



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

คู่มือการออกแบบระบบน้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์



กองพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์

สิงหาคม 2565

คำนำ

คู่มือการออกแบบระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นี้ ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนในเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ โดยมีเนื้อหาประกอบด้วย การศึกษาความเป็นไปได้ การออกแบบระบบผลิตน้ำร้อน การออกแบบระบบส่งจ่ายน้ำร้อน การออกแบบระบบควบคุมและตรวจวัด และการทบทวนการออกแบบ

เนื่องจาก ปัจจุบันภาระหน้าที่ของภาคอุตสาหกรรมจะต้อง ออกแบบ จัดตั้ง และบำรุงรักษาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นที่พอใจตามความต้องการของท้องตลาดและเป็นที่น่าเชื่อถือ ดังนั้นคู่มือการออกแบบระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกจัดทำขึ้น เพื่อเป็นแนวทางพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพของการออกแบบและติดตั้งระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และเพื่อเผยแพร่แก่บุคคลทั่วไปที่สนใจในเรื่องระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

(นายพงษ์พันธ์ คำทรัพย์)
วิศวกรเครื่องกลชำนาญการพิเศษ
สิงหาคม 2565

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
รายการตารางประกอบ	ค
รายการรูปประกอบ	ง
บทที่ 1 การศึกษาความเป็นไปได้	1
1.1 การประชุมร่วมกันของผู้ที่เกี่ยวข้อง	1
1.2 การสำรวจสถานที่	1
1.3 การเลือกระบบ	2
1.4 การหาขนาดระบบเบื้องต้น	4
1.5 การประมาณการต้นทุนระบบเบื้องต้น	6
1.6 การประเมินผลที่ได้จากการลงทุน	7
1.7 สรุปแนวทางการศึกษาความเป็นไปได้	8
บทที่ 2 การออกแบบระบบผลิตน้ำร้อน	15
2.1 การจัดทำผังไดอะแกรม	15
2.2 การออกแบบแผงรับรังสีอาทิตย์	15
2.3 การออกแบบถังเก็บน้ำร้อน	22
2.4 การออกแบบระบบท่อ	23
2.5 รายละเอียดที่ต้องการของส่วนประกอบในระบบผลิตน้ำร้อน	28
บทที่ 3 การออกแบบระบบส่งจ่ายน้ำร้อน	41
3.1 การจัดทำผังไดอะแกรม	41
3.2 การออกแบบระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน	41
3.3 การคำนวณหาขนาดของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อน	44
3.4 การหาขนาดของท่อน้ำร้อน	46
3.5 การพิจารณาในการออกแบบระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน	47
3.6 รายละเอียดที่ต้องการของส่วนประกอบในระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน	48
บทที่ 4 การออกแบบระบบควบคุมและตรวจวัด	49
4.1 ระบบควบคุมการทำงาน	49
4.2 ระบบตรวจวัดการทำงาน	52
4.3 รายละเอียดที่ต้องการของส่วนประกอบในระบบควบคุมและตรวจวัด	54
4.4 รายละเอียดที่ต้องการในการเขียนแบบสำหรับการติดตั้ง	55
บทที่ 5 การทบทวนการออกแบบ	56
5.1 การทบทวนการออกแบบเบื้องต้น	56
5.2 การตรวจสอบความถูกต้องของสมรรถนะและต้นทุนเบื้องต้น	57
5.3 การทบทวนการออกแบบและตรวจสอบขั้นสุดท้าย	58
เอกสารอ้างอิง	จ

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
Checklist 1-1 เป้าหมายของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	9
Checklist 1-2 ข้อมูลระบบผลิตน้ำร้อน	10
Checklist 1-3 ข้อมูลอาคาร	11
Checklist 1-4 ตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อน	12
Worksheet 1-1 การคำนวณประมาณการความต้องการน้ำร้อนจากการวัดปริมาณการใช้น้ำ	13
Worksheet 1-2 การคำนวณประมาณการความต้องการน้ำร้อนจากข้อมูลการใช้เชื้อเพลิง	14
2.1 ระยะห่างที่แนะนำสำหรับตัวจับยึดท่อทองแดงแนวนอน	27
3.1 ปริมาณน้ำภายในท่อ ความร้อนสูญเสีย และอัตราการเย็นลงของท่อทองแดง Type L ขนาดต่างๆ	45
3.2 อัตราการหมุนเวียนน้ำร้อนที่แนะนำสำหรับท่อแนวดิ่งขนาดต่างๆ	47
Checklist 5-1 ทบทวนผังไดอะแกรมของระบบ	59
Checklist 5-2 ทบทวนแบบแปลนระบบท่อของแผงรับรังสีอาทิตย์	60
Checklist 5-3 ทบทวนแบบแปลนการติดตั้งของแผงรับรังสีอาทิตย์	61
Checklist 5-4 ทบทวนแบบแปลนระบบท่อและผังบริเวณอุปกรณ์เครื่องกล	62
Checklist 5-5 ทบทวนแบบแปลนเครื่องมือการตรวจวัด การควบคุม และไฟฟ้า	63
Checklist 5-6 ทบทวนการวิเคราะห์สมรรถนะระบบ	64

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแอคทีฟทางตรง	3
1.2 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแอคทีฟทางอ้อม	3
1.3 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาสซีฟ	4
1.4 พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (XY)	5
2.1 แผงรับรังสีอาทิตย์ (Solar Collector)	16
2.2 ชุดแผงรับรังสีอาทิตย์แบบที่รวมอยู่ในแผง	18
2.3 ชุดแผงรับรังสีอาทิตย์แบบที่รวมอยู่นอกแผง	18
2.4 ตัวอย่างการจัดเรียงของชุดแผงรับรังสีอาทิตย์	19
2.5 ระยะห่างสิ้นสุดของแต่ละแถวของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ไม่ให้เกิดเงาบังกัน	19
2.6 ถังเก็บน้ำร้อน (Hot Water Storage Tank)	22
2.7 กราฟ Friction Loss สำหรับท่อทองแดงหรือท่อเหล็กผิวภายในเรียบ (Smooth)	25
2.8 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)	31
2.9 ตัวอย่างเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน (Circulated Pump)	34
2.10 ตัวอย่างกราฟ เฮด-การไหล (Head-Flow Curves) ของเครื่องสูบน้ำ	35
2.11 ตัวอย่างไอโซเลชันวาล์ว (Isolation Valves)	38
2.12 ตัวอย่างวาล์วระบายแรงดัน (Pressure Relief Valves)	38
2.13 ตัวอย่างเช็ควาล์ว (Check Valve)	38
2.14 ตัวอย่างวาล์วระบายอากาศ (Air Vent Valve)	39
2.15 ระบบท่อน้ำร้อนภายนอกอาคารที่หุ้มฉนวนพร้อมฝาครอบโลหะ	40
3.1 ระบบส่งจ่ายน้ำร้อนแบบจ่ายขึ้น	42
3.2 ระบบส่งจ่ายน้ำร้อนแบบจ่ายลง	42
3.3 ระบบส่งจ่ายน้ำร้อนแบบจ่ายขึ้นที่มีท่อไหลวนกลับสำหรับแต่ละท่อแนวตั้ง	43
3.4 ลักษณะการเดินระบบท่อส่งจ่ายน้ำร้อนแบบต่างๆ	47
4.1 ตำแหน่งติดตั้งหัววัดระบบควบคุมการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	50
4.2 ไดอะแกรมระบบควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน (CP1)	50
4.3 ตำแหน่งติดตั้งหัววัดระบบควบคุมการทำงานของระบบส่งจ่ายน้ำร้อน	51
4.4 ไดอะแกรมระบบควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมทิศทางการไหล (V1)	51
4.5 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ของบิเทียมเตอร์ในการวัดพลังงานความร้อนที่ได้รับ	53
4.6 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ของบิเทียมเตอร์ในการวัดพลังงานความร้อนที่ถูกส่งออกไปใช้งาน	53
4.7 ตัวอย่างชุดควบคุมแบบใช้อุณหภูมิแตกต่าง (DTCs)	54
4.8 ตัวอย่างชุดบิเทียมเตอร์	55

บทที่ 1 การศึกษาความเป็นไปได้

บทนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการหรือแนวทางในการศึกษาความเป็นไปได้ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยวิศวกรหรือผู้ออกแบบระบบฯ ควรมีการดำเนินงานตามขั้นตอน ดังนี้

1.1 การประชุมร่วมกันของผู้ที่เกี่ยวข้อง

ผู้ที่เกี่ยวข้องในโครงการ ได้แก่ เจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกร เป็นต้น ควรจัดให้มีการประชุมร่วมกันเพื่อกำหนดเป้าหมายของโครงการ โดยให้พิจารณาถึงความต้องการน้ำร้อนของโครงการหรือตามความต้องการของเจ้าของเป็นสำคัญ แต่ก็ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบและการติดตั้งระบบฯ ด้วย อย่างไรก็ตาม ขนาดแผงรับแสงอาทิตย์ และขนาดถังเก็บน้ำร้อนควรมีขนาดเพียงพอและเหมาะสมต่อความต้องการน้ำร้อนตลอดทั้งปี

ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม และเกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ขอแนะนำว่า ควรให้ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดน้อยกว่าความต้องการน้ำร้อนสูงสุด ส่วนน้ำร้อนที่เหลือควรใช้พลังงานเสริมชนิดอื่นช่วยทำน้ำร้อนให้ได้ตามความต้องการน้ำร้อนสูงสุดและช่วงที่แผงรับแสงอาทิตย์ไม่ทำงานหรือน้ำร้อนที่เก็บไว้ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ทั้งนี้ ขอแนะนำว่าสัดส่วนของการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar fraction) ที่เหมาะสมและประหยัดค่าใช้จ่ายควรจะอยู่ระหว่าง 60-80% ของความต้องการน้ำร้อนสูงสุด สำหรับบริเวณที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูง ส่วนบริเวณที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำสัดส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ควรอยู่ระหว่าง 40-60% ของความต้องการน้ำร้อนสูงสุด สำหรับข้อมูลที่ได้จากการประชุมควรมีการบันทึกรายละเอียดตาม Checklist 1-1

1.2 การสำรวจสถานที่

เมื่อกำหนดเป้าหมายของโครงการได้แล้วขั้นตอนต่อไป ควรทำการสำรวจสถานที่ของโครงการเพื่อที่จะหาข้อมูลความต้องการน้ำร้อนเบื้องต้น และข้อจำกัดทางกายภาพของสถานที่ โดยมีวิธีการหรือแนวทางการพิจารณา ดังนี้

