.358	94.158	93.050	90.867	90.150	87.108	93.225	95.433	
14:00	แจ่มใส	91.183	96.942	97.767	96.875	93.383	94.575	90.858	97.458	99.425	
15:00	แจ่มใส	92.267	96.800	97.208	96.508	91.292	91.617	87.867	96.983	98.042	
16:00	แจ่มใส	73.560	75.675	76.106	74.254	72.277	72.929	70.959	76.221	76.415	

5.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไก่ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไก่ท่อรวมด้านบน และด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิแวดล้อม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไก่ท่อรวมด้านบน	ไก่ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิแวดล้อม
องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)					
8:00	29.627	29.234	27.66	0.394	1.967
9:00	46.391	43.453	28.9	2.938	17.491
10:00	67.299	63.432	30.85	3.868	36.449
11:00	84.163	81.750	32.53	2.413	51.633
12:00	92.877	88.113	34.34	4.764	58.537
13:00	90.414	85.793	35.59	4.621	54.824
14:00	94.512	90.580	37.36	3.932	57.152
15:00	93.365	86.931	38.56	6.435	54.805
16:00	73.680	68.743	38.55	4.937	35.130

5.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ก.21 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)				
8:00	28.467	28.251	28.034	27.904
9:00	31.935	29.778	27.959	27.802
10:00	34.466	31.483	27.968	27.847
11:00	39.651	33.138	28.426	28.334
12:00	45.461	34.550	29.120	28.966
13:00	46.876	36.422	30.149	30.008
14:00	50.071	38.095	30.954	30.821
15:00	50.820	39.278	32.239	32.086
16:00	45.236	38.342	33.563	33.440

6. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 5 (ทำการทดลองในวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2551)

6.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์

สภาพอากาศ	แจ่มใส	แฉมใส	曇ใส	แจ่มใส	แฉมใส	曇ใส	แจ่มใส	แฉมใส	曇ใส
ตัวแทนท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	0.229	0.415	0.521	0.811	1.100	1.204	1.308	0.829	0.350
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.341	0.496	0.650	0.819	0.988	1.054	1.119	0.885	0.530
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.287	0.426	0.504	0.631	0.758	0.812	0.866	0.616	0.366
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.309	0.522	0.634	0.950	1.265	1.331	1.397	1.284	0.967
อัตราการไหลท่อคัมภีร์	2.525	2.874	3.500	4.000	4.300	4.800	5.000	4.800	4.400

6.2 อุณหภูมิของแพ่นคุณภาพร้อนที่ตัวแทนท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ก.23 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแพ่นคุณภาพร้อนที่ตัวแทนท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแพ่นคุณภาพร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	29.856	30.812	32.172	31.208	31.687	31.969	32.252	31.448	32.107	
9:00	แจ่มใส	44.638	47.188	50.893	48.910	49.671	50.195	50.718	49.453	50.845	
10:00	แจ่มใส	55.217	57.498	59.773	58.758	59.403	58.812	58.221	59.131	60.060	
11:00	แจ่มใส	76.074	79.633	83.158	81.558	82.967	81.817	80.667	82.175	83.733	
12:00	แจ่มใส	89.308	91.267	92.258	91.458	93.467	92.163	90.858	92.800	94.133	
13:00	แจ่มใส	90.458	91.883	93.117	92.200	93.050	91.358	89.667	93.075	94.375	
14:00	แจ่มใส	88.383	89.100	90.600	89.442	89.442	87.829	86.217	90.267	91.275	
15:00	แจ่มใส	84.900	85.942	86.342	86.767	86.717	83.354	79.992	87.308	87.925	
16:00	แจ่มใส	70.839	71.507	71.118	71.824	71.133	68.571	66.010	72.205	72.203	

6.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ก.24 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน									
		ที่ก่อ น้ำ R1	ที่ก่อ น้ำ R2	ที่ก่อ น้ำ R3	ที่ก่อ น้ำ R4	ที่ก่อ น้ำ R5	ที่ก่อ น้ำ R6	ที่ก่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	30.156	31.224	31.978	32.534	31.232	33.191	33.943	30.108	33.151	
9:00	แจ่มใส	43.466	47.103	49.087	50.013	48.062	50.909	52.188	49.027	51.501	
10:00	แจ่มใส	53.517	56.701	58.266	58.646	56.645	57.942	58.017	57.454	59.981	
11:00	แจ่มใส	73.196	78.268	80.775	81.342	78.844	79.750	79.467	80.787	83.283	
12:00	แจ่มใส	86.042	93.258	96.942	97.692	94.925	94.050	91.925	96.642	99.025	
13:00	แจ่มใส	90.442	95.967	98.075	97.225	95.817	94.750	92.258	97.683	99.592	
14:00	แจ่มใส	89.992	93.283	95.758	94.292	93.025	90.358	87.433	95.400	96.592	
15:00	แจ่มใส	85.642	88.542	89.375	88.708	86.217	85.283	81.650	89.900	90.500	
16:00	แจ่มใส	71.763	73.354	73.668	73.097	71.251	70.574	67.656	74.391	74.349	

6.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ก.25 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิแวดล้อม	ความแคลด่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวม ด้านบน	ไกล์ท่อรวม ด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิ แวดล้อม
	องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	32.037	31.422	26.620	0.615	31.422
9:00	48.690	48.887	27.300	-0.198	48.887
10:00	57.105	58.240	28.880	-1.136	58.240
11:00	78.806	80.839	30.370	-2.033	80.839
12:00	93.548	91.540	32.830	2.008	91.540
13:00	94.933	91.676	33.850	3.257	91.676
14:00	92.020	88.716	35.600	3.304	88.716
15:00	86.488	84.859	36.500	1.629	84.859
16:00	71.623	70.143	37.250	1.480	70.143

6.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ก.26 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1 ที่ระดับ 45 cm.	T2 ที่ระดับ 31 cm.	T3 ที่ระดับ 17 cm.	T4 ที่ระดับ 3 cm.
	องศาเซลเซียส (°C)			
8:00	27.917	26.871	26.458	26.349
9:00	31.598	28.334	26.560	26.446
10:00	31.948	29.143	26.973	26.898
11:00	37.376	30.395	26.994	26.943
12:00	43.752	31.593	27.655	27.570
13:00	45.196	32.943	28.685	28.626
14:00	46.905	34.259	29.770	29.703
15:00	47.229	35.245	30.751	30.679
16:00	44.005	35.532	31.861	31.794

7. ឧបាទាអ្នកសិទ្ធិសាស្ត្រ

ตามที่ ก.27 ชื่อผู้ติดต่อของหน่วยและผู้ตรวจราชการ " ห้ามลงมาที่ห้องเก็บใบอนุญาตประกอบแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5

การทดสอบแบบที่ 1										การทดสอบแบบที่ 2										การทดสอบแบบที่ 3										การทดสอบแบบที่ 4									
23 มีนาคม พ.ศ. 2551					24 มีนาคม พ.ศ. 2551					21 มีนาคม พ.ศ. 2551					20 มีนาคม พ.ศ. 2551					25 มีนาคม พ.ศ. 2551					การทดสอบแบบที่ 5														
บริมาณ	อัตรา	อุมาห	บริมาณ	อัตรา	บริมาณ	อุมาห	บริมาณ	อัตรา	อุมาห	บริมาณ	อุมาห	บริมาณ	อุมาห	บริมาณ	อัตรา	อุมาห	บริมาณ	อุมาห	บริมาณ	อุมาห	บริมาณ	อุมาห	บริมาณ	อุมาห	บริมาณ	อุมาห	บริมาณ	อุมาห	บริมาณ	อุมาห	บริมาณ	อุมาห							
แสงอาทิตย์	การให้แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์	การให้อุมาห	แสงอาทิตย์								
แสงอาทิตย์	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า								
เวลา	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า								
แสงอาทิตย์	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า								
เวลา	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า								
(MJ/m ²)	cm ³ /sec	°C	(MJ/m ²)	cm ³ /sec	°C	(MJ/m ²)	cm ³ /sec	°C	(MJ/m ²)	cm ³ /sec	°C	(MJ/m ²)	cm ³ /sec	°C	(MJ/m ²)	cm ³ /sec	°C	(MJ/m ²)	cm ³ /sec	°C	(MJ/m ²)	cm ³ /sec	°C	(MJ/m ²)	cm ³ /sec	°C	(MJ/m ²)	cm ³ /sec	°C										
8:00	0.21	0.21	3.62	27.67	0.61	0.61	1.1	24.35	0.17	0.17	2.92	26.62	0.36	0.36	2.72	27.66	0.51	0.51	2.72	27.66	0.51	0.51	2.72	27.66	0.51	0.51	2.72	27.66	0.51	0.51	2.72	27.66	0.51	0.51					
9:00	1.21	1.42	4.14	28.95	1.27	1.88	1.46	25.91	0.93	1.1	3.27	27.30	1.16	1.53	3.07	28.90	1.19	1.7	2.87	28.90	1.19	1.7	2.87	28.90	1.19	1.7	2.87	28.90	1.19	1.7	2.87	28.90	1.19	1.7					
10:00	1.93	3.35	5.31	30.66	1.95	3.83	2.92	28.07	1.77	2.87	3.45	28.88	1.91	3.43	3.25	30.85	1.36	3.06	3.06	30.85	1.36	3.06	3.06	30.85	1.36	3.06	3.06	30.85	1.36	3.06	3.06	30.85	1.36	3.06					
11:00	2.51	5.86	6.06	32.66	2.54	6.37	3.57	30.06	2.08	4.95	4.42	30.37	2.65	6.09	4.9	32.53	2.41	5.47	5.47	32.53	2.41	5.47	5.47	32.53	2.41	5.47	5.47	32.53	2.41	5.47	5.47	32.53	2.41	5.47					
12:00	2.43	8.29	6.53	34.12	2.8	9.17	3.59	32.02	2.83	7.78	5.5	32.83	2.85	8.93	5.3	34.34	2.83	8.29	8.29	34.34	2.83	8.29	8.29	34.34	2.83	8.29	8.29	34.34	2.83	8.29	8.29	34.34	2.83	8.29					
13:00	2.97	11.26	6.75	34.48	2.88	12.05	3.97	33.66	2.76	10.54	5.4	33.85	2.6	11.53	5.2	35.59	2.78	11.08	11.08	35.59	2.78	11.08	11.08	35.59	2.78	11.08	11.08	35.59	2.78	11.08	11.08	35.59	2.78	11.08					
14:00	2.65	13.91	6.63	35.73	2.63	14.68	3.8	35.43	2.82	13.36	5	35.60	2.85	14.38	4.5	37.36	2.61	13.68	5	37.36	2.61	13.68	5	37.36	2.61	13.68	5	37.36	2.61	13.68	5	37.36	2.61	13.68					
15:00	2.07	15.98	6.59	35.20	2.17	16.85	2.87	35.98	2.62	15.98	4.8	36.50	2.55	16.93	4.4	38.56	2.44	16.13	4.8	38.56	2.44	16.13	4.8	38.56	2.44	16.13	4.8	38.56	2.44	16.13	4.8	38.56	2.44	16.13					
16:00	1.25	17.23	4.59	34.07	1.81	18.67	2.64	37.69	1.93	17.91	4	37.25	1.23	18.15	4.6	38.55	1.39	17.52	4.4	38.55	1.39	17.52	4.4	38.55	1.39	17.52	4.4	38.55	1.39	17.52	4.4	38.55	1.39	17.52					

8. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ก.28 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังน้ำร้อนในการทดลองแบบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำภายในถังน้ำร้อน				
	การทดลองแบบที่ 1	การทดลองแบบที่ 2	การทดลองแบบที่ 3	การทดลองแบบที่ 4	การทดลองแบบที่ 5
	องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	25.494	27.121	28.176	28.172	26.839
9:00	28.600	28.291	29.435	29.228	28.005
10:00	30.213	29.587	30.139	30.235	28.544
11:00	32.389	30.826	32.074	31.906	29.905
12:00	33.972	32.233	34.076	33.708	31.722
13:00	35.177	33.989	35.630	35.083	32.934
14:00	35.875	35.283	37.363	36.586	34.201
15:00	35.056	36.174	38.457	37.743	35.070
16:00	33.714	36.816	38.485	37.140	35.164

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณประสาทวิภาคพของการระบบ

ตารางที่ 7.1 การคำนวณประสาทวิภาคพของเครื่องห้ามรีดหัวเรือนเพื่อจ้างแรงดึงงานทางไฟฟ้าในการทดสอบแบบที่ 1

เวลา	ระดับความตึงของก้านถังไวน์แหวน (kg.)			น้ำหนักของน้ำที่ T_n (kg) และน้ำที่ T_n			อุณหภูมิคงที่ (T_s)	น้ำหนักน้ำที่ (T_s)	แรงผลักดันจากน้ำที่ (T_s)	ความร้อน latent แสงอาทิตย์	ความร้อน latent
	45 (T_4)	31 (T_3)	17 (T_2)	3 (T_1)	น้ำหนักน้ำที่ (T_4)	น้ำหนักน้ำที่ (T_3)	น้ำหนักน้ำที่ (T_2)	น้ำหนักน้ำที่ (T_1)	I_s	Q_{heat}	
	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)			34.5 (kg)	65.5 (kg)	65.5 (kg)	34.5 (kg)	(kJ/m ²)	(kJ)	(kJ)	
8:00	25.580	25.530	25.370	25.500	882.510	1674.768	1661.735	879.750	25.494	210.471	294.659
9:00	31.615	29.142	27.209	27.113	1090.718	1911.693	1782.200	935.410	28.600	1208.568	1691.995
10:00	35.857	31.833	27.213	27.096	1237.055	2088.267	1782.473	934.806	30.213	1934.097	2707.736
11:00	43.712	33.631	27.670	27.573	1508.053	2206.183	1812.385	951.251	32.389	2506.929	3509.701
12:00	46.399	35.347	28.786	28.677	1600.771	2318.741	1885.472	989.345	33.972	2428.330	3399.661
13:00	48.378	36.675	29.647	29.523	1669.053	2405.880	1941.857	1018.526	35.177	2966.733	4153.426
14:00	48.491	37.371	30.542	30.436	1672.934	2451.527	2000.479	1050.036	35.875	2650.101	3710.141
15:00	41.085	36.146	32.275	32.132	1417.433	2371.167	2114.013	1108.543	35.056	2071.162	2899.627
16:00	34.000	33.000	31.000	30.000	1173.000	2164.800	2030.500	1035.000	32.017	1250.755	1751.057
									24.118		5.457
										22.626%	

ตารางที่ ๗.๒ การคำนวณ ๑๙ ติดตั้งของเครื่องทำน้ำร้อนพังงานส่องอาทิตย์ในการทดสอบแบบที่ ๒

เวลา	ระดับความสูงของก้นถังในแนวตั้ง (cm.)			น้ำหนักของน้ำที่ T_n (kg) x อย่างน้อยน้ำที่ T_n			อุณหภูมิคงเดิม			ปริมาณรังสีที่ส่องอาทิตย์		ความร้อนมาก		ความร้อนต่างๆ
	45 (T_4)	31 (T_3)	17 (T_2)	3 (T_1)	น้ำหนักน้ำที่ (T_4)	น้ำหนักน้ำที่ (T_3)	น้ำหนักน้ำที่ (T_2)	น้ำหนักน้ำที่ (T_1)	T_{sm}	I _s	I _{xxAc}	Q _{store}		
อุณหภูมิ (°C)	34.5 (kg)	65.5 (kg)	65.5 (kg)	65.5 (kg)	34.5 (kg)	34.5 (kg)	34.5 (kg)	34.5 (kg)	(K)	(K)	(K)	(KJ)	(KJ)	
8:00	27.454	27.262	26.996	26.677	947.167	1788.410	1768.230	920.359	27.121	609.507	853.310			
9:00	31.885	29.466	26.438	25.897	1100.033	1932.959	1731.711	893.435	28.291	1269.207	1776.890	978.700		
10:00	35.729	31.768	26.119	25.799	1232.656	2083.948	1710.805	890.071	29.587	1949.511	2729.315	1084.836		
11:00	36.636	33.983	26.785	26.597	1263.936	2229.307	1754.418	917.585	30.826	2539.674	3555.544	1036.399		
12:00	39.024	35.448	27.795	27.641	1346.334	2326.012	1820.573	953.609	32.233	2801.670	3922.338	1176.601		
13:00	43.910	36.618	28.882	28.668	1514.895	2402.108	1891.749	989.029	33.989	2880.903	4033.264	1469.295		
14:00	45.997	37.548	30.146	29.911	1586.885	2463.171	1974.552	1031.924	35.283	2632.275	3685.185	1082.354		
15:00	47.028	37.933	31.319	31.087	1622.478	2488.372	2051.405	1072.490	36.174	2169.879	3037.831	745.467		
16:00	44.000	36.000	31.000	31.000	1518.000	2361.600	2030.500	1069.500	34.898	1814.190	2539.866	1067.271		
										26.134	6.506			
										ประมาณ ๒๔.๘๙%	ประมาณ ๒๔.๘๙%			

ตารางที่ บ.3 การคำนวณปรับตัวพิเศษของเครื่องทำน้ำร้อนเพื่องานแบบอุตสาหกรรมในการทดสอบแบบที่ 3

เวลา	ระดับความสูงจากผนังในแนวตั้ง (cm.)			น้ำหนักของน้ำที่ T_n (kg) ถูกหุงมึนที่ T_u			อุณหภูมิเดี๋ยวนี้			ปริมาณแสงที่			ความร้อนจากการรั่วไหล		
	45 (T_4)	31 (T_3)	17 (T_2)	3 (T_1)	น้ำหนักน้ำที่ (T_4)	น้ำหนักน้ำที่ (T_3)	น้ำหนักน้ำที่ (T_2)	น้ำหนักน้ำที่ (T_1)	$T_{\text{ณ}}^*$	I_i	IRAC	แสงอาทิตย์	แสงอาทิตย์	แสงอาทิตย์	ความร้อน
	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)			34.5 (Kg)	65.5 (Kg)	65.5 (Kg)	34.5 (Kg)	34.5 ($^{\circ}\text{C}$)				Q_sun	Q_sun	Q_sun	(KJ)
8:00	27.967	27.950	28.286	28.524	964.871	1833.520	1852.757	984.065	28.176	167.172	234.041				
9:00	31.663	30.138	28.305	27.930	1092.385	1977.075	1853.978	963.585	29.435	934.161	1307.825	1053.317			
10:00	34.029	31.702	27.858	27.521	1174.006	2079.629	1824.666	949.469	30.139	1770.804	2479.126	588.751			
11:00	39.747	34.092	28.134	27.952	1371.260	2236.413	1842.788	964.333	32.074	2076.165	2906.631	1618.918			
12:00	46.893	35.708	28.618	28.421	1617.791	2342.412	1874.501	980.519	34.076	2831.628	3964.279	1674.995			
13:00	48.380	37.958	29.765	29.486	1669.110	2490.067	1949.608	1017.261	35.630	2757.045	3859.863	1300.171			
14:00	51.203	39.923	30.988	30.652	1766.515	2618.916	2029.681	1057.483	37.363	2823.243	3952.540	1449.616			
15:00	51.540	41.083	32.279	31.998	1778.130	2695.067	2114.285	1103.943	38.457	2621.172	3669.641	915.365			
16:00	48.583	40.748	33.572	33.300	1676.125	2673.091	2198.944	1148.850	38.485	1932.030	2704.842	23.363			
										25.079	8.624				
										ประมาณ 34.390%					

