สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ซ
รายการรูปประกอบ	ญ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฒ

บทที่

1. บทนำ		**1**
1.1	ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3	ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		**3**
2.1	รังสีอาทิตย์	3
2.2	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	8
2.3	ถังเก็บน้ำร้อน	18
2.4	ระบบความร้อนเสริม	21
2.5	ระบบน้ำร้อนไหลกลับ	23
2.6	ระบบควบคุมของระบบผลิตน้ำร้อนและการปรับตั้ง	24
2.7	การประเมินประสิทธิภาพระบบ	29
2.8	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์	31
2.9	โรงพยาบาลและการใช้น้ำร้อน	32
2.10	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. การดำเนินงานวิจัย **38**

3.1 การออกแบบระบบ 38

3.2 การศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำของผู้เข้าพักในโรงพยาบาล 45

3.3 การศึกษาปริมาณความร้อนที่ผลิตได้และการตรวจวัด 47

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 55

3.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 58

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล **63**

4.1 ปริมาณการใช้น้ำในโรงพยาบาลเฉลี่ยรายวัน 63

4.2 ค่าพลังงานที่ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ผลิตได้ 67

4.3 การออกแบบ 80

4.4 ผลการสร้างแบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ 82

4.5 ผลการทดสอบความถูกต้องของการคำนวณตามแบบจำลอง 83

4.6 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ 86

4.7 ผลของการปรับตั้ง Universal Electronic Controller 87

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ **90**

5.1 สรุปผลการทดลอง 90

5.2 ข้อเสนอแนะ 91

เอกสารอ้างอิง **92**

ภาคผนวก

ก. แบบรายละเอียดขนาดและรูปร่างของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ 95

ข. รายละเอียดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Trnsys 16 110

ประวัติผู้วิจัย **115**

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ปริมาณการใช้น้ำร้อนต่อแขกที่เข้าพัก	34
3.1	ค่าปริมาณการใช้น้ำร้อนรายวันต่อจำนวนคนพักเต็มที่อุณหภูมิ 60°C	39
3.2	ข้อมูลทั่วไปของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด	42
4.1	พลังงานความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์ผลิตได้ทั้งปีของ ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่โรงพยาบาลก่อนปรับตั้ง	77
4.2	พลังงานความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์ผลิตได้ทั้งปีของ ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่โรงพยาบาลหลังปรับตั้ง	79
4.3	ข้อมูลทั่วไปของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด	85

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	การแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ	4
2.2	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี	5
2.3	ลักษณะการส่งผ่านและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์	8
2.4	ส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	10
2.5	เส้นแสดงสมรรถนะของตัวเก็บรังสี	14
2.6	การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์	15
2.7	การต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนาน	16
2.8	การต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบขนานโดยวิธี Tichelmann	16
2.9	การเชื่อมต่อตัวเก็บรังสีแบบอนุกรม	17
2.10	การต่อวงจรตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสม	18
2.11	ถังเก็บน้ำร้อน	20
2.12	ลำดับและอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม	25
2.13	วงจรควบคุมภายในตู้ควบคุม	25
2.14	โปรแกรม TRNSYS 16	32
3.1	ระบบหมุนเวียนน้ำจ่ายไปใช้งาน (Return)	43
3.2	ระบบความร้อนเสริม (Heater)	44
3.3	ระบบหมุนเวียนน้ำไปถ่ายโอนความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Circulate)	44
3.4	ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดทั้งระบบ	48
3.5	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิของน้ำดิบก่อนเข้าถังสะสมน้ำร้อน	50
3.6	ตำแหน่งการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ	51
3.7	ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)	52
3.8	สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	53
3.9	เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter)	53
3.10	เครื่องบันทึกข้อมูล	54
3.11	ประตูน้ำ (Gate Valve)	54
3.12	ตู้ควบคุมการทำงาน	55

