

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดเพื่อใช้งานในโรงพยาบาล การปรับตั้งระบบให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้ความร้อนของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งใน จังหวัดเชียงใหม่ และผลจากการจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายคุณสมบัติของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์เมื่อมีการปรับตั้งในรูปแบบต่างๆ

3.1 การออกแบบระบบ

3.1.1 การออกแบบพื้นที่รับแสงอาทิตย์

ในการประมาณหาขนาดพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์นั้น ผู้ออกแบบจำเป็นต้องทราบตัวแปรที่สำคัญ 4 ตัวแปรด้วยกันคือ 1. ค่ารังสีอาทิตย์ของสถานที่ที่จะออกแบบ 2. ความต้องการใช้น้ำร้อนเฉลี่ยตลอดทั้งปี 3. อุณหภูมิแวดล้อม และสุดท้ายคือค่าสัดส่วนการเลือกใช้พลังงานหรือ Solar fraction โดยทั่วไปแล้วจะเลือกใช้อยู่ที่ 60-80%

ก. ความต้องการน้ำร้อนเฉลี่ยทั้งปี ความต้องการน้ำร้อนเฉลี่ยทั้งปี คำนวณได้จากข้อมูลทั่วไปของโรงพยาบาล มีจำนวนเตียงคนไข้ที่ต้องใช้น้ำร้อนทั้งหมด 30 เตียง (ถ้าสมมติว่ามีผู้เข้าพักเต็มจำนวน) ดังนั้น จำนวนคนที่ใช้น้ำร้อนทั้งหมด 55 คน ซึ่งถ้าปริมาณการใช้น้ำต่อแขกที่เข้าพักเท่ากับ 30 – 35 L/day ตารางที่ 3.1 ดังนั้น ความต้องการน้ำร้อน

$$Q = 55 \times 30 = 1650 \text{L/day}$$

ตารางที่ 3.1 ค่าปริมาณการใช้ความร้อนรายวันต่อจำนวนคนพักเต็มที่อุณหภูมิ 60°C (องค์การความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ), 2554)

	โรงพยาบาล	บ้านพัก คนชรา	หอพัก นักศึกษา	โรงแรม	อาคารที่พัก อาศัย
ปริมาณการใช้ น้ำร้อน (L/day)	30-35	30-35	20-25	20-30	20-25

ข. ความสามารถในการผลิตน้ำร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์, P (L/m²day) จำเป็นต้องทราบค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีของสถานที่ ที่ออกแบบระบบฯ ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งเลือกค่าที่ต่ำที่สุดมาใช้ในการออกแบบ เนื่องจากจะเป็นค่าที่ระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้ต่ำที่สุดเพื่อให้ น้ำร้อนที่ระบบผลิตได้เพียงพอต่อความต้องการ และกำหนดให้ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 50%

$$\eta = \frac{Q}{I_t A_c}$$

$$Q = \eta \times I_t \times A_c$$

$$= 0.5 \times 14.7 \times 2$$

$$= 14.7 \text{ MJ/day}$$

ค. ปริมาณน้ำร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์ 1 แผงสามารถผลิตได้ จากอุณหภูมิ 30 °C เป็น 60 °C

$$m = \frac{Q}{C_p (T_{60} - T_{30})}$$

$$= \frac{14700}{4.187 \times (60 - 30)}$$

$$= 117.03 \text{ L/collector/day}$$

$$= 58.51 \text{ L/m}^2 \text{ day}$$

ง. การหาขนาดพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ เลือกใช้สัดส่วนการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar fraction) เท่ากับ 0.75

$$A = \frac{Q \times F}{P}$$

เมื่อ $A =$ พื้นที่ของตัวเก็บแสงอาทิตย์, m^2

$Q =$ ความต้องการน้ำร้อนเฉลี่ยทั้งปี, ลิตร/วัน

$F =$ สัดส่วนที่เลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (ค่าที่ควรเลือกใช้ 60-80% สำหรับประเทศไทย)

$P =$ ความสามารถในการผลิตน้ำร้อนของตัวเก็บแสงอาทิตย์, ลิตร/ตารางเมตร-วัน

ดังนั้นพื้นที่รับแสงอาทิตย์จะเท่ากับ

$$18.33m^2 = \frac{1650 \times 0.65}{58.51}$$

เลือกใช้จริงเท่ากับ $18 m^2$

จะเห็นได้ว่าพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งจริง เนื่องจากกำหนดให้ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 50% ซึ่งอาจมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ในส่วนปริมาณการใช้น้ำร้อนอาจมีค่าไม่เท่ากับการใช้งานจริงไว้ เนื่องจากในการคำนวณได้พิจารณากรณี full load นอกจากนี้ยังมีระบบความร้อนเสริมช่วยหากมีกรณีความต้องการน้ำร้อนเพิ่มขึ้น

3.1.2 การออกแบบถังเก็บน้ำร้อน (ASHRAE)

การออกแบบถังเก็บน้ำร้อน สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ที่มีปริมาณการใช้ น้ำร้อนสอดคล้องกับการผลิตน้ำร้อน โดยถ้ามีความต้องการใช้น้ำร้อนทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืน จะต้องใช้ขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งการที่ระบบมีความจุของถังเก็บน้ำร้อนมากทำให้ได้ ประสิทธิภาพทางความร้อนดีขึ้น การประมาณขนาดความจุของถังเก็บน้ำร้อนที่ต้องการตามลักษณะ การใช้น้ำร้อนของโรงพยาบาล มีดังนี้

(ก) ความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางวันคงที่ 7 วัน/สัปดาห์ ใช้ขนาดถังเก็บน้ำร้อน 20.4 -28.6 L/m² ของพื้นที่แผงรับแสง นั่นคือ $17.49 \times 24.5 = 428.50$ L

(ข) ความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางคืน (ตอนไม่มีแสงแดด) คงที่ 7 วัน/สัปดาห์ ใช้ขนาดถังเก็บ น้ำร้อน 71.4 -81.6 L/m² ของพื้นที่แผงรับแสง นั่นคือ $17.49 \times 76.5 = 1337.985$ L

ดังนั้น ขนาดของถังเก็บน้ำร้อนที่เหมาะสมจึงควรมีขนาดเท่ากับ $428.50+1337.985 = 1766.485$ L

ในการปฏิบัติจริงเลือกขนาด 2,000 ลิตร เนื่องจากแผงรับแสงราคาประหยัดประสิทธิภาพปานกลางจึง เลือกขนาดถังใหญ่เพื่อช่วยสะสมความร้อนมากที่อุณหภูมิในถังไม่สูงมากนัก