ตารางที่ บ.4 การคำนวณปรับสัดส่วนพารามิเตอร์ของท่อร้อนพัดลมตามแบบที่ 4

เวลา	ระดับความสูงจากก้นถังในหน่วย (cm.)			น้ำหนักของน้ำที่ T_n (kg) ของห้องน้ำที่ T_n			อุณหภูมิคงเดิม			ปริมาณและแรงดึงดูด			ความร้อนคงเหลือ	
	45 (T_4)	31 (T_3)	17 (T_2)	3 (T_1)	น้ำหนักที่ (T_4)	น้ำหนักที่ (T_3)	น้ำหนักที่ (T_2)	น้ำหนักที่ (T_1)	T_{sm}	\dot{Q}_{store}	แรงดึงดูดที่ T_1	แรงดึงดูดที่ T_2	แรงดึงดูดที่ T_3	แรงดึงดูดที่ T_4
8:00	25.027	24.385	23.863	23.858	863.420	1599.656	1563.048	65.5 (kg)	34.5 (KJ)	65.5 (kg)	34.5 (KJ)	34.5 (KJ)	34.5 (KJ)	34.5 (KJ)
9:00	29.894	27.886	23.585	23.218	1031.349	1829.311	1544.818	801.004	26.032	1586.661	2221.325	1494.471		
10:00	33.003	30.127	23.404	23.022	1138.615	1976.309	1532.973	794.248	27.211	2161.257	3025.760	985.783		
11:00	40.332	32.308	24.480	24.148	1391.443	2119.427	1603.440	833.118	29.737	2562.186	3587.060	2113.594		
12:00	43.398	33.601	25.441	25.179	1497.214	2204.215	1666.375	868.681	31.182	2941.725	4118.415	1209.128		
13:00	46.698	34.557	26.662	26.361	1611.064	2266.917	1746.339	909.449	32.669	3144.342	4402.079	1243.542		
14:00	48.022	36.223	28.252	27.956	1656.748	2376.251	1850.484	9644.476	34.240	3112.785	4357.899	1314.255		
15:00	47.653	37.793	29.637	29.362	1644.040	2479.243	1941.202	1012.978	35.387	2803.022	3924.231	960.012		
16:00	45.428	37.774	30.998	30.673	1567.278	2477.985	2030.391	1058.201	35.669	2467.899	3455.059	235.892		
											30.169	9.557		
													1 ประจำตัวริก้า พ.ท.กับ	31.677%

ตารางที่ ป.5 การคำนวณประตีพธิภาพพลวงจรร้อนที่นำร้าวและถังท่อพลาสติกในกรอบตู้เย็นแบบที่ 5

เวลา 45 (T ₄)	ระดับความตุงของก้นบันไดแบบตั้ง (cm.)			น้ำหนักของน้ำที่ T ₀ (kg) x คุณภาพมีน้ำที่ T ₀			อุณหภูมิลดลisci น้ำหนักน้ำที่ (T ₁)			ปริมาณ แสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์			ความร้อนคง แสงอาทิตย์			ความร้อน สะสม		
	31 (T ₃)	17 (T ₂)	3 (T ₁)	น้ำหนักน้ำที่ (T ₄)	น้ำหนักน้ำที่ (T ₃)	น้ำหนักน้ำที่ (T ₂)	น้ำหนักน้ำที่ (T ₁)	T _{sm}	I ₁	I _{txAc}	(KJ/m ²)	(KJ)	(KJ)	(KJ)	Q _{store}			
8:00	27.917	26.871	26.458	26.349	963.125	1762.745	65.5 (kg)	34.5 (kg)	909.037	26.839	509.718	713.605						
9:00	31.598	28.334	26.260	26.446	1090.143	1858.721	1732.984	912.381	28.005	1189.857	1665.800	974.782						
10:00	31.948	29.143	26.973	26.898	1102.218	1911.748	1766.753	927.993	28.544	1357.515	1900.521	450.870						
11:00	37.376	30.395	26.994	26.943	1289.466	1993.912	1768.118	929.545	29.905	2410.221	3374.309	1139.156						
12:00	43.752	31.593	27.655	27.570	1509.433	2072.468	1811.403	951.165	31.722	2826.246	3956.744	1520.214						
13:00	45.196	32.943	28.685	28.626	1559.256	2161.083	1878.868	987.591	32.934	2781.921	3894.689	1013.665						
14:00	46.905	34.259	29.770	29.703	1618.223	2247.401	1949.935	1024.776	34.201	2609.007	3652.610	1060.380						
15:00	47.229	35.245	30.679	30.679	1629.406	2312.072	2014.180	1058.431	35.070	2443.764	3421.270	726.980						
16:00	44.005	35.532	31.861	31.794	1518.173	2330.877	2086.885	1096.899	35.164	1392.165	1949.031	78.407						
													24.529	6.964				
													28.393%	28.393%				

2. การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2.1 รายละเอียดประกอบการคำนวณ

แผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 1.4 m^2

ตั้งน้ำร้อนขนาด 200 ลิตร

อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่เพิ่มขึ้น 22 องศา (${}^\circ\text{C}$)

งบประมาณ 25,000 บาท

อัตราดอกเบี้ย (i) (ณ ปีที่ทำการวิจัย) 8%

อายุการใช้งาน (n) 10 ปี

ค่าบำรุงรักษาต่อปีเท่ากับ 5% ของงบประมาณ

มูลค่าซากปีสุดท้ายเท่ากับ 5% ของงบประมาณ

ระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 330 วันต่อปี

2.2 ผลการคำนวณ

2.2.1 เงินลงทุนสร้างเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_p) คำนวณได้จากสมการที่ (3.5)

$$C_p = \text{ราคาต้นทุน} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$C_p = 30000 \times \frac{0.08(1+0.08)^{10}}{(1+0.08)^{10} - 1}$$

เท่ากับ 4,470.885 บาท

2.2.2 มูลค่าซากเครื่องทำน้ำร้อนรายปี (C_s) คำนวณได้จากสมการที่ (3.6)

$$C_s = \text{มูลค่าซากปีสุดท้าย} \times \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$$

$$C_s = 30000 \times 0.05 \times \left[\frac{0.08}{(1+0.08)^{10} - 1} \right]$$

เท่ากับ 103.544 บาท

2.2.3 ค่าซ่อมบำรุงรายปี (C_m) คำนวณได้จากสมการที่ (3.7)

$$C_m = 0.05 \times \text{ราคาต้นทุน}$$

$$C_m = 0.05 \times 30000$$

เท่ากับ 1,500 บาท

2.2.4 รวมค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด (C_T) คำนวณได้จากสมการที่ (3.8)

$$C_T = C_p + C_s + C_m$$

$$C_T = 4470.885 - 103.544 + 1500$$

เท่ากับ 5,867.43 บาท

2.2.5 ค่าใช้จ่ายต่อลิตรคำนวณได้จากสมการที่ (3.9)

$$\frac{\text{Cost}}{\text{Liter}} = \frac{C_T}{\text{Volume} \times \text{days}}$$

$$\frac{\text{Cost}}{\text{Liter}} = \frac{5867.34}{200 \times 330}$$

เท่ากับ 0.088 บาท

ภาคผนวก ค
ข้อมูลการทดสอบในแบบที่ 1

ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 1

1. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 1 (ทำการทดลองในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2551)

1.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการวัดอัตราการ ไฟลุของน้ำในท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์

สภาพอากาศ	อัตราการ ไฟลุ cm^3/sec									
	แจ่มใส	แฉ่งใส	แฉ่ใส	แจ่มใส						
ตัวแทนผู้ท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	
1	0.217	0.231	0.232	0.237	0.251	0.303	0.284	1.181	0.223	
2	0.252	0.27	0.295	0.307	0.307	0.357	0.444	0.436	0.252	
3	0.214	0.215	0.217	0.223	0.224	0.268	0.275	0.253	0.221	
4	0.281	0.327	0.347	0.366	0.395	0.452	0.442	0.444	0.254	
5	0.356	0.419	0.433	0.554	0.564	0.711	0.618	0.605	0.423	
6	0.274	0.322	0.383	0.418	0.473	0.499	0.586	0.505	0.266	
7	0.223	0.259	0.326	0.341	0.344	0.382	0.604	0.576	0.243	
อัตราการ ไฟลุที่หักลบ	3.611	4.171	5.363	6.030	6.602	6.710	6.587	6.601	4.513	

1.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	17.772	18.704	18.766	18.674	18.635	19.145	19.021	18.748	18.851	
9:00	แจ่มใส	35.645	37.818	38.198	37.571	36.958	40.370	39.640	38.132	39.311	
10:00	แจ่มใส	65.118	66.583	65.467	66.113	64.986	68.485	65.942	66.343	67.273	
11:00	แจ่มใส	82.925	83.642	80.867	82.633	81.558	85.375	84.917	83.117	83.733	
12:00	แจ่มใส	90.433	93.217	90.042	91.042	88.958	91.075	93.408	91.183	92.017	
13:00	แจ่มใส	94.383	96.558	94.367	94.875	94.367	93.817	94.550	95.250	96.158	
14:00	แจ่มใส	93.950	93.275	90.617	91.067	89.583	92.150	89.475	91.933	92.933	
15:00	แจ่มใส	83.742	81.192	83.625	80.975	82.233	84.875	81.650	83.717	85.358	
16:00	แจ่มใส	69.644	68.684	72.478	69.356	69.499	72.414	68.346	72.529	74.266	