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

3.13 คอนโทรลเลอร์ฟังก์ชัน **58**
3.14 แบบจำลองถังเก็บน้ำร้อน 59
3.15 จำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด 61
4.1 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันจันทร์ (เดือนตุลาคม) 63
4.2 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันอังคาร (เดือนตุลาคม) 64
4.3 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันพุธ (เดือนตุลาคม) 64
4.4 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันพฤหัสบดี (เดือนตุลาคม) 65
4.5 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันศุกร์ (เดือนตุลาคม) 65
4.6 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันเสาร์ (เดือนตุลาคม) 66
4.7 ปริมาณการใช้น้ำร้อนแต่ละชั่วโมงของวันอาทิตย์ (เดือนตุลาคม) 66
4.8 พลังงานความร้อนที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ ความร้อนเสริม ความร้อนจากปั๊ม และความร้อนที่นำไปใช้งานก่อนปรับตั้ง 68
4.9 พลังงานความร้อนที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์ ความร้อนเสริม ความร้อนจากปั๊ม และความร้อนที่นำไปใช้งานหลังปรับตั้ง 69
4.10 ปริมาณความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์ผลิตได้ (ก่อนปรับตั้งระบบ) 70
4.11 ปริมาณความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์ผลิตได้ (หลังปรับตั้งระบบ) 71
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 1 72
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 2 72
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 3 73
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงรวม 73
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 1 74
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 2 74
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงชุดที่ 3 75
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า – ออกจากแผงรับแสงรวม 75
4.20 พลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้ก่อนการปรับตั้ง 76
4.21 พลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้หลังการปรับตั้ง 78
4.22 การเปรียบเทียบค่าพลังงานที่แผงผลิตได้ก่อนและหลังการปรับตั้งโดยผู้ชำนาญการ 80
4.23 กราฟการเปรียบเทียบ ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้กับปริมาณน้ำร้อนใช้งาน 81

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.24 การจำลองระบบฯโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Trnsys version 16 82

4.25 ค่าอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อเทียบกับค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 83

4.26 ผลที่ได้จากการทดลองของวันที่ 13 พฤศจิกายน 2556 84

4.27 ผลที่ได้จากโปรแกรม Trnsys 16 ชั่วโมงที่ 72-96 85

4.28 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในถังระหว่างการทดลองจริงกับผลจากโปรแกรม Trnsys 16 86

4.29 ประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่อัตราไหลแตกต่างกัน 87

4.30 การปรับตั้งสวิทส์ผลต่างอุณหภูมิ และอัตราไหลน้ำไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 88

4.31 การปรับตั้งสวิทส์ผลต่างอุณหภูมิ และอัตราไหลน้ำไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ด้านบน) 88

ประมวลศัพท์และคำย่อ

Q	=	ปริมาณความร้อน (kJ)
I_t	=	ความเข้มของปริมาณรังสีอาทิตย์ (W/m^2)
A_c	=	พื้นที่รับรังสี (Aperture area) (m^2)
Q_{use}	=	พลังงานความร้อนใช้งาน (MJ)
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
C_P	=	ความร้อนจำเพาะของของไหล (J/kg K)
T_{raw}	=	อุณหภูมิของน้ำเติมเข้าถัง (°C)
T_{use}	=	อุณหภูมิของน้ำไปใช้งาน (°C)
$Q_{storage}$	=	พลังงานความร้อนสะสม (MJ)
M	=	ขนาดถังเก็บน้ำร้อน (L)
T_{st}	=	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนในถังเก็บในชั่วโมงสุดท้ายของการทดสอบ (ºC)
T_{sf}	=	ของน้ำเย็นที่เข้าสู่ถังเก็บในชั่วโมงสุดท้ายของการทดสอบ (ºC)
$T_{total,in,coll}$	=	อุณหภูมิของน้ำรวมก่อนเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C)
$T_{total,out,coll}$	=	อุณหภูมิของน้ำรวมออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C)
$T_{1,in}$	=	อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชุดที่ 1 (°C)
$T_{1,out}$	=	อุณหภูมิของน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชุดที่ 1 (°C)
$T_{2,in}$	=	อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชุดที่ 2 (°C)
$T_{2,out}$	=	อุณหภูมิของน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชุดที่ 2 (°C)
$T_{Tank,below}$	=	อุณหภูมิของน้ำระดับล่างถัง (°C)
$T_{Tank,center}$	=	อุณหภูมิน้ำระดับกลางถัง (°C)
$T_{Tank,top}$	=	อุณหภูมิของน้ำระดับบนถัง (°C)
$T_{Tank,ave.}$	=	อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยในถัง (°C)
η_{coll}	=	ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์
η_s	=	ประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์