1.2.1 ประเมินการความต้องการน้ำร้อนเบื้องต้น

สำหรับอาคารเก่าที่มีการใช้น้ำร้อนอยู่แล้ว ข้อมูลการผลิตน้ำร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงหรือข้อมูลการใช้น้ำร้อนจริงจะเป็นแหล่งข้อมูลที่ดีมากในการนำมาใช้ประมาณการความต้องการน้ำร้อนเบื้องต้น ดังนั้นหากมีข้อมูลการใช้น้ำร้อนในอดีตที่เหมาะสมสมการใน Worksheet 1-1 สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาขนาดความต้องการน้ำร้อนทั้งหมด และถ้ามีข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมวิธีหาขนาดความต้องการน้ำร้อนใน Worksheet 1-2 สามารถนำมาใช้ในการแปลงหาขนาดความต้องการน้ำร้อนได้ ส่วนอาคารใหม่ สถาปนิกหรือวิศวกรผู้ออกแบบควรจัดเตรียมข้อมูลตาม Checklist 1-2 เพื่อใช้หาขนาดความต้องการน้ำร้อน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวควรจะถูกกำหนดให้ได้ใกล้เคียงตามความเป็นจริงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

อย่างไรก็ตาม หากวิธีประมาณการดังกล่าวข้างต้น ไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากไม่มีข้อมูลเพียงพอหรือไม่สามารถจัดหาข้อมูลได้ ขอแนะนำว่าสำหรับสถานประกอบการ โรงแรม โรงพยาบาล และคอนโดมิเนียม ควรใช้ค่าความต้องการน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ประมาณ 75 – 150

ลิตร/คน/วัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับคุณภาพมาตรฐานของอาคารนั้นและผู้ใช้สอย เช่น ความต้องการน้ำร้อนของ โรงแรมชั้นหนึ่งซึ่งมีสิ่งอำนวยความสะดวกครบถ้วนย่อมมีความต้องการน้ำร้อนมากกว่าโรงแรมชั้นสอง เป็นต้น ดังนั้น ผู้ออกแบบจะต้องใช้ประสบการณ์ในการตัดสินใจต่อไป

ตัวอย่างที่ 1.1

โรงแรมแห่งหนึ่งมีขนาด 100 ห้อง ซึ่งในแต่ละปีมีแขกเข้ามาพักเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 คน/ห้อง/วัน จงคำนวณหาอัตราความต้องการน้ำร้อนสูงสุดของโรงแรมแห่งนี้ โดยให้คิดเฉพาะการใช้น้ำร้อนของ ห้องพักเท่านั้น

วิธีทำ สมมติให้แขกแต่ละคนมีความต้องการน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C โดยเฉลี่ยเท่ากับ 100 ลิตร/วัน

$$\begin{aligned} \text{จำนวนแขกที่เข้าพักสูงสุด} &= 1.5 \times 100 = 150 \text{ คน/วัน} \\ \text{ดังนั้น อัตราความต้องการน้ำร้อนสูงสุด} &= 150 \times 100 = 15,000 \text{ ลิตร/วัน} \end{aligned}$$

1.2.2 ข้อจำกัดทางกายภาพ

เนื่องจากชนิดและตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร การพักอาศัย และชนิดระบบผลิตน้ำร้อน เดิมมีผลต่อการคำนวณ การออกแบบ และการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้น สำหรับอาคารเก่าที่มีการใช้น้ำร้อนอยู่แล้ว เมื่อได้มีการสำรวจสถานที่ควรจะทำการบินการตาม Checklist 1-3 และ Checklist 1-4 เพื่อที่จะนำมาใช้ประกอบการพิจารณาในการเลือกชนิดและ ออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนอาคารใหม่ที่กำลังออกแบบสถาปนิกและวิศวกร ควรจะออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปพร้อมกับการออกแบบอาคาร เพื่อให้มีความเหมาะสมกับลักษณะของอาคารนั้นๆ

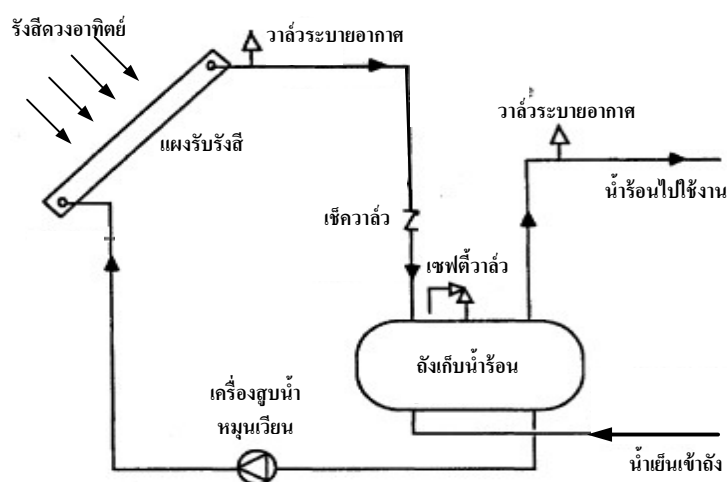
1.3 การเลือกระบบ

ในที่นี้เป็นการกล่าวถึงระบบแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ของเหลว (Liquid Collector Systems) โดยความร้อนจากแสงอาทิตย์จะถูกดูดซับด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์ แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับของเหลว ที่ถูกทำให้ไหลผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์ และไหลเข้าไปเก็บในถังเก็บน้ำร้อนเพื่อที่จะนำไปใช้งานต่อไป สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีอยู่ 2 ประเภท คือ แบบแอคทีฟ (Active Solar Heater) และแบบพาสซีฟ (Passive Solar Heater) ซึ่งปริมาณน้ำร้อนที่จะผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของ ระบบ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ลักษณะการติดตั้ง มุมเอียงและทิศทางที่ติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ เป็นต้น

1.3.1) แบบแอคทีฟ เป็นระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการใช้เครื่องสูบน้ำ วาล์ว และเครื่องควบคุม เพื่อบังคับการไหลเวียนของของเหลวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนในระบบกักเก็บ ความร้อน โดยทั่วไปแล้วจะมีราคาแพงกว่าแบบพาสซีฟแต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า นอกจากนี้ในด้าน การติดตั้งแบบแอคทีฟยังติดตั้งได้ง่ายกว่าแบบพาสซีฟ เนื่องจากถังเก็บน้ำร้อนในแบบพาสซีฟจำเป็นต้อง ติดตั้งให้อยู่สูงกว่าตัวดูดซับความร้อนและต้องอยู่ใกล้กันด้วย ทั้งนี้ แบบแอคทีฟนั้นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า จึงทำให้เสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมากกว่าแบบพาสซีฟ สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนประเภทนี้นิยมทำเป็น ระบบใหญ่และผลิตน้ำร้อนแบบศูนย์กลางซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่

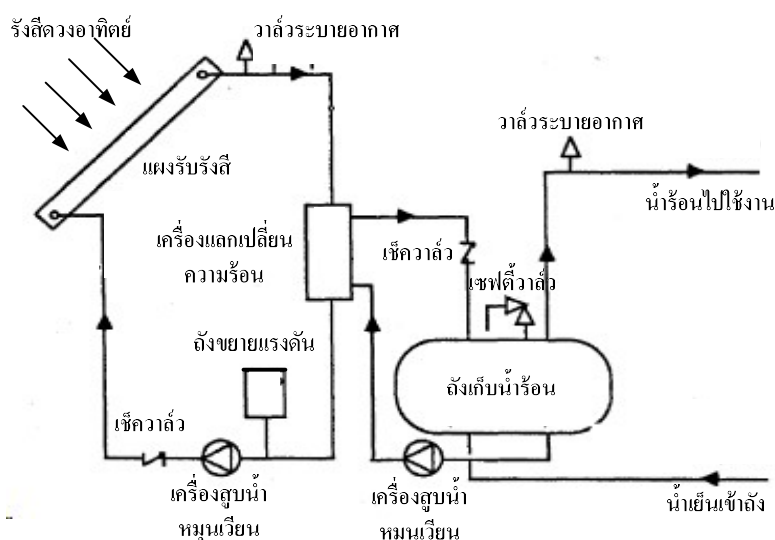
1.3.1.1) ระบบแอคทีฟทางตรง (Direct Active System) หรือบางที่เรียกว่า “ระบบเปิด (Open Loop System)” มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.1 เป็นระบบเมื่อน้ำได้รับความร้อน

จากแผงรับรังสีอาทิตย์จะถูกนำไปใช้งานเลย โดยระบบนี้จะใช้เครื่องสูบน้ำในการหมุนเวียนน้ำให้ไหลผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งลักษณะการออกแบบเช่นนี้จะทำให้มีประสิทธิภาพสูง และมีค่าใช้จ่ายในการทำน้ำร้อนต่ำ แต่ไม่เหมาะกับกรณีที่น้ำมีความกระด้างหรือมีความเป็นกรดมาก ตัวอย่างเช่น น้ำบาดาล หรือ ประปาในบางพื้นที่ ทั้งนี้ ลักษณะน้ำดังกล่าวจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดตะกอนหรือสนิมขึ้นเป็นเหตุให้เครื่องทำน้ำร้อนมีอายุการใช้งานสั้นลง



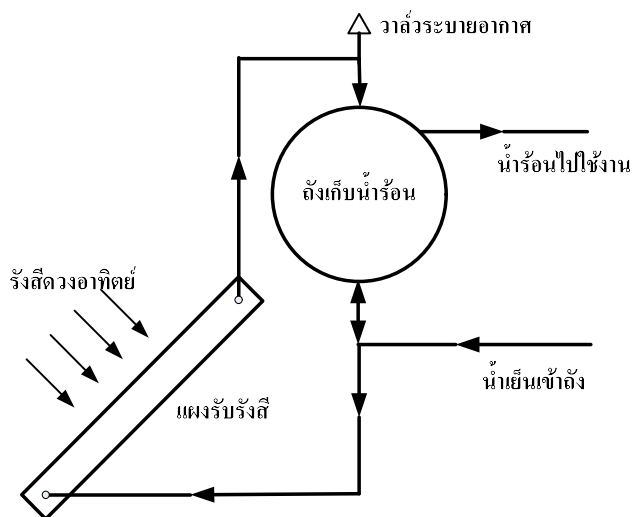
รูปที่ 1.1 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแอคทีฟทางตรง

1.3.1.2) ระบบแอคทีฟทางอ้อม (Indirect Active System) หรือบางที่เรียกว่า “ระบบปิด (Closed Loop System)” มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.2 เป็นระบบที่มีของเหลวตัวกลางเพื่อใช้ในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งของเหลวดังกล่าวอาจเป็นน้ำที่ได้รับการบำบัดให้ป้องกันการเกิดตะกอน หรือของเหลวชนิดอื่นที่มีค่าความจุความร้อนสูงและไม่เกิดตะกอนง่าย โดยของเหลวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนจะนำความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ส่งมายังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำทำให้ได้น้ำร้อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป สำหรับระบบลักษณะนี้จะมีราคาสูง ต้องทำการตรวจสอบทุกปี และทำการเปลี่ยนของเหลวตัวกลางทุกๆ 3-10 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของของเหลวและอุณหภูมิของระบบ



รูปที่ 1.2 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแอคทีฟทางอ้อม

1.3.2) แบบพาสซีฟ เป็นระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ใช้เครื่องสูบน้ำในการทำใหของเหลวเคลื่อนที่แต่จะใช้การเคลื่อนที่ตามธรรมชาติ (Thermosiphon) ของของเหลวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งมีข้อดีคือไม่มีส่วนอุปกรณ์เคลื่อนไหวที่อาจเกิดเสียชำรุดได้ ทำให้มีอายุการใช้งานนานและการบำรุงรักษาง่ายกว่าแบบแอ็คทีฟ นอกจากนี้แบบพาสซีฟยังมีราคาถูกกว่าแบบแอ็คทีฟ และไม่เสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน แต่มีข้อเสียตรงที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบแอ็คทีฟ สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนประเภทนี้ถึงเก็บน้ำร้อนจำเป็นต้องติดตั้งให้อยู่สูงกว่าแผงรับรังสีอาทิตย์ และต้องอยู่ใกล้กันจึงนิยมทำเป็นชุดเล็กสำเร็จรูปและใช้กันตามบ้านพักอาศัย ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาสซีฟ

1.4 การหาขนาดระบบเบื้องต้น

1.4.1) การหาขนาดพื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์

ในการหาขนาดพื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์จะต้องทราบปริมาณความต้องการน้ำร้อนเฉลี่ยทั้งปี สัดส่วนที่เลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ความสามารถในการผลิตน้ำร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์ และพลังงานที่ได้รับตลอดทั้งปี ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$A = \frac{F(\dot{m} c_p \Delta T)}{\eta_c G_t} \quad (1.1)$$

เมื่อ A = พื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์ (ตร.ม.)