1.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	18.828	19.262	19.642	19.525	19.556	21.135	21.820	17.784	20.498	
9:00	แจ่มใส	39.800	43.125	46.345	46.372	47.734	49.475	51.475	45.143	49.643	
10:00	แจ่มใส	67.391	73.513	76.568	74.545	76.405	75.658	76.780	75.490	78.794	
11:00	แจ่มใส	83.475	90.592	93.767	89.517	93.367	91.617	90.692	93.400	96.333	
12:00	แจ่มใส	91.508	96.658	98.517	94.467	96.808	96.567	92.958	97.792	99.883	
13:00	แจ่มใส	94.458	98.458	99.317	95.233	97.483	97.408	94.475	98.708	100.550	
14:00	แจ่มใส	93.150	97.542	98.533	95.450	95.933	94.608	91.775	98.250	99.783	
15:00	แจ่มใส	91.067	94.033	94.375	91.042	89.308	87.950	84.000	93.850	94.442	
16:00	แจ่มใส	81.558	82.225	81.625	78.717	76.923	76.163	72.386	81.708	81.567	

1.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิเวคลส้อม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวมด้านบน	ไกล์ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิเวคลส้อม
	องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	19.967	18.674	21.405	1.293	-1.438
9:00	46.332	38.028	22.546	8.304	23.786
10:00	74.409	66.099	25.017	8.310	49.392
11:00	90.432	83.131	27.557	7.301	62.875
12:00	95.355	91.168	29.453	4.187	65.901
13:00	96.690	94.702	31.344	1.988	65.346
14:00	95.285	91.445	33.145	3.839	62.140
15:00	90.254	82.613	34.265	7.640	55.989
16:00	78.514	70.060	34.624	8.454	43.890

1.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
	ห้องดับ 45 cm.	ห้องดับ 31 cm.	ห้องดับ 17 cm.	ห้องดับ 3 cm.
องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	25.065	24.433	24.395	24.418
9:00	30.153	25.868	24.023	23.640
10:00	31.388	26.873	23.630	23.293
11:00	39.348	28.820	24.427	24.258
12:00	42.641	30.121	25.398	25.296
13:00	45.346	31.251	26.527	26.435
14:00	46.071	32.280	27.899	27.780
15:00	45.966	33.248	29.123	29.032
16:00	43.606	33.878	30.378	30.279

2. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 1 (ทำการทดลองในวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2550)

2.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายใต้แรงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายใต้แรงรับแสงอาทิตย์

สภาพอากาศ	อัตราการไหล cm^3/sec									
	แม่เหล็ก	แม่เหล็ก	แม่เหล็ก	แม่เหล็ก	แม่เหล็ก	แม่เหล็ก	แม่เหล็ก	แม่เหล็ก	แม่เหล็ก	แม่เหล็ก
ตำแหน่งท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	
1	0.369	0.383	0.384	0.389	0.403	0.455	0.436	1.333	0.375	
2	0.404	0.422	0.447	0.459	0.459	0.509	0.596	0.588	0.404	
3	0.366	0.367	0.369	0.375	0.376	0.42	0.427	0.405	0.373	
4	0.433	0.479	0.499	0.518	0.547	0.604	0.594	0.596	0.406	
5	0.508	0.571	0.585	0.706	0.716	0.863	0.77	0.757	0.575	
6	0.426	0.474	0.535	0.57	0.625	0.651	0.738	0.657	0.418	
7	0.375	0.411	0.478	0.493	0.496	0.534	0.756	0.728	0.395	
อัตราการไหลท่อกลับ	3.597	4.201	5.411	5.998	6.671	6.669	6.549	6.607	4.432	

2.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
		องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)									
8:00	แม่เหล็ก	49.390	53.050	58.720	55.990	58.040	59.060	28.210	57.860	58.580	
9:00	แม่เหล็ก	55.287	58.957	63.245	61.309	61.965	63.444	29.366	62.889	63.329	
10:00	แม่เหล็ก	75.337	80.829	85.925	83.939	82.983	85.892	35.163	83.238	83.989	
11:00	แม่เหล็ก	86.483	86.933	79.500	80.450	77.535	88.683	39.596	85.733	85.558	
12:00	แม่เหล็ก	89.400	84.233	80.668	79.195	70.532	85.108	42.890	81.542	82.483	
13:00	แม่เหล็ก	91.508	88.450	87.208	84.917	72.799	90.392	44.847	86.617	87.742	
14:00	แม่เหล็ก	90.175	87.525	87.325	86.658	76.225	89.950	46.521	87.492	88.275	
15:00	แม่เหล็ก	85.008	84.258	84.692	85.667	80.592	85.725	48.123	86.517	86.817	
16:00	แม่เหล็ก	75.683	75.084	74.644	75.183	67.596	74.558	48.113	76.508	76.550	

2.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ค.8 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน								
		ที่ก่อ น้ำ R1	ที่ก่อ น้ำ R2	ที่ก่อ น้ำ R3	ที่ก่อ น้ำ R4	ที่ก่อ น้ำ R5	ที่ก่อ น้ำ R6	ที่ก่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18
องศาเซลเซียส (°C)										
8:00	แจ่มใส	48.840	53.270	56.110	57.060	55.620	58.330	59.010	57.010	59.300
9:00	แจ่มใส	54.764	59.048	61.811	62.236	61.787	62.934	63.299	62.400	64.619
10:00	แจ่มใส	71.232	77.320	81.148	81.796	82.145	82.451	82.806	82.140	85.335
11:00	แจ่มใส	88.758	95.125	97.633	97.867	98.417	98.192	97.508	97.875	100.550
12:00	แจ่มใส	94.150	97.317	98.750	98.267	95.742	97.400	96.958	98.900	101.200
13:00	แจ่มใส	93.433	97.250	98.133	97.767	96.358	95.250	94.500	98.175	100.342
14:00	แจ่มใส	93.733	97.292	98.125	97.625	96.008	95.483	92.900	97.975	99.858
15:00	แจ่มใส	94.683	96.933	97.267	96.792	91.083	92.058	88.842	97.100	98.358
16:00	แจ่มใส	84.467	85.567	85.792	85.558	80.875	81.050	78.500	85.658	86.058

2.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ค.9 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิเวลล้อม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวมด้านบน	ไกล์ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิเวลล้อม
	องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	55.463	51.780	25.000	3.683	30.463
9:00	60.840	56.225	29.002	4.615	31.838
10:00	79.842	75.724	33.453	4.119	46.390
11:00	96.214	77.026	38.309	19.188	57.905
12:00	96.940	76.004	41.696	20.937	55.245
13:00	96.099	80.017	43.940	16.082	52.159
14:00	95.881	80.626	45.755	15.255	50.126
15:00	93.951	79.152	47.607	14.799	46.345
16:00	83.115	70.123	48.286	12.993	34.830

2.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ค.10 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
อุณหภูมิเชิงส์ (°C)				
8:00	38.090	28.840	28.400	26.800
9:00	35.301	28.979	28.277	26.913
10:00	37.822	28.755	27.449	26.678
11:00	44.900	29.562	27.400	27.158
12:00	52.480	31.861	27.685	27.503
13:00	52.833	34.051	28.764	28.557
14:00	53.248	35.573	29.733	29.496
15:00	52.357	36.498	30.823	30.561
16:00	49.219	37.269	32.001	31.725

ภาคผนวก ง
ข้อมูลการทดสอบในแบบที่ 2

ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 2

1. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 2 (ทำการทดลองในวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2551)

1.1 อัตราการไหหลังน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ๑ ข้อมูลการวัดอัตราการไหหลังน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์

อัตราการไหลด cm^3/sec									
สภาพอากาศ	แจ่มใส	แฉมใส	แจ่มใส						
ตัวแทนผู้ท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	0.227	0.241	0.242	0.247	0.261	0.313	0.294	1.191	0.233
2	0.262	0.280	0.305	0.317	0.317	0.367	0.454	0.446	0.262
3	0.224	0.225	0.227	0.233	0.234	0.278	0.285	0.263	0.231
4	0.291	0.337	0.357	0.376	0.405	0.462	0.452	0.454	0.264
5	0.366	0.429	0.443	0.564	0.574	0.721	0.628	0.615	0.433
6	0.284	0.332	0.393	0.428	0.483	0.509	0.596	0.515	0.276
7	0.233	0.269	0.336	0.351	0.354	0.392	0.614	0.586	0.253
อัตราการไหลดที่ท่อกลับ	1.089	1.487	2.963	3.588	3.610	4.023	3.565	2.823	2.648

1.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	19.361	19.579	19.708	19.242	19.744	20.063	19.961	19.523	19.802	
9:00	แจ่มใส	34.788	37.212	39.668	35.827	40.528	43.848	44.102	38.793	41.326	
10:00	แจ่มใส	64.182	66.761	68.426	65.831	70.384	71.641	69.775	68.453	70.690	
11:00	แจ่มใส	81.825	85.233	85.500	86.583	88.000	88.108	86.025	87.417	88.225	
12:00	แจ่มใส	88.650	91.275	85.292	87.175	89.617	90.242	88.367	89.275	89.633	
13:00	แจ่มใส	93.158	95.100	87.417	88.608	92.883	93.808	90.692	91.667	92.383	
14:00	แจ่มใส	92.350	92.508	87.658	87.217	90.858	89.042	84.633	90.442	91.692	
15:00	แจ่มใส	84.692	84.117	84.175	84.933	85.358	81.475	76.492	86.317	86.533	
16:00	แจ่มใส	70.066	68.918	71.007	69.652	71.488	69.085	63.768	72.370	73.377	