3.1.3 อุปกรณ์ในระบบ

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดที่ออกแบบและสร้างขึ้นที่โรงพยาบาล มีพื้นที่ แผงรับแสงอาทิตย์ทั้งหมด 18 ตารางเมตร เป็นการต่อแบบขนานกัน 3 แผงรับแสงอาทิตย์ เป็น 1 ชุด และต่อขนานแบบสมดุลการไหล 3 ชุด เป็นระบบที่ใช้ปั๊ม หรือ (Active System) ระบบนี้ใช้ปั๊มในการ หมุนเวียนน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์แล้วนำไปเก็บไว้ในถังน้ำร้อน มีรายละเอียดของระบบฯ ดังใน ตารางที่ 3.2

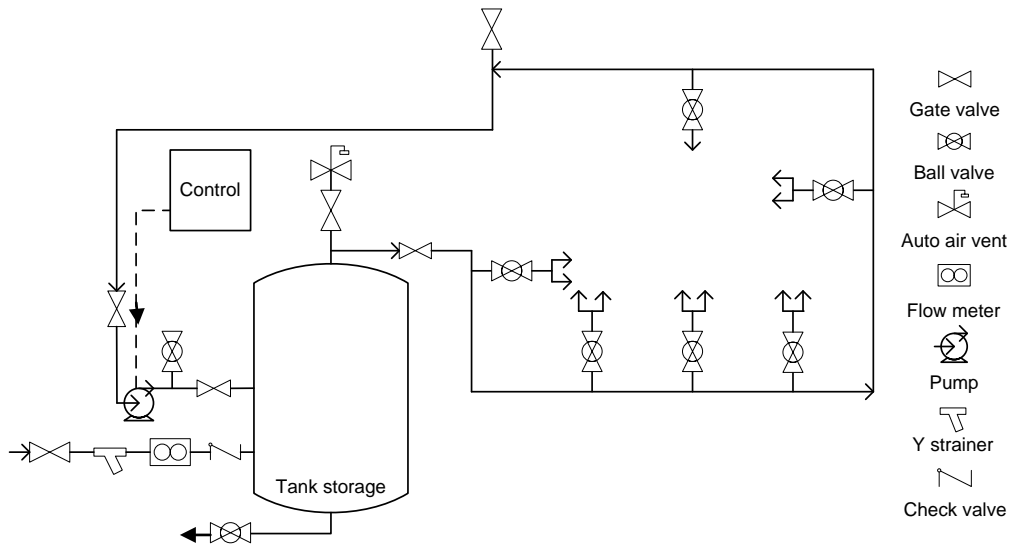
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทั่วไปของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด		
แผงรับแสงอาทิตย์	ขนาดแผง กว้าง × ยาว (เมตร)	1 × 2
	จำนวน (แผง)	9
	จำนวนท่อของไหลต่อ 1 แผง (ท่อ)	15
	กระจกใสปิด หน้า 6 มิลลิเมตร (ชั้น)	1
	กรอบแผงรับแสงอาทิตย์ (ชนิด)	อะลูมิเนียม
	ฉนวน (แบบ)	Glass Wool
	ท่อของไหล (ชนิด)	ทองแดง
	แผ่นดูดกลืนแสงอาทิตย์ (ชนิด)	สังกะสี
	การต่อแผงรับแสงอาทิตย์ (แบบ)	ขนาน
ถังเก็บน้ำร้อน	ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง × สูง (เมตร)	1.1 × 2.1
	จำนวน (ลิตร)	2,000
	วัสดุ (ชนิด)	เหล็ก
	ฉนวน (ชนิด)	Polyurethane Foam
ระบบความร้อนเสริม	เครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้าขนาด (วัตต์)	3,500
	จำนวน (เครื่อง)	2
	ชนิด	น้ำผ่าน
ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำในระบบและจ่ายน้ำ	ขนาด (HP)	1
	จำนวน (ตัว)	3
	ปั๊ม (แบบ)	ใบพัดแรงเหวี่ยง
	ฉนวน(ชนิด)	Ethylene Propylene
	ท่อ (ชนิด)	เหล็กชุบสังกะสี
ตู้ควบคุมการทำงาน	Timer Switch (ตัว)	3
	Photo Cell Switch (ตัว)	1
	Universal Electronic Controller (ตัว)	1
	Phase Protector (ตัว)	1
	Magnetic Switch (ตัว)	4
	Breaker (ตัว)	4
	Thermal Overload Relay (ตัว)	4
	Relay (ตัว)	1
	Hour Meter (ตัว)	3

3.1.4 รูปแบบการติดตั้งระบบฯ

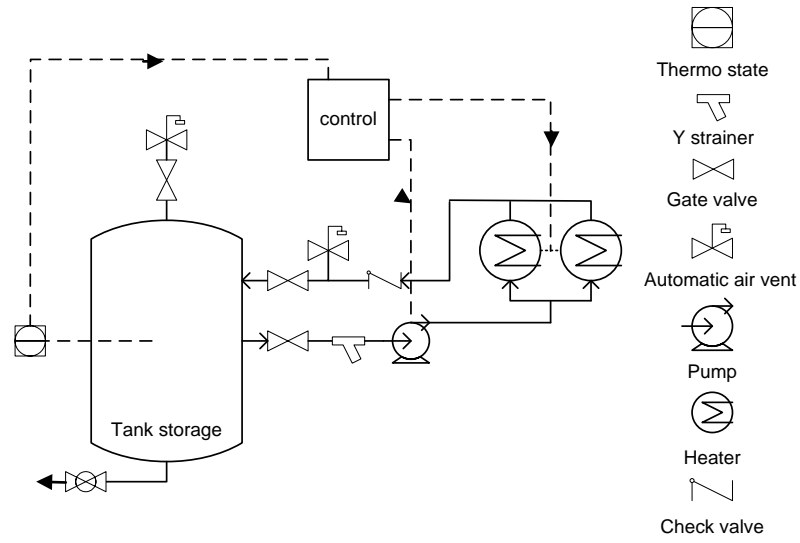
ระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่จากการศึกษา ระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดสามารถแบ่งระบบออกได้เป็น 3 ระบบและมีอุปกรณ์และ เครื่องมือต่างๆ ดังนี้

(ก) ระบบหมุนเวียนน้ำระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์กับถังสะสมความร้อน