F = สัดส่วนที่เลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์

$\dot{m}$ = ความต้องการน้ำร้อนเฉลี่ย (ลิตร/วัน)

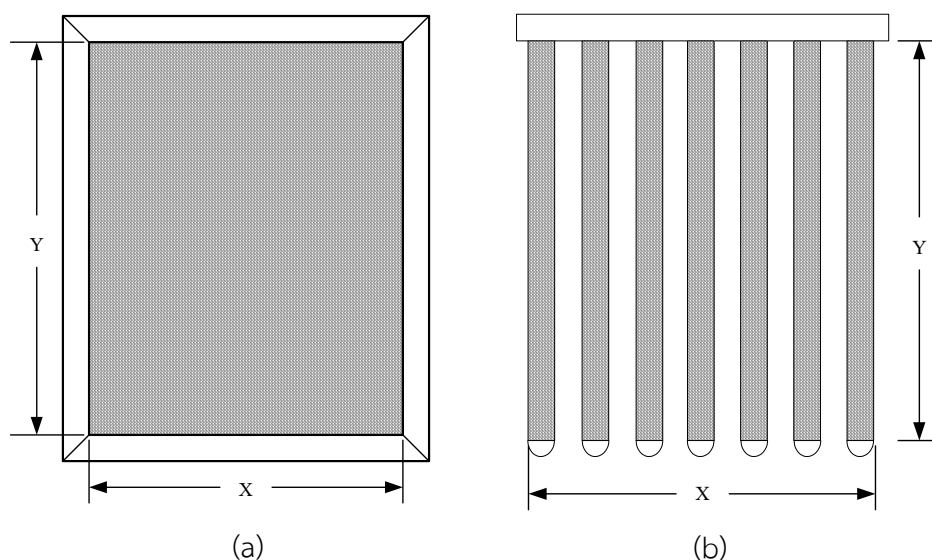
c_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)

ΔT = อุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำร้อนที่ต้องการและน้ำเย็นเริ่มต้น (°C)

G_t = ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย (kJ/ตร.ม.-วัน)

η_c = ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ (%)

สำหรับประเทศไทยที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์ค่อนข้างสูง โดยจากข้อมูลการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียมปี พ.ศ. 2560 ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศประมาณ 17.6×10^3 kJ/ตร.ม.-วัน ควรเลือกใช้ค่าสัดส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 60-80% โดยความสามารถในการผลิตน้ำร้อนจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ และช่วงอุณหภูมิในการทำน้ำร้อนซึ่งต้องทราบอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการ ส่วนการพิจารณาพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ ในกรณีแผงรับรังสีอาทิตย์เป็นแบบแผ่นเรียบ (Flat-Plated Solar Collectors) ให้คิดพื้นที่ช่องรับแสง (Aperture Area) และกรณีแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Vacuum Tube Solar Collectors) ให้คิดพื้นที่รวมสุทธิ (Gross Area) ดังแสดงในรูปที่ 1.4 (a) และ (b) ตามลำดับ ทั้งนี้ เพื่อความถูกต้องควรตรวจสอบความสามารถในการผลิตน้ำร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์จากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย



รูปที่ 1.4 พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (XY)

1.4.2) การหาขนาดถังเก็บน้ำร้อน

ในการหาขนาดถังเก็บน้ำร้อนจะทำการหาขนาดปริมาตรด้วยการประมาณการจากพื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์คือ 41 L/m^2 สำหรับระบบที่ติดตั้งถังเก็บน้ำร้อนอยู่ในห้องเครื่อง ขนาดพื้นที่ของห้องเครื่องจะต้องมีขนาดใหญ่อย่างน้อยเป็น 2 เท่าของพื้นที่ของถังเก็บน้ำร้อนที่ต้องการ โดยต้องให้มีพื้นที่เพียงพอที่จะสามารถติดตั้งและบำรุงรักษา เครื่องสูบน้ำ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และอุปกรณ์ส่วนประกอบอื่นๆ

1.4.3) การหาขนาดเครื่องทำน้ำร้อนเสริม

ในการหาขนาดเครื่องทำน้ำร้อนเสริมจะทำการหาขนาดด้วยการนำปริมาณความต้องการน้ำร้อนที่เหลือจากการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้ระบบสามารถผลิตน้ำร้อนให้ได้ตามความต้องการน้ำร้อนสูงสุด ในการหาขนาดเครื่องทำน้ำร้อนเสริมจะใช้ตัวประกอบความต้องการน้ำร้อนสูงสุดต่อชั่วโมง (Maximum Hourly Demand Factor) เท่ากับ 0.15 และให้เผื่อขนาดเครื่องทำน้ำร้อนเสริมจากที่คำนวณได้อีกอย่างน้อย 15%

ตัวอย่างที่ 1.2

จากตัวอย่างที่ 1.1 หากโรงรณมนนี้ต้องการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จงคำนวณหา ขนาดพื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพ 65% และขนาดถังเก็บน้ำร้อน โดยให้คิดสัดส่วนการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ที่ 80% ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 18.2×10^3 kJ/ตร.ม.-วัน อุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการ 60 °C และอุณหภูมิน้ำประปา 30 °C

วิธีทำ - หาขนาดพื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อน

$$\text{จากสมการ (1.1)} \quad A_c = \frac{F(\dot{m} c_p \Delta T)}{\eta_c G_t}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } F &= 80\% \\ \dot{m} &= 15,000 \text{ ลิตร/วัน} \\ c_p &= 4.186 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \\ G_t &= 18.2 \times 10^3 \text{ kJ/ตร.ม.-วัน} \\ \eta_c &= 65\% \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ว่าขนาดพื้นที่ของแผงรับรังสี

$$A_c = \frac{0.8 \times 15,000 \times 4.186 \times (60 - 30)}{0.65 \times 18.2 \times 10^3} = 127.4 \text{ ตร.ม.}$$

$$\text{และขนาดถังเก็บน้ำร้อน} = 127.4 \times 41 = 5,223.4 \text{ ลิตร}$$

- หาขนาดเครื่องทำน้ำร้อนเสริม

$$\text{ปริมาณน้ำร้อนที่เหลือ} = (1 - 0.8) \times 15,000 = 3,000 \text{ ลิตร/วัน}$$

$$\text{ตัวประกอบความต้องการน้ำร้อนสูงสุดต่อชั่วโมง} = 0.15$$

จะได้ว่าอัตราความต้องการน้ำร้อนสูงสุดของแขก

$$= 0.15 \times 3,000 = 450 \text{ ลิตร/ชั่วโมง}$$

ดังนั้นจะได้ว่าขนาดเครื่องทำน้ำร้อนเสริม (เผื่อขนาดอีก 15%)

$$q_{aux} = \frac{1.15 \times 450 \times 4.186 \times (60 - 30)}{3,600} = 18.05 \text{ kW}$$

ฉะนั้น เลือกใช้ขนาดพื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์ 128 ตร.ม. ขนาดถังเก็บน้ำร้อน 5,500 ลิตร และขนาดเครื่องทำน้ำร้อนเสริม 18 kW

.....

1.5 การประมาณการต้นทุนระบบเบื้องต้น

ต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดระบบ ประเภทระบบ คุณภาพอุปกรณ์ที่ใช้ เป็นต้น อย่างไรก็ตามสำหรับระบบที่มีขนาดพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์มากกว่า 40 ตร.ม. ขอแนะนำให้ใช้ต้นทุนการติดตั้งระบบโดยเฉลี่ยเบื้องต้น คือ กรณิแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบประมาณ 17,000 บาท/ตร.ม. และกรณีแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศประมาณ 14,000 บาท/ตร.ม. ทั้งนี้ เพื่อความถูกต้องควรทำการตรวจสอบราคาจากตัวแทนหรือผู้จำหน่ายแผงรับรังสีอาทิตย์ แต่ต้นทุนเบื้องต้นที่ได้ไม่ควรน้อยกว่าหรือมากกว่า 30% ของต้นทุนที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

1.6 การประเมินผลที่ได้จากการลงทุน

ในการประเมินผลที่ได้จากการลงทุนเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบว่าระบบที่ลงทุนนี้มีความเหมาะสมหรือไม่ โดยพิจารณาจากผลตอบแทนการลงทุน และผลการดำเนินโครงการนี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าไร ซึ่งเกณฑ์ทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนการลงทุน

1.6.1 ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับเงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินผลตอบแทนการลงทุนด้วยวิธีนี้คือ ทำให้ทราบว่า จะรับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ซึ่งถ้ามีการคืนทุนได้เร็วก็จะมีผลดีต่อผู้ลงทุนเพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตจะน้อยลง และสามารถนำเงินที่คืนทุนไปลงทุนในกิจการอื่นได้ สำหรับวิธีหาระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์แต่มีข้อเสียคือ ไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาคืนทุนแล้ว และไม่ได้พิจารณาการปรับมูลค่าเงินตามกาลเวลา โดยวิธีคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายสามารถหาได้ดังนี้

1.6.1.1) กรณีที่ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกปี

$$\text{Payback period} = \frac{TIC}{NCF} \quad (\text{ปี}) \quad (1.2)$$

เมื่อ TIC คือ เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)
NCF คือ ผลตอบแทนสุทธิต่อปี (บาท/ปี)

1.6.1.2) กรณีที่ผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับต่อปีไม่เท่ากัน ทำได้โดยรวมผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับแต่ละปีจนกระทั่งถึงปีที่ผลสะสมของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน จำนวนปีนี้คือ ระยะเวลาคืนทุน