1.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	20.060	20.566	20.883	19.368	21.392	22.476	23.135	21.092	21.851	
9:00	แจ่มใส	38.533	42.937	46.272	42.063	47.574	48.906	50.548	46.462	49.155	
10:00	แจ่มใส	63.503	69.833	73.541	66.784	73.063	72.903	73.608	73.043	75.716	
11:00	แจ่มใส	79.533	85.667	89.025	81.208	88.833	87.758	86.925	88.983	91.942	
12:00	แจ่มใส	82.525	88.242	93.367	86.150	93.858	91.375	89.250	93.383	96.750	
13:00	แจ่มใส	86.325	91.367	97.108	90.283	96.725	92.842	90.400	96.942	99.733	
14:00	แจ่มใส	87.650	92.083	96.500	88.800	94.092	91.175	87.567	96.358	97.917	
15:00	แจ่มใส	86.217	88.467	88.750	80.817	84.508	83.700	79.183	89.217	89.342	
16:00	แจ่มใส	75.668	76.340	75.660	68.521	70.783	70.867	65.944	76.430	75.589	

1.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไก่ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ 1.4 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไก่ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิแวดล้อม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไก่ท่อรวมด้านบน	ไก่ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิแวดล้อม
	องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	21.126	19.665	21.297	1.460	-0.171
9:00	45.262	39.424	22.813	5.837	22.449
10:00	70.462	68.143	25.043	2.319	45.419
11:00	85.564	85.896	27.131	-0.332	58.433
12:00	89.252	88.660	28.635	0.593	60.617
13:00	92.150	91.667	30.473	0.483	61.677
14:00	91.124	89.181	31.817	1.943	59.307
15:00	84.520	83.035	32.424	1.486	52.096
16:00	71.969	69.141	32.588	2.828	39.381

1.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ 1.5 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	24.071	23.455	23.350	23.159
9:00	28.928	25.923	23.405	23.069
10:00	30.815	27.815	23.215	23.003
11:00	37.671	30.021	24.042	23.903
12:00	40.486	31.133	24.993	24.885
13:00	43.112	32.377	26.006	25.876
14:00	44.458	33.268	27.268	27.127
15:00	43.687	34.059	28.571	28.419
16:00	41.416	34.401	29.696	29.549

2. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 2 (ทำการทดลองในวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2550)

2.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อนำภายในแพงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ง.6 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์

อัตราการไหล cm^3/sec									
สภาพอากาศ	แจ่มใส	แฉมใส	แฉมใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แจ่มใส
ตีนแทนน้ำท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	0.449	0.463	0.464	0.469	0.483	0.535	0.516	1.413	0.455
2	0.484	0.502	0.527	0.539	0.539	0.589	0.676	0.668	0.484
3	0.446	0.447	0.449	0.455	0.456	0.500	0.507	0.485	0.453
4	0.513	0.559	0.579	0.598	0.627	0.684	0.674	0.676	0.486
5	0.588	0.651	0.665	0.786	0.796	0.943	0.850	0.837	0.655
6	0.506	0.554	0.615	0.650	0.705	0.731	0.818	0.737	0.498
7	0.455	0.491	0.558	0.573	0.576	0.614	0.836	0.808	0.475
อัตราการไหลที่ท่อถัง	1.079	1.511	3.002	3.607	3.632	4.078	3.330	2.775	2.653

2.2 อุณหภูมิของแพ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ง.7 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแพ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแพ่นดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านล่าง									
		ที่ก่อ น้ำ R1	ที่ก่อ น้ำ R2	ที่ก่อ น้ำ R3	ที่ก่อ น้ำ R4	ที่ก่อ น้ำ R5	ที่ก่อ น้ำ R6	ที่ก่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)											
8:00	แจ่มใส	32.595	32.775	32.685	33.250	31.500	32.640	27.250	33.525	33.135	
9:00	แจ่มใส	37.176	37.208	37.548	39.558	39.411	38.778	28.757	40.273	39.661	
10:00	แจ่มใส	54.301	52.304	52.482	60.455	58.276	59.512	35.715	61.428	59.103	
11:00	แจ่มใส	66.359	60.125	59.983	74.052	69.983	66.823	41.374	74.590	69.950	
12:00	แจ่มใส	73.634	64.233	62.610	75.405	72.906	69.718	43.170	76.817	72.843	
13:00	แจ่มใส	74.523	64.791	61.907	74.872	71.708	69.135	44.978	75.783	71.423	
14:00	แจ่มใส	74.033	65.505	61.773	73.622	71.548	67.248	46.424	74.873	71.009	
15:00	แจ่มใส	72.969	65.459	59.217	73.613	68.884	62.018	47.794	72.902	67.751	
16:00	แจ่มใส	65.601	60.486	53.149	63.709	57.965	53.899	46.461	62.874	58.735	

2.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ดำเนินการท่อไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ง.8 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ดำเนินการท่อไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน								
		ท่อ น้ำ R1	ท่อ น้ำ R2	ท่อ น้ำ R3	ท่อ น้ำ R4	ท่อ น้ำ R5	ท่อ น้ำ R6	ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18
องศาเซลเซียส (°C)										
8:00	แจ่มใส	33.970	34.530	34.755	34.965	31.825	34.260	34.120	35.005	35.285
9:00	แจ่มใส	40.583	42.214	42.648	42.488	38.323	42.347	42.323	42.823	43.736
10:00	แจ่มใส	65.171	68.554	70.059	69.424	66.753	69.216	70.878	70.131	70.411
11:00	แจ่มใส	81.608	82.933	86.400	84.933	80.142	85.300	86.383	86.183	84.908
12:00	แจ่มใส	87.883	89.392	91.608	89.275	83.658	88.267	89.250	90.783	89.617
13:00	แจ่มใส	88.542	88.867	90.958	88.733	83.217	86.500	87.833	90.342	88.508
14:00	แจ่มใส	89.458	89.425	90.150	87.675	82.425	84.800	84.300	89.292	87.575
15:00	แจ่มใส	88.233	87.558	87.050	84.383	78.867	80.133	78.800	85.892	83.667
16:00	แจ่มใส	75.763	75.998	74.811	72.931	68.940	69.197	66.804	73.878	72.313

2.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ดำเนินการท่อไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ง.9 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ดำเนินการท่อไกล์ท่อรวมด้านบน

และด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิแวดล้อม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวมด้านบน	ไกล์ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิแวดล้อม
	องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	34.061	31.814	27.235	2.247	6.826
9:00	41.561	36.919	28.380	4.641	13.181
10:00	68.579	53.292	34.608	15.287	33.972
11:00	83.957	62.671	40.469	21.286	43.488
12:00	88.476	65.954	42.578	22.523	45.898
13:00	87.807	65.988	44.510	21.820	43.297
14:00	86.890	65.736	45.990	21.154	40.900
15:00	83.575	64.279	47.834	19.296	35.741
16:00	72.063	57.324	47.179	14.739	24.884

2.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	29.815	29.085	28.750	28.615
9:00	29.471	28.893	28.786	28.718
10:00	35.804	28.290	27.883	27.761
11:00	47.305	28.458	27.947	27.827
12:00	55.924	29.278	28.535	28.423
13:00	60.643	30.478	29.058	28.911
14:00	62.188	32.343	29.769	29.635
15:00	62.673	34.583	30.708	30.578
16:00	61.064	36.862	31.910	31.753

ภาคผนวก จ
ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 3

ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 3

1. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 3 (ทำการทดลองในวันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2551)

1.1 อัตราการไหลดของน้ำในท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลดของน้ำในท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์

สภาพอากาศ	อัตราการไหลด cm^3/sec									
	แม่morning	แม่noon	แม่afternoon	แม่night	แม่midnight	แม่midday	แม่evening	แม่late afternoon	แม่midnight	แม่midday
ต้นหน่อท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	
1	0.456	0.729	1.130	1.181	1.384	0.917	0.790	0.640	0.473	
2	0.175	0.191	0.191	0.211	0.222	0.502	0.351	0.201	0.265	
3	0.693	0.789	0.789	0.834	1.037	1.264	1.040	0.890	0.670	
4	0.146	0.181	0.181	0.238	0.192	0.384	0.381	0.231	0.275	
5	0.630	0.537	0.537	0.636	0.596	0.490	0.469	0.319	0.399	
6	0.079	0.103	0.103	0.141	0.122	0.193	0.174	0.024	0.161	
7	0.520	0.667	0.667	1.176	1.242	1.481	1.541	1.391	0.751	
อัตราการไหลดที่ออกลับ	2.906	3.280	3.478	4.562	5.148	4.718	4.384	4.172	3.729	

1.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ดำเนินการท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ดำเนินการท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง								
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16
องศาเซลเซียส (°C)										
8:00	แจ่มใส	17.932	18.204	18.219	18.156	18.138	18.746	18.340	18.212	18.278
9:00	แจ่มใส	36.302	37.986	38.680	38.192	39.134	42.311	40.262	39.269	40.412
10:00	แจ่มใส	65.435	67.804	65.068	66.378	67.760	68.930	64.333	67.598	68.114
11:00	แจ่มใส	82.217	85.133	78.500	84.817	84.967	84.558	80.275	85.225	83.708
12:00	แจ่มใส	89.258	89.817	86.717	88.175	91.050	90.050	89.833	90.292	90.875
13:00	แจ่มใส	93.217	94.950	92.258	93.800	95.667	92.842	92.933	95.042	95.550
14:00	แจ่มใส	91.658	92.850	89.550	91.358	93.092	91.400	88.583	93.167	93.600
15:00	แจ่มใส	82.092	83.383	82.958	82.858	85.008	84.825	81.217	85.758	86.425
16:00	แจ่มใส	68.257	69.326	72.818	70.038	72.834	72.543	67.940	73.617	75.277