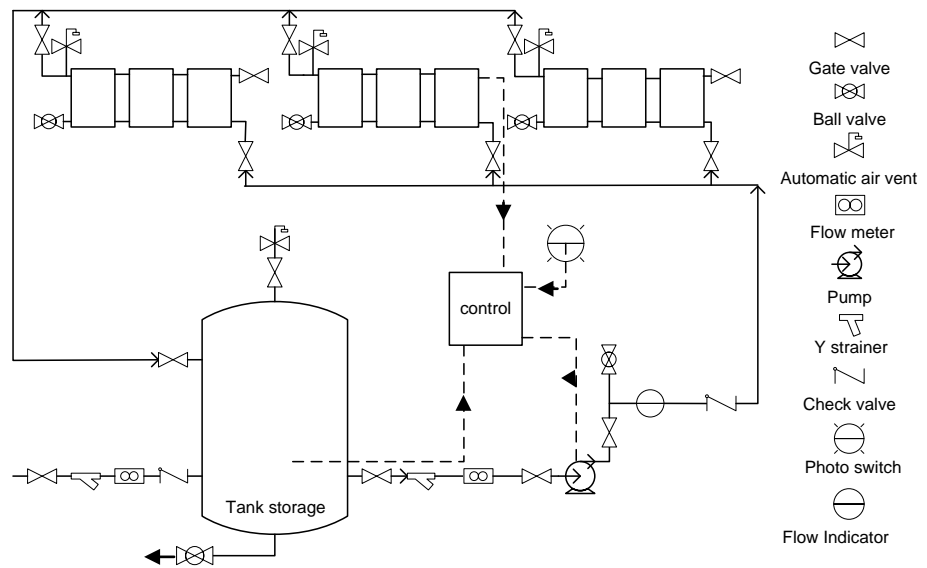
รูปที่ 3.1 ระบบหมุนเวียนน้ำจ่ายไปใช้งาน (Return)

(จ) ระบบความร้อนเสริม



รูปที่ 3.2 ระบบความร้อนเสริม (Heater)

(ค) ระบบการนำน้ำร้อนไปใช้งานและน้ำไหลกลับ



รูปที่ 3.3 ระบบหมุนเวียนน้ำไปถ่ายโอนความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Circulate)

3.2 การศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟของผู้เข้าพักในโรงพยาบาล

ในการศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟของโรงพยาบาลจะทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟร้อนทุกชั่วโมงในแต่ละวันเพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ในการปรับตั้ง Timer ไฟให้ลดย้อนกลับซึ่งมีผลกับน้ำร้อนในท่อที่สามารถสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมมีการหมุนเวียนให้ร้อนในขณะที่มีการใช้งาน และใช้ในการปรับตั้งระบบความร้อนเสริมให้ทำงานในช่วงที่มีการใช้น้ำร้อนมากกว่าน้ำร้อนที่ผลิตได้โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์

3.2.1 ระบบที่ทำการปรับตั้ง

ในการศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟร้อนสามารถนำข้อมูลมาทำการปรับตั้งระบบย่อยของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ดังนี้

(ก) ระบบ Return ควบคุมการทำงานด้วย Timer Switch 2 ตัว เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานตามเวลาที่กำหนด เพื่อให้ไฟร้อนในถังหมุนเวียนไปพร้อมใช้งานตามจุดที่มีการใช้งาน โดย Timer Switch ตัวแรกตั้งเวลาการทำงานของระบบตามการปรับตั้ง ของทุกวันสั่งให้ Magnetic Contactor ทำงาน เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่ปั๊มน้ำระบบ Return ทำงานตามเวลาที่กล่าวไว้ข้างต้น และ Timer Switch ตัวที่สองทำงานต่อจาก Timer Switch ตัวแรก แต่เป็นการนับเวลาหยุดเป็นนาฬิกาของทุกเวลาที่กำหนดตาม Timer Switch ตัวแรก โดยสั่งให้ Magnetic Contactor หยุดทำงาน เพื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปั๊มน้ำระบบ Return การปรับตั้งเวลาการทำงานของระบบ Return ต้องรู้พฤติกรรมหรือลักษณะการใช้งานน้ำร้อน เพื่อลดการสูญเสียความร้อนและลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ในการปรับตั้งต้องคำนึงถึงช่วงเวลาที่ใช้น้ำ และระยะเวลายาวท่อจ่ายน้ำใช้งาน

(ข) ระบบความร้อนสำรอง (Heater) ควบคุมการทำงานด้วย Timer Switch และ เทอร์มอสแตต (Thermostat) เป็นอุปกรณ์ตั้งช่วงเวลาการทำงาน และควบคุมการทำงานด้วยอุณหภูมิในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อรองรับการใช้งานระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในขณะที่ระบบฯ ไม่สามารถผลิตน้ำร้อนได้ทันต่อการใช้งาน โดย Timer Switch กำหนดช่วงเวลาที่ต้องการให้ระบบทำงาน ของทุกวันควบคุมให้เทอร์มอสแตตทำงาน แต่ระบบจะทำงานเมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังต้องต่ำกว่า 45°C

กรณีอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนต่ำกว่า 45°C เทอร์มอสแตต สั่งการทำงานไปที่ Magnetic Contactor เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปั๊มน้ำ Heater จ่ายน้ำจากถังน้ำร้อนเข้าเครื่อง Heater แล้วจ่ายน้ำร้อนกลับเข้าถังน้ำร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิในถังเท่ากับ 45°C เทอร์มอสแตต จะสั่งหยุดการทำงานของ Magnetic Contactor เพื่อหยุดการทำงานของปั๊มน้ำระบบ Heater แต่ถ้าไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ทันในช่วงเวลาที่กำหนด Timer Switch ก็สั่งหยุดการทำงานของระบบ Heater การปรับช่วงเวลาการทำงานและอุณหภูมิให้เหมาะสม มีความสัมพันธ์หลายองค์ประกอบ คือ ช่วงเวลาที่มีการใช้ปริมาณน้ำร้อนสูงสุด ในช่วงเวลาที่ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ทำงานหรือช่วงเวลากลางคืน และตามฤดูกาล เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบ Heater น้อยที่สุด