1.6.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายรับกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ ซึ่งหาได้จากการนำค่ากระแสเงินสดสุทธิของแต่ละปีตลอดอายุโครงการมาปรับให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยใช้ค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้เป็นอัตราส่วนลดในการปรับมูลค่าเงิน เกณฑ์พิจารณาที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่ คือ ถ้า NPV มีค่าเป็นบวกมีความน่าสนใจที่จะลงทุน แต่ถ้า NPV มีค่าเป็นลบมีความไม่น่าสนใจที่จะลงทุน โดยวิธีคำนวณ NPV สามารถหาได้ดังนี้

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC \quad (\text{บาท}) \quad (1.3)$$

เมื่อ TIC คือ เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)
NCF_n คือ กระแสเงินสดสุทธิในปีที่ n (บาท/ปี)
i คือ อัตราส่วนลด (Discount rate)
N คือ อายุการใช้งาน (ปี)

1.6.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน หมายถึง อัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายจากการลงทุน วิธีการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายในนี้เป็นการหาโดยวิธีลองผิดลองถูก โดยหาอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่ได้รับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่จ่าย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ หาอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (NPV) เท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ และค่าอัตราส่วนลดที่หาได้นี้ก็คือ ค่า IRR โดยมีเกณฑ์พิจารณาในการตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่ คือ IRR มีค่ามากกว่าอัตราขั้นต่ำของผลตอบแทนที่ยอมรับได้ก็คุ้มค่าที่จะลงทุน อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า IRR จะเป็นเกณฑ์พิจารณาตัดสินใจที่ดี และเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป แต่ก็มีจุดอ่อน คือ อาจจะมีค่าของอัตราส่วนลดมากกว่าหนึ่งค่า ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งอาจเกิดขึ้นกับโครงการที่ผลตอบแทนสุทธิเปลี่ยนจากบวกเป็นลบ จากสมการ (1.3) ถ้าให้ NPV เท่ากับ 0 จะได้ว่า

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{NCF_n}{(1+i^*)^n} - TIC = 0 \quad (1.4)$$

เมื่อ	i^*	คือ อัตราผลตอบแทนภายใน (%)
	TIC	คือ เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)
	NCF_n	คือ กระแสเงินสดสุทธิในปีที่ n (บาท/ปี)
	N	คือ อายุการใช้งาน (ปี)

1.7 สรุปแนวทางการศึกษาความเป็นไปได้

สรุปแนวทางการศึกษาความเป็นไปได้ คือ การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบและการวิเคราะห์ประเมินเบื้องต้น เพื่อใช้พิจารณาตัดสินใจในการออกแบบระบบ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ยังเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับขั้นตอนต่อไปในกระบวนการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วย

- 1.7.1 เป้าหมายของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Checklist 1-1)
- 1.7.2 ข้อมูลระบบผลิตน้ำร้อน (Checklist 1-2)
- 1.7.3 ข้อมูลอาคาร (Checklist 1-3)
- 1.7.4 ตำแหน่งของแผงรับรังสีและถังกักเก็บ (Checklist 1-4)
- 1.7.5 การพิจารณาเลือกกระบอก
- 1.7.6 การหาขนาดระบบเบื้องต้น
- 1.7.7 การประมาณการต้นทุนระบบเบื้องต้น
- 1.7.8 การประเมินผลที่ได้จากการลงทุน

Checklist 1-1

เป้าหมายของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1. ชื่อเจ้าของอาคาร
 ที่อยู่

2. ความต้องการใช้ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อ
 - △ อาบน้ำ △ ซักล้าง △ ประกอบอาหาร
 - △ Preheat △ อื่นๆ
3. เหตุผลที่สนใจระบบ
 - △ เพื่อส่งเสริมพลังงานหมุนเวียน/การอนุรักษ์พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล
 - △ เพื่อประหยัดเงิน
 - △ อยากเป็นเจ้าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์
4. ผลประโยชน์ด้านต้นทุนทั้งหมดที่จะได้

เงินลงทุนเริ่มต้นสูงสุด		บาท
จำนวนปีที่คืนทุนสูงสุด		ปี
ประหยัดต้นทุนเชื้อเพลิงต่อปีอย่างน้อย		บาท/ปี

Checklist 1-2

ข้อมูลระบบผลิตน้ำร้อน

1. ความต้องการน้ำร้อนของอาคาร

1.1) ความต้องการน้ำร้อนต่ำสุด L/day

ความต้องการน้ำร้อนสูงสุด L/day

กำหนดอย่างไร

1.2) ลักษณะการใช้งานในแต่ละวัน

1.3) อุณหภูมิ °C

1.4) ความต้องการน้ำร้อนในแต่ละเดือน (Liter)

ม.ค. ก.พ. มี.ค.

เม.ย. พ.ค. มิ.ย.

ก.ค. ส.ค. ก.ย.

ต.ค. พ.ย. ธ.ค.

1.5. รวมทั้งหมดต่อปี Liter

2. ระบบการทำความร้อนหลัก

2.1) แหล่งพลังงาน : Δ แก๊ส Δ ไฟฟ้า Δ ดีเซล Δ เตา Δ ใช้น้ำ

Δ อื่นๆ

2.2) ขนาดเครื่องทำน้ำร้อน/ L

ถังเก็บน้ำร้อน

2.3) หมุนเวียนน้ำร้อน Δ ใช่ Δ ไม่ใช่

2.4) อุณหภูมิน้ำเย็น สูงสุด °C

ต่ำสุด °C

Checklist 1-3

ข้อมูลอาคาร

วันที่

อาคาร

1. อาคารใช้งานเบื้องต้นสำหรับ
2. จำนวนชั้นทั้งหมด ชั้น และมีพื้นที่ทั้งหมด m^2
3. พลังงานที่ใช้ประโยชน์
 แก๊สธรรมชาติ แก๊สหุงต้ม น้ำมันเตา
 ไฟฟ้า Volt Phase kW
4. คุณภาพน้ำ : pH..... ปริมาณสารแขวงลอย ppm

Worksheet 1-1

การคำนวณประมาณการความต้องการน้ำร้อนจากการวัดปริมาณการใช้

$$Q = W \times (4.186 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times (T_H - T_C)$$

เมื่อ $Q =$ ความร้อนที่ต้องการ (kJ/yr)

$W =$ ปริมาณการใช้ร้อน (L/yr)

$T_H =$ อุณหภูมิร้อน $^\circ\text{C}$

$T_C =$ อุณหภูมิเย็น $^\circ\text{C}$

การคำนวณหาอัตราการไหลต่อปี

$$W = \text{จำนวนคน} \times \text{ลิตร/วัน/คน} \times \text{วัน/ปี} \times 1 \text{ kg/L}$$

หรือ $W = \text{ลิตร/วัน} \times \text{วัน/ปี} \times 1 \text{ kg/L}$

Worksheet 1-2

การคำนวณประมาณการความต้องการน้ำร้อนจากข้อมูลการใช้เชื้อเพลิง

$$Q = M \times F \times E$$

เมื่อ	Q	=	ความร้อนที่ต้องการ	(kJ/yr)
	M	=	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกใช้	(Unit/yr)
	E	=	ประสิทธิภาพของระบบ (คิดค่าความสูญเสียเข้าไปแล้ว)	
	F	=	แฟกเตอร์การแปลงเปลี่ยนเป็นพลังงาน	

โดยกำหนดให้

แก๊ส	E	=	0.50 (ค่าเฉลี่ย) หรือ 0.80 (สูง)
	F	=	38.4 MJ/m ³ หรือ ค่าจริง ณ สถานที่นั้น
น้ำมันเตา No. 2	E	=	0.50 (ค่าเฉลี่ย) หรือ 0.80 (สูง)
	F	=	38.9 MJ/L
น้ำมันเตา No. 6	E	=	0.50 (ค่าเฉลี่ย) หรือ 0.80 (สูง)
	F	=	42.8 MJ/L
แก๊สหุงต้ม	E	=	0.50 (ค่าเฉลี่ย) หรือ 0.80 (สูง)
	F	=	26.6 MJ/L
ไฟฟ้า	E	=	0.90 - 1.00 (ฮีตเตอร์แบบจุ่ม)
	F	=	3.6 MJ/kWh

บทที่ 2 การออกแบบระบบผลิตน้ำร้อน

บทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการออกแบบรายละเอียดของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ผ่านการศึกษาถึงความเป็นไปได้แล้ว โดยวิศวกรหรือผู้ออกแบบระบบฯ จะต้องดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 การจัดทำผังไดอะแกรม

ในการออกแบบรายละเอียดระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จะเริ่มด้วยการจัดทำผังไดอะแกรมระบบทั้งหมด หรือภาพสเก็ชตำแหน่งเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ และแนวระบบท่อ ซึ่งหลังจากได้ผังไดอะแกรมระบบแล้ว จะทำให้ทราบถึงลักษณะของระบบและตำแหน่งของอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ทั้งนี้ การออกแบบรายละเอียดแผงรับรังสีอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อน ระบบท่อ และระบบไฟฟ้า (ระบบตรวจวัดและควบคุม) สามารถเริ่มดำเนินการควบคู่กันไปได้ โดยมีรายละเอียดในการพิจารณา ดังนี้

2.1.1) ผังไดอะแกรมควรเป็นลักษณะโครงร่างระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยรวม ซึ่งมีการผนวกเข้ากับระบบที่นำน้ำร้อนไปใช้งาน และระบบพลังงานเสริมที่ช่วยในการผลิตน้ำร้อน

2.1.2) มีรายละเอียดส่วนประกอบหลักของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และความสัมพันธ์ของตำแหน่งติดตั้งของส่วนประกอบหลักต่างๆ ได้แก่ แผงรับรังสีอาทิตย์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ถังเก็บน้ำร้อน และเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน เป็นต้น

2.1.3) มีรายละเอียดของการเดินระบบท่อ และตำแหน่งอุปกรณ์ประกอบระบบท่อต่างๆ เช่น วาล์ว วาล์วระบายอากาศ และวาล์วลดความดัน เป็นต้น

2.1.4) มีรายละเอียดของตำแหน่งของหัววัด และเครื่องมือตรวจวัดต่างๆ

เมื่อมีการจัดทำไดอะแกรมของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว ข้อมูลเหล่านี้จะกลายเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบรายละเอียดทางกายภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยไดอะแกรมที่ได้ต้องเป็นไดอะแกรมปรับปรุงล่าสุดของขั้นตอนนี้เพื่อช่วยในการพิจารณาตัดสินใจการออกแบบ ซึ่งข้อมูลการออกแบบที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการเขียนแบบรายละเอียดต่อไป ดังนั้น การจัดทำไดอะแกรมจึงเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบที่จะถูกนำไปใช้สำหรับการติดตั้ง การเดินระบบ และการบำรุงรักษาต่อไป

2.2 การออกแบบแผงรับรังสีอาทิตย์

สำหรับการออกแบบแผงรับรังสีอาทิตย์เป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุด เนื่องจากปกติจะเป็นส่วนที่ใช้ต้นทุนสูงที่สุดของระบบฯ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการออกแบบก็เพื่อที่จะให้ได้สมรรถนะทางความร้อนและมีความน่าเชื่อถือโดยที่ใช้ต้นทุนต่ำสุด ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ที่ควรพิจารณาประกอบด้วย