1.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ดำเนินการท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ จ.3 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ดำเนินการท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน								
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18
องศาเซลเซียส (°C)										
8:00	แจ่มใส	18.308	18.788	19.191	18.824	19.294	20.935	21.785	17.865	20.195
9:00	แจ่มใส	40.266	43.763	46.820	47.163	47.664	49.724	51.838	45.303	49.934
10:00	แจ่มใส	66.346	71.647	75.438	74.485	75.121	74.617	75.770	74.511	77.387
11:00	แจ่มใส	78.300	85.342	88.875	87.483	89.358	88.308	87.625	88.217	92.208
12:00	แจ่มใส	88.458	95.158	97.492	94.692	96.142	95.325	91.967	94.467	99.283
13:00	แจ่มใส	94.350	98.742	99.225	97.225	97.233	97.558	94.558	97.508	100.817
14:00	แจ่มใส	94.025	98.500	98.817	97.650	96.642	95.900	92.467	98.058	100.317
15:00	แจ่มใส	92.867	95.267	95.200	92.550	91.092	89.683	85.108	94.533	95.583
16:00	แจ่มใส	83.117	83.292	82.683	79.574	77.704	77.549	73.278	82.275	82.158

1.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ จ.4 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิแวดล้อม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวมด้านบน	ไกล์ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิแวดล้อม
องศาเซลเซียส (°C)					
8:00	19.589	18.248	21.223	1.342	-1.633
9:00	46.748	38.981	23.333	7.768	23.416
10:00	73.346	66.530	25.573	6.816	47.773
11:00	86.470	82.924	27.953	3.546	58.517
12:00	94.176	89.271	29.871	4.905	64.305
13:00	96.985	93.667	31.890	3.318	65.095
14:00	96.286	91.213	32.978	5.073	63.307
15:00	91.681	83.192	34.023	8.489	57.658
16:00	79.600	70.536	34.845	9.063	44.755

1.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ จ.5 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
ที่ระดับ 45 cm.				
8:00	25.027	24.385	23.863	23.858
9:00	29.894	27.886	23.585	23.218
10:00	33.003	30.127	23.404	23.022
11:00	40.332	32.308	24.480	24.148
12:00	43.398	33.601	25.441	25.179
13:00	46.698	34.557	26.662	26.361
14:00	48.022	36.223	28.252	27.956
15:00	47.653	37.793	29.637	29.362
16:00	45.428	37.774	30.998	30.673

2. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 3 (ทำการทดลองในวันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2550)

2.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ จ.6 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์

อัตราการไหล cm^3/sec									
สภาพอากาศ	แจ่มใส	เมฆ	แจ่มใส	เมฆ	แจ่มใส	เมฆ	แจ่มใส	เมฆ	แจ่มใส
ตัวแทนท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	0.677	0.950	1.351	1.402	1.605	1.138	1.011	0.861	0.694
2	0.396	0.412	0.412	0.432	0.443	0.723	0.572	0.422	0.486
3	0.914	1.010	1.010	1.055	1.258	1.485	1.261	1.111	0.891
4	0.367	0.402	0.402	0.459	0.413	0.605	0.602	0.452	0.496
5	0.851	0.758	0.758	0.857	0.817	0.711	0.690	0.540	0.620
6	0.300	0.324	0.324	0.362	0.343	0.414	0.395	0.245	0.382
7	0.741	0.888	0.888	1.397	1.463	1.702	1.762	1.612	0.972
อัตราการไหลท่อต่อกลับ	2.887	3.285	3.507	4.701	4.796	4.035	3.768	3.543	3.457

2.2 อุณหภูมิของแพ่น้ำดูดความร้อนที่ตัวแทนท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ จ.7 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแพ่น้ำดูดความร้อนที่ตัวแทนท่อน้ำใกล้ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแพ่น้ำดูดความร้อนใกล้ท่อรวมด้านล่าง									
		ท่อ น้ำ R1	ท่อ น้ำ R2	ท่อ น้ำ R3	ท่อ น้ำ R4	ท่อ น้ำ R5	ท่อ น้ำ R6	ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)											
8:00	แจ่มใส	34.060	35.610	35.850	36.320	37.000	39.220	35.700	41.730	42.390	
9:00	แจ่มใส	36.595	48.977	47.962	49.305	50.491	51.160	47.283	44.973	45.160	
10:00	แจ่มใส	39.201	71.747	69.604	73.193	74.160	73.293	69.714	46.498	47.120	
11:00	แจ่มใส	43.323	88.075	83.033	86.033	88.108	88.625	87.583	50.681	51.312	
12:00	แจ่มใส	50.623	95.592	90.067	89.508	93.900	92.842	93.875	59.251	59.910	
13:00	แจ่มใส	51.331	93.183	90.442	90.017	93.783	92.842	91.958	59.624	59.668	
14:00	แจ่มใส	49.171	84.650	83.442	85.658	87.425	85.325	82.975	55.175	55.239	
15:00	แจ่มใส	39.173	75.076	73.382	76.983	77.117	75.270	73.275	41.997	41.043	
16:00	แจ่มใส	36.878	61.180	60.793	61.450	62.780	60.848	58.774	39.014	38.120	

2.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแผ่นท่อนำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ จ.8 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแผ่นท่อนำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน								
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18
อัตราเชลเซียส (°C)										
8:00	แจ่มใส	37.330	40.300	42.810	42.310	45.240	45.410	47.130	48.500	48.010
9:00	แจ่มใส	49.360	53.018	55.693	54.713	58.258	56.947	58.810	52.262	50.799
10:00	แจ่มใส	71.059	76.310	78.621	77.558	81.425	78.391	79.033	54.083	52.516
11:00	แจ่มใส	84.742	89.925	93.475	92.517	96.092	91.967	90.350	59.517	57.264
12:00	แจ่มใส	91.633	95.217	98.517	97.442	99.525	97.400	95.325	70.795	66.734
13:00	แจ่มใส	93.792	97.083	98.808	97.425	99.258	96.983	94.908	70.953	66.761
14:00	แจ่มใส	91.617	94.575	95.342	93.492	95.017	91.250	87.575	65.892	62.359
15:00	แจ่มใส	86.158	87.233	87.092	84.750	86.292	83.092	79.133	46.991	45.723
16:00	แจ่มใส	70.692	70.889	70.720	68.870	69.222	67.853	65.536	41.910	41.887

2.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแผ่นท่อนำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ จ.9 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ติดแผ่นท่อนำไกล์ท่อรวมด้านบน

และด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิเวคเตอร์	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวมด้านบน	ไกล์ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิเวคเตอร์
	อัตราเชลเซียส (°C)				
8:00	42.933	36.251	27.130	6.681	15.803
9:00	55.257	47.396	29.144	7.861	26.113
10:00	77.485	67.273	33.847	10.212	43.639
11:00	91.295	80.683	37.212	10.612	54.084
12:00	96.437	86.629	40.553	9.808	55.884
13:00	96.894	86.222	42.803	10.672	54.092
14:00	92.695	79.807	43.578	12.889	49.117
15:00	84.821	70.039	39.776	14.782	45.046
16:00	69.112	57.529	36.202	11.582	32.910

2.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ จ.10 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
อุณหภูมิเชิงสี ($^{\circ}\text{C}$)				
8:00	31.470	28.490	28.390	28.280
9:00	36.415	28.305	28.024	27.877
10:00	42.666	28.563	27.943	27.784
11:00	44.823	30.157	28.258	28.099
12:00	49.803	33.087	28.353	28.235
13:00	52.306	37.178	29.227	29.043
14:00	53.183	41.678	30.711	30.163
15:00	52.471	45.079	32.973	31.765
16:00	50.630	45.197	33.858	31.893

ภาคผนวก ฉบับที่ 4
ข้อมูลการทดสอบในแบบที่ 4

ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 4

1. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 4 (ทำการทดลองในวันที่ 19 มกราคม พ.ศ. 2551)

1.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อนำกําภัยในແຜງຮັບແສງອາທິດຍ່າງ

ตารางที่ ฉบับ 1 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อนำกําภัยในແຜງຮັບແສງອາທິດຍ່າງ

อัตราการไหล cm ³ /sec									
สภาพอากาศ	เย็น								
ตำแหน่งท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	0.253	0.423	1.026	1.178	1.330	1.230	1.130	0.650	0.370
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.306	0.476	0.686	0.908	1.130	1.080	1.030	0.799	0.567
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.227	0.397	0.434	0.679	0.923	0.789	0.796	0.546	0.296
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.362	0.502	0.564	1.067	1.569	1.370	1.330	0.969	0.648
อัตราการไหลที่ท่อคลัมบ์	2.723	3.073	3.247	4.898	5.298	5.198	4.498	4.398	4.598

1.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ฉบับ ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
		องศาเซลเซียส (°C)									
8:00	แจ่มใส	17.736	18.009	17.944	17.913	17.825	18.470	17.045	17.897	17.953	
9:00	แจ่มใส	35.653	37.328	38.098	37.404	37.972	42.700	38.568	38.278	39.505	
10:00	แจ่มใส	65.375	68.386	65.263	66.303	68.202	70.318	63.687	67.584	68.348	
11:00	แจ่มใส	83.917	86.783	81.000	84.483	86.725	87.325	84.150	86.075	85.933	
12:00	แจ่มใส	91.833	95.183	91.167	92.650	95.467	96.283	94.933	94.425	95.017	
13:00	แจ่มใส	95.675	98.342	94.258	96.317	97.767	98.258	96.217	97.442	97.875	
14:00	แจ่มใส	93.717	94.567	89.492	91.075	93.517	91.758	89.133	93.575	94.067	
15:00	แจ่มใส	82.650	86.142	82.267	82.483	85.175	84.192	81.225	85.492	86.042	
16:00	แจ่มใส	68.923	72.107	72.073	70.223	73.205	71.887	67.698	73.688	74.931	