(ค) ระบบ Circulation ควบคุมการทำงานด้วยสวิทช์แสง (Photo Cell Switch) เป็นอุปกรณ์ควบคุมให้ทำงานเฉพาะเวลาที่มีค่าความสว่างมากกว่า 31.5 – 125 ลักซ์ เมื่อสวิทช์แสงทำงานจะจ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Universal Electronic Controller) เพื่อควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ Magnetic Contactor เมื่อผลต่างอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนในถังสะสมความร้อนด้านล่างกับน้ำในท่อรวม (Header) ของแผงรับแสงอาทิตย์ชุดที่ 2 มีผลต่างอุณหภูมิ 3°C Magnetic Contactor จะทำงานจ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่ปั๊มน้ำของระบบ Circulate เพื่อหมุนเวียนน้ำในถังน้ำร้อนไปปรับความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์แล้วกลับมาเก็บที่ถังน้ำร้อน จนกระทั่งผลต่างอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนในถังกับน้ำในท่อ Header ของแผงรับแสงอาทิตย์ชุดที่ 2 มีผลต่างอุณหภูมิ 1.5°C อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิสั่งหยุดการทำงานของ Magnetic Contactor เพื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่ปั๊มน้ำระบบ Circulate การปรับตั้งผลต่างอุณหภูมิ ที่อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ต้องมีประสบการณ์และความชำนาญในการปรับตั้ง เพราะมีหลายองค์ประกอบ เช่น การปรับอัตราการไหลของน้ำที่ไปถ่ายโอนความร้อน ความยาวท่อของไหล แผงรับแสง ความสามารถในการถ่ายโอนความร้อนระหว่างแผ่นดูดกลืนแสงกับท่อของไหล เป็นต้น เพื่อให้ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด และยืดอายุการใช้งานของปั๊มน้ำ

3.2.2 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลมีที่แสดงผลในหัวข้อ 4.1 ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลดังนี้

(ก) เก็บข้อมูลจำนวนผู้เข้าพักในโรงพยาบาลในแต่ละวันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้น้ำต่อคนในแต่ละวันว่ามีปริมาณการใช้น้ำมากน้อยขนาดไหน

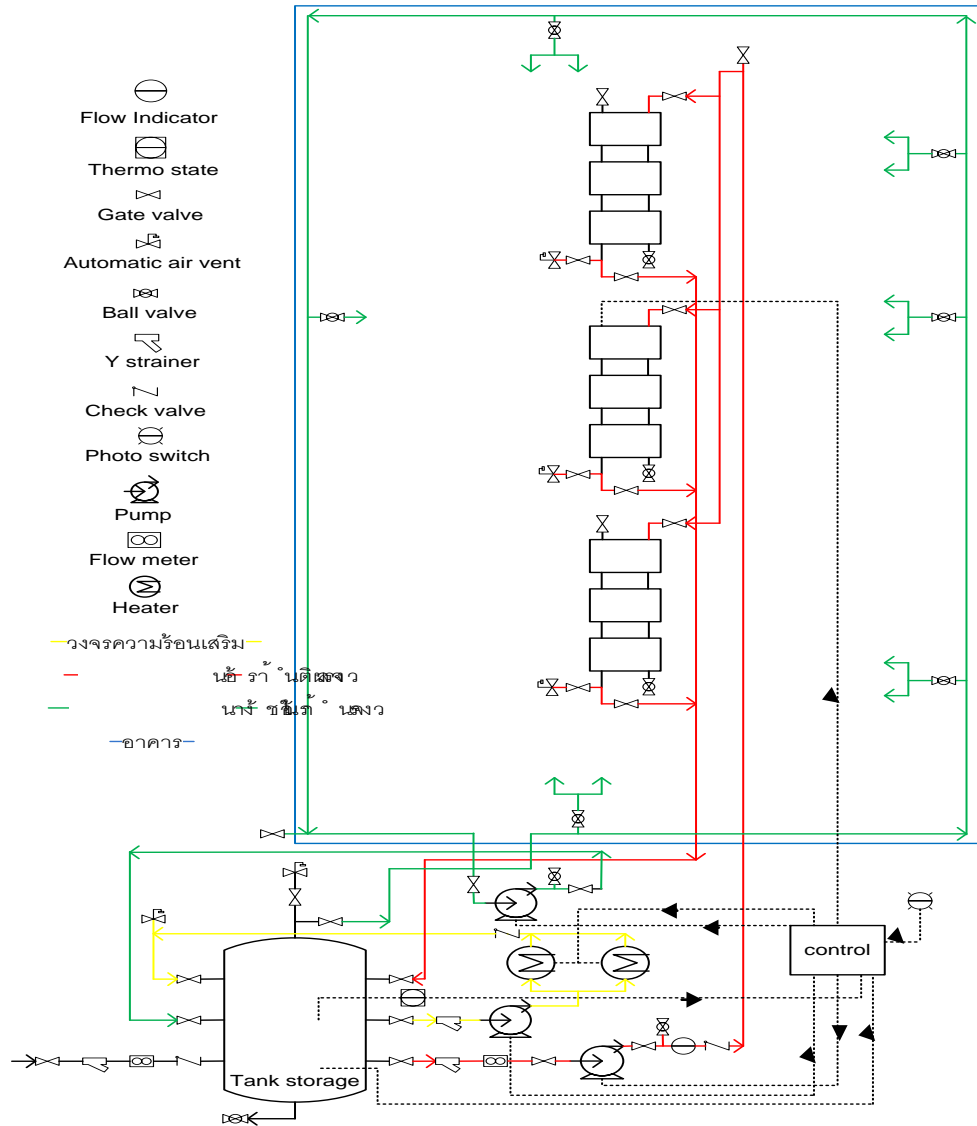
(จ) เก็บข้อมูลปริมาณน้ำดิบที่เติมเข้าสู่ระบบน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยต่อสัญญาณไฟที่เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow Meter) ยี่ห้อ SANGI รุ่น HWT 1 ทนอุณหภูมิสูงสุด ≤ 90 °C ทนแรงดันสูงสุด ≤ 1 MPa ความแม่นยำ (Accuracy) ± 3 % ต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล ในการเก็บข้อมูลจะทำการเก็บทุกๆ ชั่วโมงในแต่ละวัน

3.3 การศึกษาปริมาณความร้อนที่ผลิตได้และการตรวจวัด

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการติดตั้งระบบเก็บข้อมูลอัตโนมัติเพื่อเก็บข้อมูลการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ระยะยาว การเก็บข้อมูลมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ผลิตได้ก่อนมีการปรับตั้งระบบฯ กับหลังจากทำการปรับตั้งระบบฯ ที่เหมาะสมกับการใช้งานในโรงพยาบาล

3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดที่ใช้งานในปัจจุบัน มีพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ทั้งหมด 18 ตารางเมตร เป็นการต่อแบบขนานกัน 3 แผงเป็น 1 ชุด และต่อขนานแบบสมดุลดการไหล 3 ชุด เป็นระบบที่ใช้ปั๊ม หรือ (Active System) ระบบนี้ใช้ปั๊มในการหมุนเวียนน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์แล้วนำไปเก็บไว้ในถังน้ำร้อน เป็นระบบที่สามารถนำน้ำร้อนไปใช้งานได้โดยตรง มีรายละเอียดของระบบฯ ดังในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดทั้งระบบ