2.2.1) การเลือกชนิดของแผงรับรังสีอาทิตย์

โดยทั่วไปแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ของเหลวมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดแผ่นเรียบ (Flat plate type) และชนิดท่อสุญญากาศ (Vacuum tube type) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 สำหรับแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบสามารถใช้กับระบบผลิตน้ำร้อนที่ต้องการอุณหภูมิสูงประมาณ 70 °C และมีข้อดีดังนี้

- ต้นทุนต่ำ: สามารถทำการประมาณจากผู้ผลิตหลายๆ รายได้

- มีลักษณะและขนาดต่างๆ ให้เลือกใช้
- ต่อเชื่อมเข้ากับทุกระบบได้
- ระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่องถึงแม้จะเกิดความเสียหาย
- มีสถาปนิก วิศวกร และช่างเทคนิคที่มีประสบการณ์เกี่ยวระบบพลังงาน

แสงอาทิตย์และการติดตั้งอย่างกว้างขวาง

ส่วนแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศจะถูกเลือกใช้สำหรับสถานที่ที่มีอุณหภูมิของไหลในแผงรับรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิบรรยากาศแตกต่างกันมาก หรือในที่ที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระดับต่ำ ซึ่งข้อดีของแผงรับรังสีชนิดสุญญากาศมีดังนี้

- มีประสิทธิภาพสูงในการใช้งานทำให้สามารถออกแบบอุณหภูมิใช้งานสูงกว่า 70°C ได้ หรือเหมาะกับพื้นที่ที่มีอุณหภูมิบรรยากาศต่ำ หรือมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในระดับต่ำ
- อัตราการได้รับพลังงานต่อปีมากกว่าแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ
- ความแตกต่างของขนาดแผงรับรังสีอาทิตย์ และความแตกต่างของตัวสะท้อนหรือหลอดท่อ ทำให้ตำแหน่งหรือทิศทางติดตั้งเหมาะสมแตกต่างกันไป

- สำหรับชนิดท่อสุญญากาศส่วนใหญ่ ไม่มีความจำเป็นที่จะหยุดระบบทันทีถ้าหลอดท่อเกิดการแตกเสียหาย แต่หากเป็นแบบหลอดท่อที่ใช้ของเหลวไหลภายในหลอดแก้วชั้นในการหยุดระบบโดยทันทีอาจมีความจำเป็นเมื่อทั้งหลอดแก้วชั้นในและชั้นนอกแตกเสียหาย

- ชนิดหลอดท่อสุญญากาศส่วนใหญ่ สามารถทำการเปลี่ยนหลอดท่อใหม่ได้โดยไม่ต้องทำการระบายของเหลวออก ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียหรือเกิดการสูญเสียของของไหลน้อยที่สุด

ส่วนข้อเสียข้อหนึ่งของแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศคือ ต้องมีการควบคุมป้องกันไม่ให้เกิดการทำงานหลังจากมีการหยุดเดินระบบในขณะที่แผงมีความร้อนสูงอยู่ ทั้งนี้ ต้องรอจนกระทั่งมีการเริ่มเดินระบบใหม่ในตอนเช้าหรือในขณะที่แผงไม่มีความร้อนสูง เพื่อป้องกันการสูบน้ำเย็นจากถังเก็บน้ำร้อนไหลผ่านหลอดท่อที่มีความร้อนสูงเกิน ซึ่งจะเป็นสาเหตุเกิดความเสียหายทางความร้อน



ชนิดแผ่นเรียบ



ชนิดท่อสุญญากาศ

รูปที่ 2.1 แผงรับรังสีอาทิตย์ (Solar Collector)

เนื่องจากแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติและลักษณะแตกต่างกัน ดังนั้นต้องทำความเข้าใจก่อนที่จะทำการออกแบบตามข้อดีของแต่ละชนิดและลักษณะของแผงรับรังสีอาทิตย์ เมื่อได้พิจารณาพบทวนถึงข้อดีและข้อเสียของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้งสองชนิดแล้ว สถาปนิกหรือวิศวกรควรเลือกชนิดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้งานตามที่ได้มีการพิจารณาสมรรถนะระบบ ต้นทุนระบบ และผลประโยชน์ที่จะได้รับในบทที่ 1

2.2.2) การเลือกขนาดและจำนวนของแผงรับรังสีอาทิตย์

เมื่อทำการเลือกชนิดของแผงรับรังสีอาทิตย์ได้แล้ว สถาปนิกหรือวิศวกรควรเลือกขนาดของแผงรับรังสีอาทิตย์ให้เหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะนำไปใช้งานที่ทำให้มีต้นทุนระบบต่ำและมีการติดตั้งง่าย ซึ่งปกติแล้วสามารถทำการลดต้นทุนลงได้ด้วยการใช้แผงรับรังสีที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้ ขอแนะนำขนาดแผงรับรังสีที่เหมาะสม เช่น 1.22×2.44 ตร.ม. หรือ 1.22×3.05 ตร.ม. สำหรับกรณีเลือกชนิดแผ่นเรียบ หรือขนาดความยาวท่อสุญญากาศ $1.83 - 2.44$ ม. สำหรับกรณีเลือกชนิดท่อสุญญากาศ ในส่วนจำนวนของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ต้องการสามารถคำนวณหาได้โดยการนำพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ที่ได้เลือกไว้หรือเพื่อความถูกต้องให้ใช้พื้นที่ของแต่ละแผงรับรังสีอาทิตย์จากข้อมูลของผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย ไปหารพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณในการศึกษาความเป็นไปได้

ตัวอย่างที่ 2.1

จากตัวอย่างที่ 1.2 หากโรงแรมนี้ต้องการเลือกแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีขนาด 1.22×2.44 ตร.ม. จงคำนวณหาจำนวนของแผงรับรังสีอาทิตย์

วิธีทำ จากตัวอย่างที่ 1.2 จะได้ว่าโรงแรมนี้ต้องใช้พื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 128 ตร.ม. และเมื่อเลือกแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีขนาด 1.22×2.44 ตร.ม.

$$\text{ดังนั้น จะได้ว่าจำนวนของแผงรับรังสีอาทิตย์} = \frac{128}{1.22 \times 2.44} \approx 43 \text{ แผง}$$

.....

2.2.3) การกำหนดความชันและทิศทางของแผงรับรังสีอาทิตย์

เนื่องจาก ทิศทางและความชันของชุดแผงรับรังสีอาทิตย์จะมีผลต่อสมรรถนะของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้ การที่จะลดต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อน มุมชันแผงรับรังสีอาทิตย์ควรเท่ากับมุมละติจูดของพื้นที่นั้น และสามารถยอมรับได้กับตำแหน่งทิศทางของตัวอาคารเมื่อมีการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์บนหลังคา สำหรับประเทศไทยในการกำหนดทิศทางของชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ ขอแนะนำว่าควรหันหน้าไปทางทิศใต้ และควรวางชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ให้เอียงทำมุม $15-20$ องศา กับแนวระนาบ

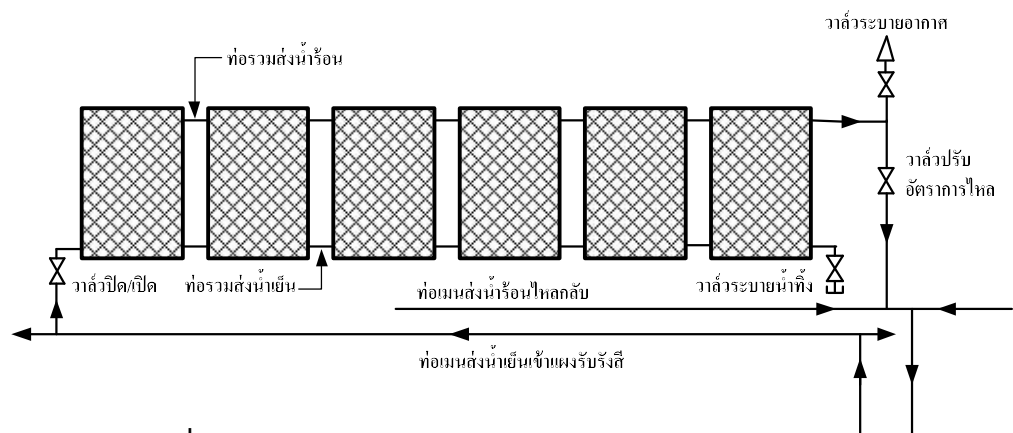
2.2.4) การจัดวางแผงรับรังสีอาทิตย์

เมื่อได้ จำนวน ขนาด ความชัน และทิศทางที่แน่นอนแล้ว แผงรับรังสีอาทิตย์จะต้องจัดวางให้พอดีและเหมาะสมกับพื้นที่ ซึ่งควรจะใช้พื้นที่น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นในการติดตั้ง และควรเดินระบบท่อให้สั้นที่สุดเท่าที่จำเป็นด้วย ดังนั้น การเลือกขนาดและจำนวนแผงรับรังสีอาทิตย์จึงมีความจำเป็น สำหรับคำแนะนำในการจัดวางตำแหน่งของแผงรับรังสีอาทิตย์มีดังนี้

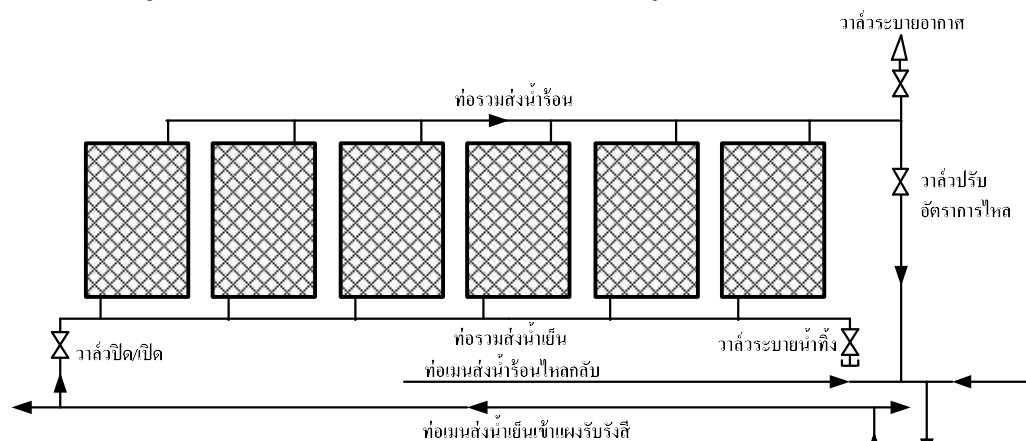
2.2.4.1) ในการต่อเป็นชุดของแผงรับรังสีอาทิตย์ ควรจะวางเรียงต่อกันไม่เกิน 8 แผง/ชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3 ยกเว้นแผงรับรังสีอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่เกินหรือเป็น