1.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ฉบับ ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	
		องศาเซลเซียส (°C)									
8:00	แจ่มใส	18.225	18.812	19.230	17.429	19.725	21.079	22.015	18.593	20.303	
9:00	แจ่มใส	39.663	43.172	46.481	42.557	48.033	48.934	51.503	46.796	49.599	
10:00	แจ่มใส	65.941	70.797	74.989	68.428	75.901	73.812	75.808	73.651	77.081	
11:00	แจ่มใส	81.842	88.350	92.433	84.558	93.283	90.608	89.958	91.750	95.025	
12:00	แจ่มใส	92.400	97.458	98.925	91.875	97.925	97.367	94.100	98.275	100.633	
13:00	แจ่มใส	95.592	99.717	99.992	93.133	98.500	98.208	95.142	99.617	101.508	
14:00	แจ่มใส	93.350	98.383	98.808	92.033	97.308	95.500	91.733	98.567	100.100	
15:00	แจ่มใส	92.550	93.892	94.508	86.225	90.892	88.950	83.850	94.217	94.892	
16:00	แจ่มใส	82.275	81.650	81.850	75.846	77.698	77.047	72.493	81.467	81.850	

1.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ณ.4 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิเวลดี้ล้ม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวมด้านบน	ไกล์ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิเวลดี้ล้ม
	องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)				
8:00	19.502	17.849	20.543	1.653	-1.040
9:00	45.763	38.246	21.801	7.517	23.962
10:00	72.239	66.790	24.338	5.449	47.901
11:00	88.719	84.912	26.907	3.807	61.812
12:00	95.721	93.931	29.240	1.790	66.481
13:00	97.183	96.690	31.488	0.493	65.695
14:00	95.302	91.894	32.850	3.408	62.452
15:00	90.124	83.448	33.719	6.676	56.405
16:00	78.408	70.874	34.620	7.535	43.788

1.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ฉ.5 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อนในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)				
8:00	24.623	24.032	23.784	23.738
9:00	29.823	26.633	23.633	23.271
10:00	35.243	28.466	23.322	22.933
11:00	41.031	30.838	24.123	23.886
12:00	44.513	32.219	25.133	24.908
13:00	47.305	33.343	26.439	26.258
14:00	47.421	35.214	28.006	27.853
15:00	46.802	36.034	29.231	29.068
16:00	44.653	36.142	30.460	30.280

2. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 4 (ทำการทดลองในวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2551)

2.1 อัตราการไหลของน้ำในห้องน้ำภายในท่อนำกําภัยในแพงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ฉ.6 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในห้องน้ำภายในแพงรับแสงอาทิตย์

สภาพอากาศ	อัตราการไหล cm ³ /sec									
	เย็นใส	แจ่มใส	แฉบใส	เย็นใส						
ค่าแทนง่วงท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	
1	0.361	0.531	1.134	1.286	1.438	1.338	1.238	0.758	0.478	
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
3	0.414	0.584	0.794	1.016	1.238	1.188	1.138	0.906	0.675	
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
5	0.335	0.505	0.542	0.786	1.031	0.897	0.904	0.654	0.404	
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
7	0.470	0.610	0.672	1.174	1.677	1.477	1.438	1.077	0.756	
อัตราการไหลท่อออกล้น	2.721	3.071	3.246	4.897	5.297	5.197	4.497	4.397	4.597	

2.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกลีท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ฉ.7 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกลีท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกลีท่อรวมด้านล่าง									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	R3-R4	R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	21.672	22.018	22.150	22.028	22.263	22.646	21.902	22.175	20.132	
9:00	แจ่มใส	35.706	37.205	36.955	37.323	38.838	40.068	35.963	38.353	24.533	
10:00	แจ่มใส	59.215	61.063	57.720	59.001	61.511	62.354	56.583	60.778	33.218	
11:00	แจ่มใส	77.358	78.392	72.915	74.813	78.167	78.967	74.827	77.483	39.455	
12:00	แจ่มใส	87.792	88.058	80.900	83.942	87.550	88.033	85.950	86.717	43.445	
13:00	แจ่มใส	89.867	90.050	84.925	84.742	88.833	90.017	88.408	87.967	46.929	
14:00	แจ่มใส	69.533	70.905	68.808	68.153	71.078	70.563	68.608	70.690	44.443	
15:00	แจ่มใส	65.610	68.328	65.750	65.482	68.386	67.943	65.892	68.231	45.902	
16:00	แจ่มใส	58.924	61.588	61.068	59.982	62.325	61.887	59.309	62.683	46.503	

2.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ณ.8 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	
		องศาเซลเซียส (°C)									
8:00	แจ่มใส	21.462	22.002	22.256	20.073	21.933	23.088	23.569	22.553	22.872	
9:00	แจ่มใส	36.368	39.312	41.486	37.978	42.140	43.410	44.636	41.858	43.904	
10:00	แจ่มใส	59.468	64.037	67.266	61.732	66.863	66.641	67.512	66.855	69.311	
11:00	แจ่มใส	75.588	81.900	85.333	78.925	84.358	83.458	82.442	85.142	87.750	
12:00	แจ่มใส	85.317	92.100	95.633	88.092	93.675	91.675	88.825	95.258	97.792	
13:00	แจ่มใส	90.367	95.400	97.542	89.867	94.708	92.825	89.658	96.975	98.775	
14:00	แจ่มใส	74.135	75.894	77.413	71.964	74.724	74.253	71.755	77.485	78.078	
15:00	แจ่มใส	74.848	75.482	76.267	70.252	72.718	71.660	67.582	76.217	76.550	
16:00	แจ่มใส	70.305	69.821	70.118	64.773	66.309	65.948	62.466	70.468	70.159	

2.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ณ.9 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

และด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิแวดล้อม	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวมด้านบน	ไกล์ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิแวดล้อม
	องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	22.055	22.097	22.518	-0.042	-0.464
9:00	40.761	37.437	24.538	3.325	16.223
10:00	64.788	59.635	26.576	5.153	38.212
11:00	81.715	76.491	28.105	5.224	53.609
12:00	90.760	86.032	30.372	4.727	60.388
13:00	92.910	88.120	32.117	4.789	60.793
14:00	74.305	69.664	32.375	4.641	41.931
15:00	72.687	66.770	33.596	5.917	39.091
16:00	67.106	60.726	34.024	6.380	33.082

2.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ฉบับการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในแนวตั้ง)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	24.967	24.787	24.743	24.616
9:00	29.708	27.153	24.385	24.132
10:00	31.948	29.657	24.337	24.140
11:00	40.365	31.953	25.118	24.937
12:00	45.048	33.397	26.070	25.874
13:00	47.863	34.457	27.298	27.108
14:00	42.261	34.790	28.903	28.728
15:00	43.843	35.718	29.524	29.280
16:00	42.799	35.995	30.498	30.258

ภาคผนวก ช
ข้อมูลการทดสอบในแบบที่ 5

ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 5

1. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 5 (ทำการทดลองในวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2551)

1.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพรรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ ช.1 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายในแพรรับแสงอาทิตย์

อัตราการไหล cm ³ /sec									
สภาพอากาศ	แจ่มใส	แ晦็มใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แ晦็มใส	แจ่มใส	แจ่มใส	แจ่มใส
ที่เมานะง่าท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	0.316	0.502	0.608	0.898	1.187	1.291	1.395	0.916	0.437
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.428	0.583	0.737	0.906	1.075	1.141	1.206	0.972	0.617
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.374	0.513	0.591	0.718	0.845	0.899	0.953	0.703	0.453
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.396	0.609	0.721	1.037	1.352	1.418	1.484	1.371	1.054
อัตราการไหลที่ท่อคัมบ์	2.523	2.873	3.498	3.998	4.298	4.798	4.998	4.798	4.398

1.2 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

ตารางที่ ช.2 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านล่าง

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านล่าง									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	29.529	30.147	30.182	30.167	30.546	30.727	30.300	30.461	30.717	
9:00	แจ่มใส	47.688	49.616	49.597	49.362	51.226	52.171	49.124	50.568	51.452	
10:00	แจ่มใส	67.409	69.780	68.022	68.553	70.498	71.139	67.502	69.811	70.504	
11:00	แจ่มใส	82.925	85.275	82.175	83.700	86.200	86.500	84.650	85.400	85.808	
12:00	แจ่มใส	95.017	97.733	95.475	96.592	98.617	98.650	96.600	97.900	98.592	
13:00	แจ่มใส	97.825	100.083	98.575	98.775	100.917	100.975	98.208	100.275	101.250	
14:00	แจ่มใส	97.525	98.408	94.983	96.717	98.142	97.242	94.792	98.017	98.383	
15:00	แจ่มใส	89.208	89.967	86.858	87.533	89.608	89.317	86.567	89.858	90.417	
16:00	แจ่มใส	84.000	85.792	83.333	83.742	86.067	85.775	82.750	86.225	86.808	

1.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ช.3 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพ อากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	28.898	30.480	31.590	32.166	30.713	32.894	33.554	27.573	32.987	
9:00	แจ่มใส	47.920	51.911	54.914	54.555	52.676	56.114	57.628	53.981	57.109	
10:00	แจ่มใส	67.141	72.300	75.700	75.242	72.881	75.233	76.067	75.308	77.708	
11:00	แจ่มใส	78.908	86.533	90.742	90.558	89.900	89.667	88.100	89.558	93.700	
12:00	แจ่มใส	94.067	97.258	99.192	99.442	96.983	98.575	94.683	98.525	101.642	
13:00	แจ่มใส	97.375	100.033	100.708	100.842	98.333	99.392	95.975	100.350	102.925	
14:00	แจ่มใส	96.033	99.192	100.150	100.075	97.742	98.375	94.025	99.733	102.008	
15:00	แจ่มใส	93.533	95.525	97.275	96.325	93.975	93.200	88.258	96.408	98.475	
16:00	แจ่มใส	92.667	93.400	94.842	93.708	90.792	89.900	84.742	93.900	95.683	