3.3.2 ตัวแปรที่ทำการตรวจวัด

ข้อมูลที่ทำการบินที่กของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ จะนำมาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติในบางค่า และค่าที่บันทึกได้จริงมาคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่สามารถผลิตได้ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด เพื่อหาประสิทธิภาพระบบ ซึ่งมีตัวแปรต่างๆดังต่อไปนี้

(ก) อุณหภูมิน้ำทางเข้ารวมและทางออกรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C) การวัดอุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกรวมเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันเมื่อน้ำไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา

ของแผงรวมทั้ง 3 ชุด หรือ 9 แผง ข้อมูลใช้ในการวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนที่แผงทั้งหมดสามารถผลิตได้

(ข) อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชุดที่ 1, 2 และ 3 ($^{\circ}\text{C}$) การวัดอุณหภูมิ น้ำทางเข้า และทางออกรวมเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันเมื่อน้ำไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของแผงแต่ละชุดทั้ง 3 ชุด ข้อมูลใช้ในการวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนที่แผงแต่ละชุดสามารถผลิตได้ และใช้ปรับสมดุลการไหลของน้ำที่ไหลผ่านแผงในแต่ละชุดให้มีค่าใกล้เคียงกันโดยสังเกตจากแนวโน้มของกราฟในช่วงเวลาทำการปรับสมดุลน้ำไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์

(ค) อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ระดับบน กลาง และล่าง ของถังน้ำร้อน ($^{\circ}\text{C}$) การวัดอุณหภูมิ น้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ระดับบน กลาง และล่าง เพื่อหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในถังเก็บน้ำร้อนซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ปริมาณความร้อนสะสมและ ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์

(ง) อุณหภูมิน้ำดิบที่เติมเข้าสู่ระบบฯ ($^{\circ}\text{C}$)

(จ) อุณหภูมิน้ำที่หมุนเวียนกลับจากการจ่ายไปใช้งาน ($^{\circ}\text{C}$) การวัดอุณหภูมิ น้ำที่หมุนเวียนกลับจากการจ่ายไปใช้งานเพื่อคำนวณเวลาในการตั้งเวลาปั๊มหมุนเวียนน้ำใช้งาน

(ฉ) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$) การวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเป็นข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์การทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ในสภาวะต่างๆ และเป็นข้อมูลสำหรับการตั้งเวลาปั๊มหมุนเวียนน้ำใช้งาน

(ช) อุณหภูมิน้ำใช้งาน ($^{\circ}\text{C}$)

(ซ) อัตราการไหลของน้ำไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (kg/s) การวัดอัตราการไหลน้ำไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในการปรับตั้งระบบฯที่อัตราไหลน้ำแตกต่างกัน

(ฌ) ปริมาณน้ำใช้งาน (l) ปริมาณน้ำใช้งานทำให้รู้พฤติกรรมการใช้น้ำของโรงพยาบาลในแต่ละวัน

(ญ) เวลาการทำงานของปั๊ม (s) การวัดเวลาการทำงานของปั๊มแต่ละตัวเพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านปั๊มซึ่งเป็นมวลน้ำที่หมุนเวียนในแต่ละช่วงเวลา