การออกแบบที่ใช้ท่อรวมขนาดพิเศษ ทั้งนี้ หากมีการต่อแผงรับรังสีอาทิตย์มากกว่า 8 แผง/ชุด อาจจะทำให้เกิดการไหลของของไหลในแต่ละแผงรับรังสีอาทิตย์ไม่เท่ากัน และอาจเป็นเหตุทำให้แผงรับรังสีอาทิตย์สูญเสียประสิทธิภาพได้

2.2.4.2) ชุดแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อรวมอยู่ภายในแผงรับรังสีอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ท่อรวมควรมีความยาวยื่นออกจากแผงให้เพียงพอต่อการติดตั้งข้อต่อเพื่อที่จะสามารถต่อเข้ากับแผงอื่น (ทั้งข้างบนและข้างล่าง) และต้องมีที่จับยึดกับโครงสร้างรองรับ ทั้งนี้ หากแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ต่อกันยาวเกิน 7.62 เมตร ต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถรองรับการขยายตัวของท่อจากความร้อนได้เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น ส่วนแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อรวมอยู่นอกแผง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ต้องมีระยะห่างเพียงพอต่อการติดตั้งจับยึดกับโครงสร้างรองรับ และไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถรองรับการขยายตัวของท่อจากความร้อน

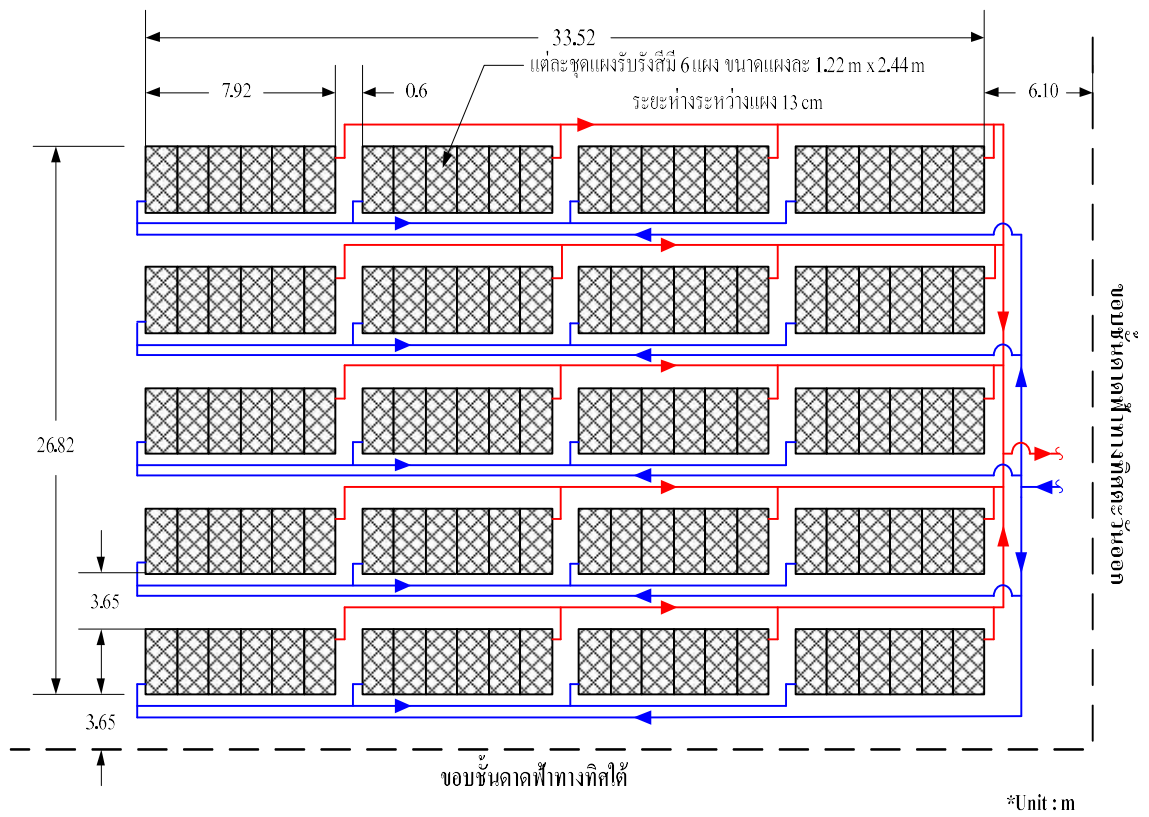


รูปที่ 2.2 ชุดแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อรวมอยู่ภายในแผง

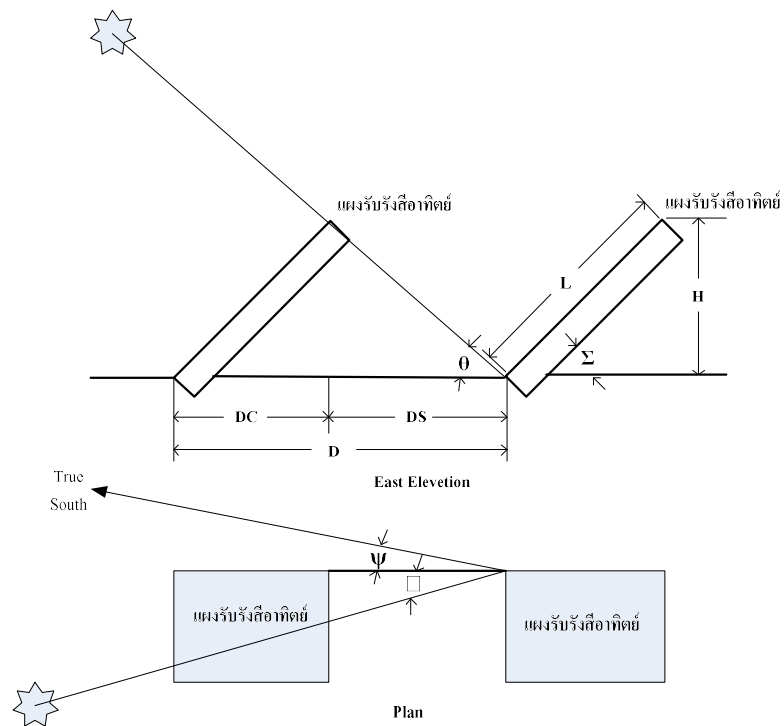


รูปที่ 2.3 ชุดแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อรวมอยู่นอกแผง

2.2.4.3) เมื่อได้ขนาดของแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์แล้ว จำนวนชุดทั้งหมด จะถูกกำหนดและจัดเรียงในแถวดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.4 ระยะห่างช่องว่างตามแนวเหนือ-ใต้ และระหว่างแต่ละแถวตามแนวตะวันออก-ตะวันตก ต้องห่างเพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้เกิดเงาบังของแต่ละแถวจากแถวที่อยู่ข้างหน้า วิธีการคำนวณระยะห่างนี้ได้แสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งผลกระทบต่อสมรรถนะระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละปีจากการเกิดเงาบังในตอนเช้าและตอนเย็นที่ระยะห่างสิ้นสุดนี้จะมีน้อยมาก



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการจัดเรียงของชุดแผงรับรังสีอาทิตย์



รูปที่ 2.5 ระยะห่างสั้นสุดของแต่ละแถวของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ไม่ให้เกิดเงาบังกัน

จากรูปที่ 2.4 ค่าต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

L	=	ความยาวของแผงรับรังสีอาทิตย์
H	=	ความสูงแนวดิ่งของแผงรับรังสีอาทิตย์
Σ	=	มุมเอียงกับแนวนอนของแผงรับรังสีอาทิตย์
θ	=	มุมละติจูดของดวงอาทิตย์
ϕ	=	มุมอะซิมูทของดวงอาทิตย์เทียบกับแผงรับรังสีอาทิตย์
ψ	=	มุมทิศทางของแผงรับรังสีอาทิตย์จากทางทิศใต้
DC	=	ระยะห่างจากขารองรับด้านหน้าถึงขารองรับด้านหลังของแผงรับรังสีอาทิตย์
DS	=	ระยะห่างจากขารองรับด้านหลังของแผงรับรังสีอาทิตย์ แกวหนึ่งถึงขารองรับด้านหน้าของแผงรับรังสีอาทิตย์แกวลัดไป
D	=	ระยะห่างสั้นสุดที่ยอมรับได้

สำหรับการคำนวณระยะห่างสั้นสุดระหว่างแถวของแผงรับรังสีอาทิตย์สามารถใช้สมการดังนี้

$$D = DC + DS = L \cos \Sigma + \left[\frac{(L \sin \Sigma)(\cos \phi)}{\tan \theta} \right] \quad (2.1)$$

โดยที่ θ และ ϕ หาได้โดยการใช้ตารางตำแหน่งของดวงอาทิตย์ หรือสมการจากคู่มือของ American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE Handbook)

เมื่อกำหนดระยะห่างสั้นสุดระหว่างแต่ละแถวได้แล้ว ก็ทำการจัดวางแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ในพื้นที่ใช้งานตามระยะที่กำหนดนี้ ซึ่งหากเป็นไปได้การจัดวางแบบสมมาตรกันจะง่ายต่อการออกแบบระบบท่อและการปรับอัตราการไหลให้มีความสมดุลหลังจากได้มีการติดตั้งเสร็จแล้ว และนอกจากการพิจารณาเงาบังกันแล้ว ระยะห่างสั้นสุดระหว่างตัวรองรับชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ของแต่ละแถวกับตัวรองรับชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ของแถวข้างหน้าถัดไป ต้องมีระยะห่างเพียงพอที่จะเข้าไปทำการซ่อมบำรุงระบบแผงรับรังสีอาทิตย์ได้ด้วย

2.2.5) การพิจารณาโครงสร้างรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์ มีขั้นตอนดังนี้

2.2.5.1) พิจารณาน้ำหนักทั้งหมดที่ต้องรองรับ ซึ่งประกอบด้วย น้ำหนักของโครงสร้างรองรับแผง น้ำหนักแผง น้ำหนักท่อ น้ำหนักของของเหลวนำความร้อนในท่อและแผง น้ำหนักอุปกรณ์ประกอบท่อต่างๆ และภาระจากสภาพแวดล้อม เช่น แรงแลม เป็นต้น

2.2.5.2) พิจารณาว่าตำแหน่งไหนและเป็นอย่างไรมีน้ำหนักดังกล่าวข้างต้นจะถ่ายเทไปยังโครงสร้างของอาคารหรือพื้นดิน

2.2.5.3) พิจารณาว่าแผงรับรังสีอาทิตย์จะยึดกับโครงสร้างอย่างไร ซึ่งแผงรับรังสีอาทิตย์อาจจะได้มีการจัดเตรียมขารองรับไว้แล้วจากผู้ผลิต

2.2.5.4) การพิจารณาโครงสร้างที่ง่ายสุด ควรใช้การออกแบบทางโครงสร้างและสถาปัตยกรรมมาตรฐาน ซึ่งจะเป็นวิธีที่ทำให้ต้นทุนวัสดุและการก่อสร้างต่ำ

2.2.5.5) จัดทำการวิเคราะห์และคำนวณโครงสร้างทั้งหมดเพื่อที่จะทำการตรวจสอบความถูกต้องว่าเพียงพอที่จะสามารถรองรับน้ำหนักทั้งหมดที่มีอยู่