1.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ช.4 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิเวคเตอร์	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวมด้านบน	ไกล์ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิเวคเตอร์
	องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)				
8:00	31.471	30.228	26.505	1.242	4.966
9:00	53.674	49.826	28.167	3.848	25.507
10:00	73.509	68.986	30.052	4.523	43.457
11:00	87.773	84.489	32.605	3.283	55.168
12:00	97.171	96.955	34.728	0.217	62.443
13:00	98.951	99.337	35.573	-0.386	63.378
14:00	97.942	96.830	37.246	1.112	60.696
15:00	94.013	88.437	37.521	5.576	56.492
16:00	91.436	84.494	38.671	6.942	52.765

1.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ช.5 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในเมตรวตต์)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)				
8:00	28.351	27.591	26.919	26.938
9:00	33.343	30.852	26.697	26.483
10:00	39.573	32.299	26.674	26.492
11:00	46.384	35.121	27.255	27.086
12:00	50.426	37.593	28.178	27.992
13:00	51.566	38.924	29.427	29.287
14:00	51.764	40.001	31.055	30.921
15:00	50.790	40.603	32.485	32.298
16:00	49.923	40.564	32.911	32.724

2. ข้อมูลการทดลองในแบบที่ 5 (ทำการทดลองในวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2551)

2.1 อัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายใต้แรงรับแรงดึงดูด

ตารางที่ ช.6 ข้อมูลการวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำภายใต้แรงรับแรงดึงดูด

สภาพอากาศ	อัตราการไหล cm ³ /sec									
	แม่น้ำ	แม่น้ำ	แม่น้ำ	แม่น้ำ	แม่น้ำ	แม่น้ำ	แม่น้ำ	แม่น้ำ	แม่น้ำ	แม่น้ำ
ค่าเหนื่อยท่อน้ำ	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	
1	0.220	0.406	0.512	0.802	1.091	1.195	1.299	0.820	0.341	
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
3	0.332	0.487	0.641	0.810	0.979	1.045	1.110	0.876	0.521	
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
5	0.278	0.417	0.495	0.622	0.749	0.803	0.857	0.607	0.357	
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
7	0.300	0.513	0.625	0.941	1.256	1.322	1.388	1.275	0.958	
อัตราการไหลท่ออกลั้น	2.521	2.871	3.497	3.997	4.297	4.797	4.997	4.797	4.397	

2.2 อุณหภูมิของแม่น้ำดูดความร้อนที่ติดแม่น้ำในท่อ

ตารางที่ ช.7 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแม่น้ำดูดความร้อนที่ติดแม่น้ำในท่อ

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแม่น้ำดูดความร้อนในท่อท่อรวมด้านล่าง									
		ท่อที่ 1 น้ำ R1	ท่อที่ 2 น้ำ R2	ท่อที่ 3 น้ำ R3	ท่อที่ 4 น้ำ R4	ท่อที่ 5 น้ำ R5	ท่อที่ 6 น้ำ R6	ท่อที่ 7 น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P15	P16	
อุณหภูมิเชิงเรียบ (°C)											
8:00	แม่น้ำ	26.937	27.392	27.964	28.138	28.311	28.298	29.043	28.354	28.404	
9:00	แม่น้ำ	41.513	43.361	45.455	46.124	46.793	46.771	47.500	46.348	46.398	
10:00	แม่น้ำ	65.402	68.350	67.095	68.762	70.428	70.405	70.260	69.823	69.873	
11:00	แม่น้ำ	82.315	86.023	85.255	86.642	88.028	88.002	86.836	87.803	87.853	
12:00	แม่น้ำ	92.732	95.337	90.216	92.886	95.557	95.529	94.954	97.714	94.570	
13:00	แม่น้ำ	90.407	95.214	91.330	93.806	96.281	96.256	96.023	95.548	95.565	
14:00	แม่น้ำ	90.725	93.358	87.777	90.081	92.386	92.371	91.229	92.999	92.440	
15:00	แม่น้ำ	84.413	85.234	84.146	84.744	85.341	85.332	81.865	86.316	86.815	
16:00	แม่น้ำ	72.515	74.241	71.919	72.484	73.048	73.056	69.312	75.020	74.720	

2.3 อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

ตารางที่ ช.8 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

เวลา	สภาพอากาศ	อุณหภูมิของแผ่นดูดความร้อนไกล์ท่อรวมด้านบน									
		ที่ท่อ น้ำ R1	ที่ท่อ น้ำ R2	ที่ท่อ น้ำ R3	ที่ท่อ น้ำ R4	ที่ท่อ น้ำ R5	ที่ท่อ น้ำ R6	ที่ท่อ น้ำ R7	ระหว่าง R3-R4	ระหว่าง R4-R5	
		P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	
องศาเซลเซียส (°C)											
8:00	แจ่มใส	27.078	28.023	28.535	27.812	26.923	29.208	29.726	25.754	29.454	
9:00	แจ่มใส	41.007	45.999	49.278	48.760	47.733	50.893	52.598	48.319	51.554	
10:00	แจ่มใส	62.361	69.201	72.841	72.300	71.649	73.353	74.088	72.551	75.622	
11:00	แจ่มใส	79.412	86.662	89.824	87.851	90.049	88.960	88.281	89.626	92.603	
12:00	แจ่มใส	89.182	96.340	99.671	97.989	96.844	96.460	94.221	98.807	100.803	
13:00	แจ่มใส	98.581	100.319	102.303	99.245	97.238	97.304	95.334	100.983	101.998	
14:00	แจ่มใส	96.638	98.741	100.375	98.761	96.184	95.111	91.565	99.529	100.772	
15:00	แจ่มใส	88.575	91.062	92.381	90.302	88.099	87.601	82.939	92.303	92.990	
16:00	แจ่มใส	77.565	78.255	78.056	75.583	75.038	74.107	69.555	78.564	78.836	

2.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบนและด้านล่าง

ตารางที่ ช.9 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อนที่ตำแหน่งท่อน้ำไกล์ท่อรวมด้านบน

และด้านล่าง

เวลา	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดความร้อน		อุณหภูมิเวคลื่อม	ความแปรผันของอุณหภูมิ	
	ไกล์ท่อรวมด้านบน	ไกล์ท่อรวมด้านล่าง		ด้านบน-ด้านล่าง	ด้านบน-อุณหภูมิเวคลื่อม
	องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	28.186	27.421	27.110	0.766	27.421
9:00	48.038	42.955	28.553	5.083	42.955
10:00	70.828	64.026	30.848	6.802	64.026
11:00	87.291	79.682	32.860	7.610	79.682
12:00	95.815	87.098	34.913	8.717	87.098
13:00	98.618	87.645	36.552	10.972	87.645
14:00	96.768	85.467	37.474	11.301	85.467
15:00	88.708	79.761	39.233	8.947	79.761
16:00	75.451	69.287	38.892	6.164	69.287

2.5 อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน

เวลา	อุณหภูมิของน้ำภายในถังน้ำร้อน(ในเนนวัตต์)			
	T1	T2	T3	T4
	ที่ระดับ 45 cm.	ที่ระดับ 31 cm.	ที่ระดับ 17 cm.	ที่ระดับ 3 cm.
องศาเซลเซียส (°C)				
8:00	29.164	28.826	27.659	27.452
9:00	31.950	29.934	26.163	26.560
10:00	35.014	32.456	26.273	26.696
11:00	36.547	34.999	27.122	27.552
12:00	43.599	37.079	28.075	28.457
13:00	46.923	38.331	29.447	29.776
14:00	49.282	38.695	31.050	31.368
15:00	49.646	38.700	32.394	32.726
16:00	46.639	39.564	33.581	33.873

ภาคผนวก ช
ผลงานทางวิชาการ

ผลงานทางวิชาการ

1. อโศก ศรีทองธรรม, พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพบูล, บรรษา บุคคลาดี และทรงสุภา พุ่มชุมพล.
“ผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำในแพลงรับแสงอาทิตย์ต่อเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดไอลอวี่นตามธรรมชาติ”, ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21. น.215. จังหวัดชลบุรี, 2550.
2. อโศก ศรีทองธรรม, พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพบูล, บรรษา บุคคลาดี และทรงสุภา พุ่มชุมพล.
“การศึกษาอิทธิพลของขนาดของท่อน้ำภายในแพลงรับแสงอาทิตย์ต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดไอลอวี่นตามธรรมชาติ”, ใน การประชุมวิชาการ เทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 2. น.196. จังหวัดขอนแก่น, 2551.
3. พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพบูล, อโศก ศรีทองธรรม, บรรษา บุคคลาดี และทรงสุภา พุ่มชุมพล.
“การเพิ่มสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังวางในแนวอนโดยการลดอัตราการไอลอวี่นท่อน้ำในท่อน้ำบางห่อในแพลงรับแสงอาทิตย์”, วารสารวิชาการ มข. ฉบับ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี ปีที่ 13(11) : ธันวาคม, 2551.
4. อโศก ศรีทองธรรม และพิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพบูล. “การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไอลอวี่นของน้ำตามธรรมชาติ”, วารสารวิชาการ ม.อ.บ. ปีที่ 11(1) : มกราคม-เมษายน, 2552.