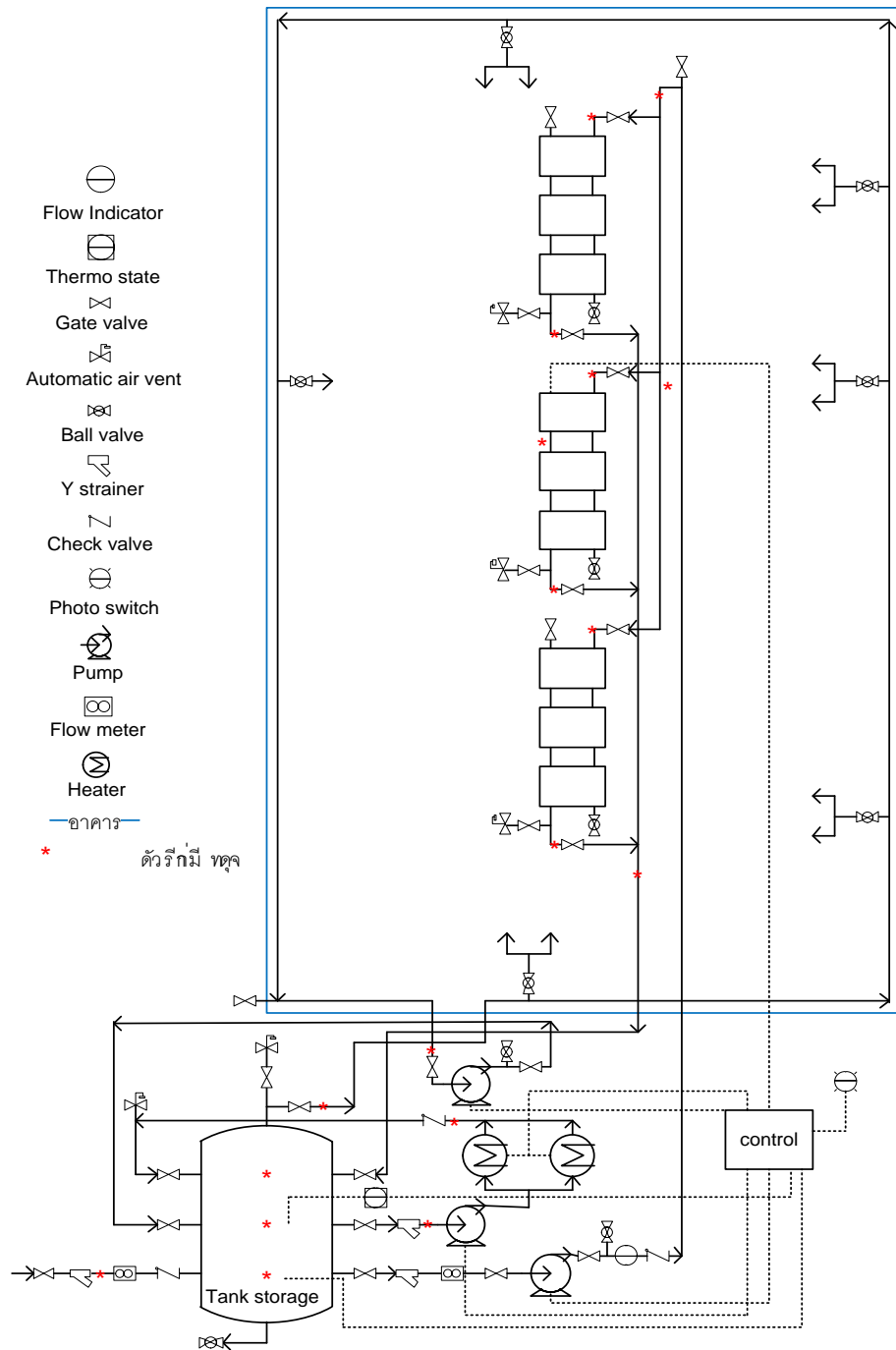
3.3.3 ตำแหน่งจุดวัดค่าพารามิเตอร์

ตำแหน่งจุดวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ราคาประหยัดมีการตรวจวัดค่าความร้อนบริเวณจุดต่างๆ ของระบบดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิของน้ำดิบก่อนเข้าถังสะสมน้ำร้อน

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ใช้งานปัจจุบัน ทำการประเมินจากค่าความร้อนต่อวันที่ระบบสามารถผลิตได้ และการนำความร้อนไปใช้งาน โดยทำการบันทึกค่าอุณหภูมิของระบบในเวลาเดียวกัน 1 รอบการทำงาน (24 ชั่วโมง) ซึ่งมีข้อมูลที่ต้องทำการบันทึกดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ

จากรูปที่ 3.6 แสดงถึงการบันทึกอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ของระบบดังนี้

- 1) บันทึกอุณหภูมิน้ำรวมทางเข้าและทางออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C)
- 2) บันทึกอุณหภูมิน้ำทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ชุดที่ 1, 2 และ 3 (°C)
- 3) บันทึกอุณหภูมิน้ำทางออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ชุดที่ 1, 2 และ 3 (°C)
- 4) บันทึกอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ระดับบน กลาง และล่าง ของถังน้ำร้อน (°C)
- 5) บันทึกอุณหภูมิน้ำรวมทางเข้าและทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C)
- 6) บันทึกอุณหภูมิน้ำประปาที่เติมเข้าถังน้ำร้อน (°C)
- 7) บันทึกอุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า (°C)
- 8) บันทึกอุณหภูมิน้ำที่หมุนเวียนกลับจากการจ่ายไปใช้งาน (°C)
- 9) บันทึกอุณหภูมิลิ่งแวดล้อม (°C)

3.3.4 เครื่องมือและการปรับตั้ง

(ก) ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ยี่ห้อ LI-COR รุ่น LI-200 ความแม่นยำ (Accuracy) $\pm 2\%$ สำหรับเก็บค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)

(จ) สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด Type K Rang Code 13 วัดช่วงอุณหภูมิ -200 ถึง 1,350 (°C) ความแม่นยำ (Accuracy) $\pm 0.5\%$ ใช้ในการวัดอุณหภูมิของน้ำภายในท่อและภายในถังสะสมความร้อน ตลอดทั้งอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

(ค) เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow Meter) ยี่ห้อ SANGI รุ่น HWT 1 ทนอุณหภูมิสูงสุด $\leq 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทนแรงดันสูงสุด $\leq 1\text{ MPa}$ ความแม่นยำ (Accuracy) $\pm 3\%$. ใช้วัดปริมาณและอัตราการไหลน้ำที่เติมเข้าถังน้ำร้อนและปริมาณน้ำในถังที่หมุนเวียนน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow Meter)

(ง) เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX2000 สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งหมด 30 ช่องสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องบันทึกข้อมูล

(จ) ประตูน้ำ (Gate Valve) ที่ใช้งานกันทั่วไป บานประตูมีลักษณะเป็นลิ้นเข้า - ออกในลักษณะตั้งฉากกับทิศทางของการไหล ใช้ติดตั้งท่อทางเข้าและออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และท่อทางเข้าและออกถึงน้ำร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ประตูน้ำ (Gate Valve)

(จ) ตู้ควบคุมการทำงาน (Controller) เป็นตู้ปรับตั้งระบบให้ทำงานได้ตามต้องการซึ่งประกอบด้วย Timer Switch 3 ตัว, Photo Cell Switch 1 ตัว, Universal Electronic Controller 1 ตัว, Phase Protector 1 ตัว, Magnetic Switch 4 ตัว, Breaker 4 ตัว, Thermal Overload Relay 4 ตัว, Relay 1 ตัว, Hour Meter 3 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ตู้ควบคุมการทำงาน

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ และปริมาณน้ำร้อนที่ใช้งาน ที่การปรับตั้งระบบฯแตกต่างกันซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการผลิตน้ำร้อนก่อนและหลังการปรับตั้ง ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ผลิตได้

3.4.1 การหาค่าพลังงานความร้อนที่แผงผลิตได้

การหาค่าพลังงานความร้อนที่แผงผลิตได้ทำโดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับแสงอาทิตย์ในรูปแบบความร้อนเทียบกับปริมาณความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์ถ่ายโอนไปให้แก่ น้ำดังนี้

(ก) เก็บข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวันและอัตราการไหลของน้ำในระบบหมุนเวียน

(ข) เก็บข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกแผงรับแสงอาทิตย์

(ค) จากข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าและออกแผงมาคำนวณหาความร้อนที่ถูกถ่ายโอนสู่น้ำจากสมการ

$$Q = \dot{m}c_p(T_o - T_i)$$

(ง) นำข้อมูลรังสีอาทิตย์กับค่าความร้อนที่แผงรับแสงถ่ายโอนสู่น้ำมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.10 - 4.11 และ 4.20 – 4.22

3.4.2 การหาค่าประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อน

การหาค่าประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์นั้นวิเคราะห์จากปริมาณความร้อนในถังเก็บน้ำร้อนรายชั่วโมงในแต่ละวันที่มีการปรับตั้งระบบที่แตกต่างกัน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(ก) เก็บข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับแสงอาทิตย์รายชั่วโมง

(ข) เก็บข้อมูลการใช้ความร้อนของผู้เข้าพักอาศัยรายชั่วโมงและหาค่าพลังงานความร้อนโดยหาจากสมการ

$$\dot{Q}_{use} = \dot{m}c_p(T_{use} - T_{raw})$$

(ค) เก็บข้อมูลพลังงานความร้อนเสริมและหาค่าพลังงานความร้อนโดยหาจากสมการ

$$\dot{Q}_{\text{Heater}} = \dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi})$$

(ง) เก็บข้อมูลอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บความร้อนซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับบน ระดับกลาง ระดับล่าง แล้วนำมาหาค่าอุณหภูมิน้ำในถังเฉลี่ยและหาค่าพลังงานความร้อนโดยหาจากสมการ

$$Q_{\text{Store}} = MC_p (T_{st} - T_{sf})$$

(จ) วิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของระบบโดยหาจากสมการ

ประสิทธิภาพของระบบ = $\frac{\text{พลังงานที่สะสมในถัง} + \text{พลังงานที่นำไปใช้งาน} - \text{พลังงานเสริม}}{\text{พลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบ}}$

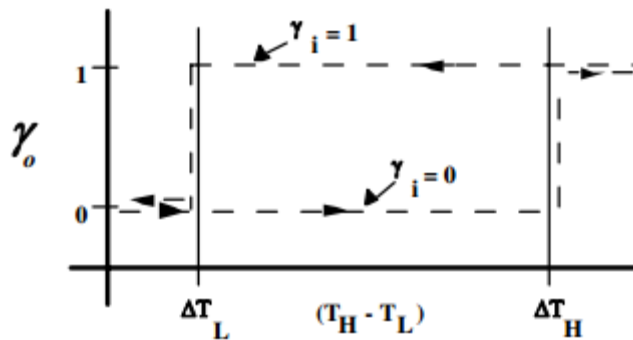
$$\eta_s = \frac{\sum_1^n \dot{m} C_p (T_{User} - T_{Raw}) + MC_p (T_{st} - T_{sf}) - Q_E}{IA_c}$$

(ฉ) นำข้อมูลรังสีอาทิตย์กับค่าความร้อนที่แผงรับแสงถ่ายโอนสู่น้ำมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.29 (บทที่ 4)

3.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด ทำโดยใช้โปรแกรม Trnsys Version 16 ซึ่งเป็น โปรแกรมสำเร็จรูปโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองระบบฯดังนี้

(ก) คอนโทรลเลอร์นี้จะสร้างฟังก์ชันการควบคุมที่ γ_0 ที่มีค่า 0 หรือ 1 ค่า γ_0 ใช้เป็นความแตกต่างระหว่างมี อุณหภูมิด้านบน (T_H) และด้านล่าง (T_L) เมื่อเทียบกับทั้งสองความแตกต่าง อุณหภูมิ ΔT_H ระหว่าง ΔT_L ค่าใหม่ของ γ_0 ขึ้นอยู่กับ ว่า $\gamma_i = 0$ หรือ 1 คอนโทรลเลอร์ที่มีใช้กันเป็นปกติใช้ γ_0 เชื่อมต่อกับ γ_i คอนโทรลเลอร์ฟังก์ชันแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 คอนโทรลเลอร์ฟังก์ชัน(TRNSYS website: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>)

สมการทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายคอนโทรลเลอร์ฟังก์ชันได้ดังนี้

คอนโทรลเลอร์เปิด

$$\text{ถ้า } \gamma_i = 1 \text{ และ } \Delta T_L \leq (T_H - T_L), \gamma_0 = 1$$

$$\text{ถ้า } \gamma_i = 1 \text{ และ } \Delta T_L > (T_H - T_L), \gamma_0 = 0$$

คอนโทรลเลอร์ปิด

ถ้า $\gamma_i = 0$ และ $\Delta T_H \leq (T_H - T_L)$, $\gamma_o = 1$

ถ้า $\gamma_i = 0$ และ $\Delta T_H > (T_H - T_L)$, $\gamma_o = 0$

เมื่อ

ΔT_H [C] ค่าคงที่สูงสุดของความต่างอุณหภูมิ

ΔT_L [C] ค่าคงที่ต่ำสุดของความต่างอุณหภูมิ

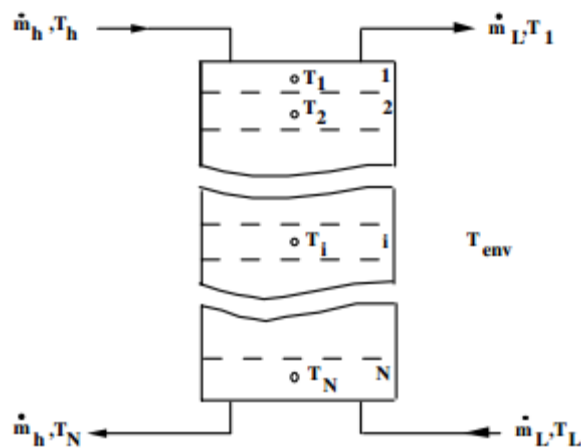
T_H [C] อุณหภูมิด้านบน

T_L [C] อุณหภูมิด้านล่าง

γ_i [0..1] Input คอนโทรลเลอร์ฟังก์ชัน

γ_o [0..1] output คอนโทรลเลอร์ฟังก์ชัน

(จ) ถังเก็บน้ำร้อน พฤติกรรมของถังเก็บน้ำร้อนของแบบจำลองจะแบ่งออกเป็นชั้นๆของ N ดังแสดง
ในรูป ถ้า N = 1 หมายถึง น้ำไม่มีการแบ่งลำดับชั้น หรือลำดับชั้นของน้ำไม่มีผลกระทบใดๆ



รูปที่ 3.14 แบบจำลองถังเก็บน้ำร้อน (TRNSYS website: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>)

สมการทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายการสูญเสียความร้อนของน้ำในถังเก็บน้ำร้อนได้ดังนี้

ค่า Loss Coefficients หาได้จาก

$$U_i = |\text{PAR } 5| + \Delta U_i$$

สมดุลพลังงานในถังเก็บน้ำร้อน หาได้จาก

$$M_i C_{pf} dT_i/dt = \alpha_i m_h C_{pf} (T_h - T_i) + \beta_i m_L C_{pf} (T_L - T_i) + UA_i (T_{env} - T_i)$$

$$+ \gamma_i (T_{i-1} - T_i) C_{pf} \quad \text{ถ้า } g_i > 0$$

$$+ \gamma_i (T_i - T_{i+1}) C_{pf} \quad \text{ถ้า } g_i < 0$$

$$+ Q_i \quad \text{สำหรับ } i = 1, N$$

การเปลี่ยนแปลงและถ่ายเทพลังงานภายในถังเก็บน้ำร้อนคำนวณได้จากสมการ

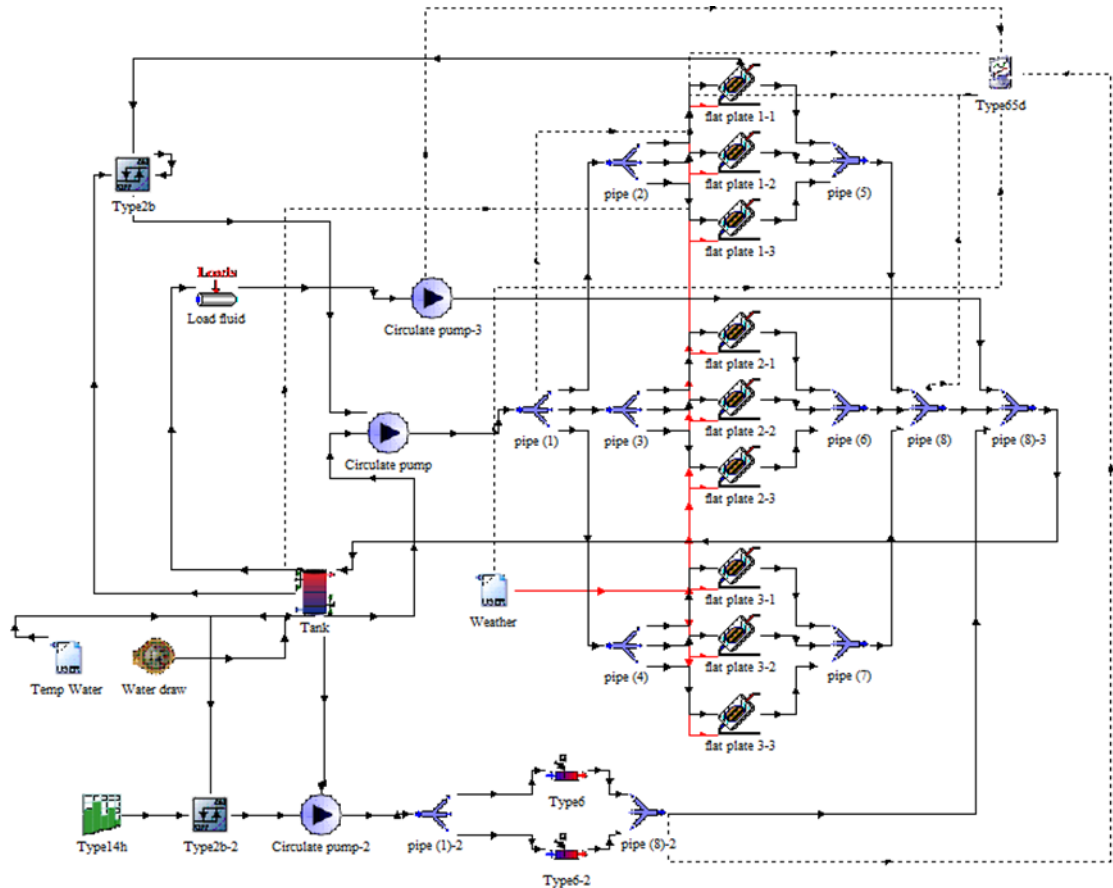
$$Q_{env} = UA_i (T_i - T_{env}) + \gamma_i (UA)_{f,i} (T_i - T_p)$$

$$Q_s = m L C_{pf} (T_i - T_L)$$

$$Q_{in} = m h C_{pf} (T_h - T_N)$$

$$\Delta E = \frac{V_{pf} C_{pf} \left[\sum_{i=1}^N T_i - \sum_{i=1}^N T_i \Big|_{t=TIME0} \right]}{N}$$

ในการจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ใช้ข้อมูลสภาพอากาศในพื้นที่โรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่มาเป็นตัวแปรเพื่อเป็นฐานข้อมูลด้านรังสีอาทิตย์กับโปรแกรม Trnsys โดยได้ทำการจำลอง ระบบหมุนเวียนน้ำไปถ่ายโอนความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Circulate) และระบบความร้อนเสริม (Heater) เพื่อเป็นแนวทางการปรับตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัดให้เหมาะสมกับการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 จำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด

จากรูปที่ 3.15 เป็นการจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ เหมือนกับระบบที่ใช้งานอยู่จริงในโรงพยาบาลดังตารางที่ 3.1 และใช้ข้อมูลสภาพอากาศค่ารังสีอาทิตย์ ในวันที่ทำการเก็บผลการทดลองช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม นำไปศึกษาการปรับตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบจะทำการปรับตั้งดังนี้

(ก) ปรับค่าอัตราไหลที่ Circulate Pump เพื่อหาค่าอัตราไหลที่เหมาะสมของระบบน้ำหมุนเวียน แลกเปลี่ยนความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 4 กรณี คือ อัตราไหลที่ $0.015 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$ (900 kg/hr), $0.03 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$ (1800 kg/hr), $0.045 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$ (2700 kg/hr) และ $0.06 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$ (3600 kg/s)

(ข) ปรับตั้งค่า Universal Electronic Controller (Type2b จากแบบจำลอง) เพื่อหาค่าที่เหมาะสม โดยการปรับตั้งสวิตช์ผลต่างอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนในถังสะสมความร้อนกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่าง

อุณหภูมิ 4 °C, 6 °C, 8 °C ป้อนน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำในถังน้ำร้อนไปปรับความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แล้วกลับมาเก็บที่ถังน้ำร้อนจะทำงานจนกระทั่งผลต่างอุณหภูมิ 1 °C, 3 °C, 5 °C จะหยุดทำงาน ซึ่งหมายถึงมีการปรับค่าตัวแปรทั้งหมด 9 ค่าแบ่งเป็น 3 ชุดข้อมูลคือ ชุดที่1 ป้อนเริ่มทำงานที่ผลต่างอุณหภูมิ 4°C แล้วหยุดทำงานที่ค่าผลต่างของอุณหภูมิ 1 °C, 3 °C, 5 °C แทนด้วยสัญลักษณ์ 4,1 4,3 4,5 ชุดที่2 ป้อนเริ่มทำงานที่ผลต่างอุณหภูมิ 6°C แล้วหยุดทำงานที่ค่าผลต่างของอุณหภูมิ 1 °C, 3 °C, 5 °C แทนด้วยสัญลักษณ์ 6,1 6,3 6 ชุดที่3 ป้อนเริ่มทำงานที่ผลต่างอุณหภูมิ 8°C แล้วหยุดทำงานที่ค่าผลต่างของอุณหภูมิ 1 °C, 3 °C, 5 °C แทนด้วยสัญลักษณ์ 8,1 8,3 8,5 โดยทำการเปรียบเทียบผลกับการทดลองจริงดังรูปที่ 4.28