2.2.5.6) จัดทำแบบแปลนและภาพตัดของโครงสร้างรองรับ เลือกวัสดุที่ต้องการนำมาทำเป็นโครงสร้างรองรับ

2.2.6) การพิจารณาดำเนินการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม มีรายละเอียดดังนี้

2.2.6.1) สำหรับการติดตั้งบนหลังคา

1. การติดตั้งบนโครงสร้างหลังคา จะมีความเหมาะสมเมื่อ
 - หลังคามีพื้นที่เพียงพอสำหรับพื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์
 - รูปร่างหลังคา (ตำแหน่งทิศทาง ช่องอากาศ เป็นต้น) สามารถจัดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ให้เหมาะสมได้ง่าย
 - โครงสร้างของอาคารมีความแข็งแรงเพียงพอที่รองรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากชุดแผงรับรังสีอาทิตย์
 - หลังคาเหมาะสมที่จะใช้กับชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ในระยะยาว
 - การติดตั้ง การเดินระบบ และการซ่อมบำรุงของชุดแผงรับรังสีอาทิตย์สามารถทำได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับหลังคา
 - การติดตั้งจะต้องมีความสวยงามสำหรับส่วนหนึ่งส่วนใดและหรือทั้งโครงการ

2. การติดตั้งบนโครงสร้างหลังคา จะต้องมี
 - โครงสร้างทนต่อน้ำหนักที่ออกแบบ
 - การถ่ายเทน้ำหนักของชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ไปยังโครงสร้างของอาคารโดยไม่ให้เกิดขีดจำกัดของน้ำหนักที่โครงสร้างของอาคารสามารถรองรับได้
 - การจัดทำฐานที่มั่นคงสำหรับแผงรับรังสีอาทิตย์
 - การรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์ที่มุมอะซิมูทและมุมชันออกแบบของโครงสร้างหลังคาที่เป็นทั้งแบบพื้นราบหรือพื้นเอียงได้
 - การรองรับท่อเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์และระบบท่อที่ความชันออกแบบ เพื่อให้สามารถทำการระบายได้ดี
 - จัดทำการป้องกันฟ้าผ่าชุดแผงรับรังสีอาทิตย์และอาคารด้วยเทคนิคสายล่อฟ้าที่เหมาะสม
 - สามารถเข้าไปในพื้นที่ติดตั้งสะดวก เพื่อที่จะเดินสายไฟ เดินระบบท่อ และติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์สำหรับการก่อสร้างและการซ่อมบำรุงรักษา

2.2.6.2) สำหรับการติดตั้งบนพื้นล่าง

1. การติดตั้งบนโครงสร้างที่พื้นล่าง จะมีความเหมาะสมเมื่อ
 - พื้นที่หลังคามีสถานที่ไม่ใหญ่เพียงพอสำหรับติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์
 - ลักษณะของหลังคาต่อการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์
 - โครงสร้างอาคารไม่แข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ และไม่ทำให้เกิดการประหยัดหากมีการติดตั้ง
 - ชุดแผงรับรังสีอาทิตย์จะกีดขวางทางเข้าของอุปกรณ์อื่นๆ บนหลังคา
 - การติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์บนหลังคาไม่สามารถยอมรับได้ในเรื่องความสวยงามของสถานที่
 - ไม่มีเงาบังบริเวณพื้นที่ใช้งานจากตัวอาคาร
2. การติดตั้งบนโครงสร้างที่พื้นล่าง จะต้องมี
 - โครงสร้างทนต่อน้ำหนักที่ออกแบบ
 - การรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ตำแหน่งทิศทางและมุมชันออกแบบได้

- การรองรับท่อเข้าและออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ และระบบท่อที่ความ
ชั้นออกแบบได้

- พื้นที่ว่างสำหรับการซ่อมบำรุงรักษา
- มีฐานโครงสร้างที่เหมาะสมตามสภาพพื้นดินในสถานที่ติดตั้ง
- มีความสวยงามตามความต้องการของสถานที่ที่ติดตั้ง
- ป้องกันสิ่งอื่นๆ เข้าไปในบริเวณชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ได้

2.3 การออกแบบถังเก็บน้ำร้อน

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่เหมือนกับระบบผลิตน้ำร้อนธรรมดาทั่วไป ซึ่งการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์อาจจะไม่ตรงกับช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้น้ำร้อน ดังนั้นถังเก็บน้ำร้อน (Hot Water Storage Tank) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จึงจำเป็นต้องมีเพื่อที่จะเก็บน้ำร้อนที่ผลิตได้ในส่วนที่เกินจากการใช้งาน ซึ่งในทางทฤษฎีความสามารถในการเก็บน้ำร้อนควรจะเพียงพอที่จะเก็บน้ำร้อนที่ผลิตได้ในส่วนที่เกินจากการใช้งาน



(a)



(b)

รูปที่ 2.6 ถังเก็บน้ำร้อน (Hot Water Storage Tank)

สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้ถังเก็บน้ำร้อนธรรมดาที่มีใช้กันทั่วไป โดยขนาดถังเก็บน้ำร้อนควรมีขนาดเพียงพอที่จะเก็บน้ำร้อนที่ผลิตได้ในส่วนที่เกินจากการใช้งาน และไม่ให้อุณหภูมิน้ำร้อนที่เก็บเพิ่มขึ้นเกิน $93.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่หากการใช้น้ำร้อนสอดคล้องกับการผลิตน้ำร้อน เช่นมีความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางวัน จำนวน 6-7 วันต่อสัปดาห์ ขนาดความจุของถังเก็บน้ำร้อนน้อยสุดที่เป็นไปได้อาจจะเพียงพอแล้ว แต่เมื่อไรก็ตามการใช้น้ำร้อนไม่สอดคล้องกับการผลิตน้ำร้อน เช่นมีความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางคืน จำนวน 5 วันต่อสัปดาห์ขึ้นไป จะต้องใช้ขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งการที่ระบบมีความจุของถังเก็บน้ำร้อนมากกว่าอาจจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพทาง

ความร้อนดีขึ้น จากการศึกษาถึงลักษณะการใช้ความร้อนเปรียบเทียบกับขนาดถังเก็บน้ำร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ พบว่าขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่เหมาะสมกับต้นทุนจะอยู่ในช่วง 20.4-81.6 ลิตร/ตร.ม. ของพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ และผลการศึกษาสามารถใช้ประมาณการหาขนาดความจุ้น้อยสุดของถังเก็บน้ำร้อนที่ต้องการสำหรับลักษณะการใช้ความร้อน 3 แบบ ดังนี้

2.3.1) ความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางวันคงที่ จำนวน 7 วัน/สัปดาห์ ควรใช้ขนาดถังเก็บน้ำร้อน 20.4-28.6 ลิตร/ตร.ม. ของพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์

2.3.2) ความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางวันคงที่ จำนวน 5 วัน/สัปดาห์ (ไม่รวมวันหยุดสุดสัปดาห์) ควรใช้ขนาดถังเก็บน้ำร้อน 40.8 ลิตร/ตร.ม. ของพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์

2.3.3) ความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลากลางคืน (ตอนไม่มีแสงแดด) คงที่ ควรใช้ขนาดถังเก็บน้ำร้อน 71.4-81.6 ลิตร/ตร.ม. ของพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ ทั้งนี้ ถ้าเป็นเวลา 5 วัน/สัปดาห์ ให้ใช้ค่าสูง แต่ถ้าเป็นเวลา 7 วัน/สัปดาห์ ใช้ค่าต่ำ

ส่วนการใช้ความร้อนที่มีลักษณะผิดแปลกไปจากนี้หรือมากกว่านี้ สถาปนิกหรือวิศวกรอาจจะคำนวณเปรียบเทียบจากขนาดถังเก็บน้ำร้อนน้อยที่สุดตามที่แนะนำไว้ ถ้าสถาปนิกหรือวิศวกรไม่แน่ใจถึงลักษณะของความต้องการใช้น้ำร้อน ขอแนะนำค่าที่ควรเลือกใช้ 40.8 ลิตร/ตร.ม. ของพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์

ตัวอย่างที่ 2.2

จากตัวอย่างที่ 1.2 หากโรงแรมนี้มีความต้องการน้ำร้อนในช่วงเวลาตอนเช้าและตอนเย็นคงที่ ซึ่งให้สมมติว่ายังไม่มีแสงแดด เป็นเวลา 7 วัน/สัปดาห์ จงคำนวณหาขนาดถังเก็บน้ำร้อน

วิธีทำ สำหรับความต้องการน้ำร้อนในช่วงไม่มีแสงแดด เป็นเวลา 7 วัน/สัปดาห์ จะได้ว่าควรใช้ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 71.4 ลิตร/ตร.ม. ของพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์

$$\text{ดังนั้นจะได้ว่าขนาดถังเก็บน้ำร้อน} = 128 \times 71.4 \approx 9,500 \text{ ลิตร}$$

.....

สำหรับในทางปฏิบัติถังเก็บน้ำร้อนที่นิยมใช้มากคือ ถังทรงกระบอกแนวตั้งที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงกับเส้นผ่านศูนย์กลางมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (a) การต่อท่อน้ำร้อนจะต่อที่ด้านบนของถังเก็บน้ำร้อน และการต่อท่อน้ำเย็นจะต่อที่หรือใกล้กับด้านล่างของถังเก็บน้ำร้อน ทั้งนี้ หากพื้นที่ว่างสำหรับติดตั้งถังเก็บน้ำร้อนไม่เหมาะสมกับถังทรงกระบอกแนวตั้งใบเดียวตามปริมาตรที่ต้องการ สามารถเลือกใช้ถังขนาดเล็กแนวตั้งหลายๆ ใบต่อกันจนครบถ้วน หรืออาจใช้ถังทรงกระบอกขนาดใหญ่แนวนอนแทนก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (b) และในการออกแบบถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องออกแบบให้สามารถรับความดันและอุณหภูมิสูงสุดของระบบได้ ซึ่งถังเก็บน้ำร้อนจะต้องตรงเข้ากับวาล์วลดความดันโดยไม่มีวาล์วเปิด/ปิดกั้นระหว่างกลาง นอกจากนี้เพื่อความสะดวกในการจ่ายน้ำถึงถังเก็บน้ำร้อนจะต้องออกแบบให้สามารถรับความดันสูงสุดของแหล่งจ่ายน้ำของสถานที่นั้นๆ

2.4 การออกแบบระบบท่อ

ระบบท่อสำหรับส่งและควบคุมการไหลของของไหลหรือน้ำ เพื่อนำความร้อนไปถ่ายเทระหว่างอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ของระบบผลิตน้ำร้อน (จากแผงรับรังสีอาทิตย์ไปยังถังเก็บน้ำร้อน) จะประกอบด้วยท่อ เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อน และอุปกรณ์ประกอบท่อ เช่น วาล์ว วาล์วระบายอากาศ เป็นต้น ทั้งนี้

วัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบท่อเพื่อให้ระบบผลิตน้ำร้อนทำงานได้ดีด้วยการใช้พลังงานน้อยที่สุด และมีต้นทุนต่ำที่สุด การออกแบบระบบท่อในส่วนของการผลิตน้ำร้อนจะต้องกำหนดรายละเอียดวัสดุที่ใช้ทำท่อ ขนาด การจัดวางและแนวการเดินท่อ ความชัน การขยายตัวทางความร้อน ตัวยึดท่อ ข้อต่อ ความดันสูญเสียของระบบ และ Net Positive Suction Head (NPSH) ซึ่งรายละเอียดที่ออกแบบนี้จะใช้เป็นรายละเอียดของระบบท่อเพื่อการติดตั้งระบบต่อไป โดยแบบแปลนของระบบท่อที่ต้องแสดงหรือมีภาพประกอบ ได้แก่

- วัสดุ ขนาด แผนผัง และทางเดินท่อ ข้อกำหนดสำหรับการขยายตัวทางความร้อน
- ตำแหน่งและวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ตามลักษณะท่อแบบต่างๆ
- วิธีการติดตั้งและตำแหน่งของตัวยึดท่อ และการต่อเข้ากับอุปกรณ์ประกอบหลักอื่นๆ เช่น แผงรับรังสีอาทิตย์ เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และถังเก็บน้ำร้อน
- ตำแหน่งฉนวนของท่อและอุปกรณ์ประกอบ และวิธีการติดตั้งฉนวนพร้อม Jacket หรือวิธีการอื่นๆ ของการป้องกันฉนวน

2.4.1) การเลือกวัสดุและขนาดของท่อ

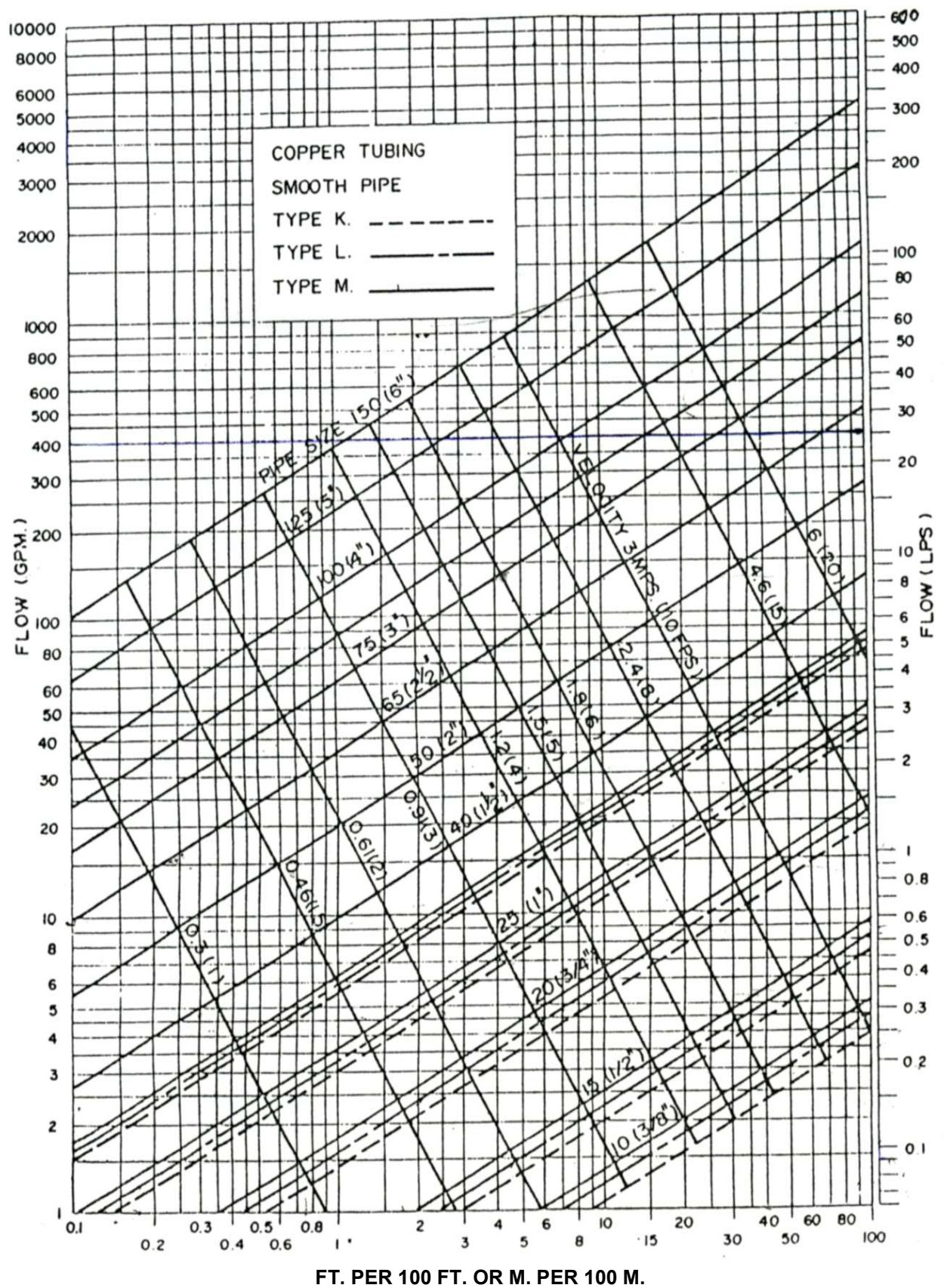
โดยทั่วไปท่อทองแดง Type L หรือ M และท่อ PP-R Class SDR 6(PN20) จะเป็นวัสดุที่แนะนำให้ใช้เป็นท่อของระบบผลิตน้ำร้อน วัสดุเหล่านี้ทนต่อการกัดกร่อน วงจรระบบท่อร้ายยาก และมีความจุความร้อนต่ำ สำหรับขนาดของท่อควรมีความเหมาะสมกับความเร็วของการไหลซึ่งควรมีความเร็วไม่เกิน 1.83 m/s ซึ่งขั้นตอนการหาขนาดของท่อก็มีวิธีพิจารณา ดังนี้

1. หาอัตราการไหลสูงสุดภายในท่อที่ต้องการหาขนาด โดยที่อัตราการไหลสูงสุดนี้สามารถคำนวณมาจากอัตราการไหลของแผงรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งปกติแล้วแผงรับรังสีอาทิตย์มีค่าอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 40-80 ลิตร/ชั่วโมง/ตร.ม.ของพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ ทั้งนี้ เพื่อความถูกต้องควรตรวจสอบอัตราการไหลของแผงรับรังสีอาทิตย์จากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย

2. กำหนดความเร็วของการไหลภายในท่อ ซึ่งความเร็วที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1.2 – 1.83 m/s

3. เมื่อได้ค่าอัตราการไหลสูงสุดและความเร็วของการไหลภายในท่อแล้ว สามารถนำไปหาขนาดของท่อและความดันตกที่เกิดขึ้นภายในท่อได้จากรูปที่ 2.7

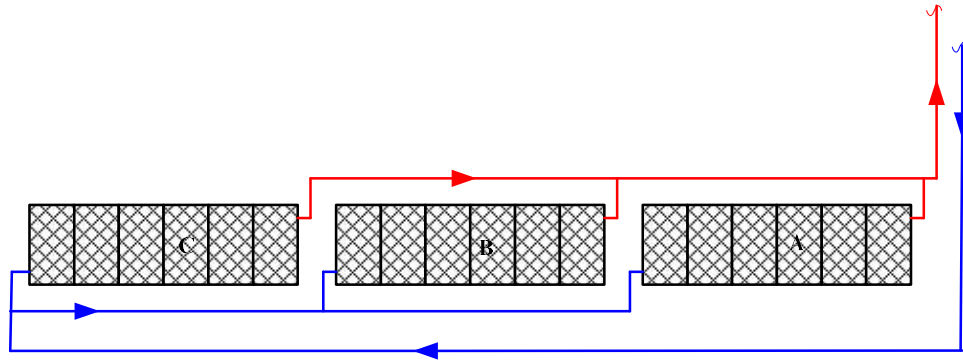
4. ถ้าความดันตกในระบบท่อสูงเกินไปจนไม่เหมาะสมทางหลักเศรษฐศาสตร์หรือเงื่อนไขอื่นๆ เช่น ทำให้ต้องใช้เครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่เกินไป ความดันของน้ำไม่พอ เป็นต้น ก็ให้กลับมาปรับขนาดท่อแล้วทำการคำนวณตามขั้นตอนเดิม จนกว่าจะได้ความดันตกพอเหมาะ ทั้งนี้ ต้องอาศัยประสบการณ์ของวิศวกรออกแบบ



รูปที่ 2.7 กราฟ Friction Loss สำหรับท่อทองแดงหรือท่อเหล็กผิวภายในเรียบ (Smooth)

ตัวอย่างที่ 2.3

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แห่งหนึ่ง มีขนาดพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ของแต่ละแผงเท่ากับ 2.5 m^2 และได้มีการวางแผงรับรังสีอาทิตย์ดังแสดงในรูปด้านล่าง จงหาขนาดท่อของระบบฯ และอุณหภูมิแตกต่างของน้ำที่ทางเข้าและออกของระบบแผงรับรังสีอาทิตย์ เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลขั้นต่ำของแผงรับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 40 L/hr-m^2 ของพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ $1,000 \text{ W/m}^2$ และแผงรับรังสีอาทิตย์มีประสิทธิภาพ 60%



วิธีทำ จากรูปจะเห็นว่ามีการนำแผงรับรังสีอาทิตย์มาต่อเป็นชุดๆ ละ 6 แผง จะได้ว่า

- พื้นที่รวมแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ $= 2.5 \times 6 = 15 \text{ m}^2/\text{ชุด}$
- อัตราการไหลขั้นต่ำแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ $= \frac{40 \times 15}{3,600} = 0.17 \text{ L/s}$
- อัตราการไหลขั้นต่ำของระบบแผงรับรังสีอาทิตย์ $= 0.17 \times 3 = 0.51 \text{ L/s}$
- หาขนาดท่อของระบบฯ
- จากรูปที่ 2.7 เมื่ออัตราการไหลขั้นต่ำของแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ 0.17 L/s จะได้ขนาดขั้นต่ำของท่อแยกเข้าชุดแผงรับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 15 มม. (1/2 นิ้ว) ที่ความเร็วของการไหล 1.1 m/s และความดันลด $12.5 \text{ m}/100 \text{ m}$
- จากรูปที่ 2.7 เมื่ออัตราการไหลขั้นต่ำของระบบแผงรับรังสีอาทิตย์ 0.51 L/s จะได้ขนาดขั้นต่ำของท่อเมนเข้าและออกระบบแผงรับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 20 มม. (3/4 นิ้ว) ที่ความเร็วของการไหล 1.65 m/s และความดันลด $17.5 \text{ m}/100 \text{ m}$
- หาอุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำที่ทางเข้าและออกของระบบแผงรับรังสีอาทิตย์

$$\text{จาก} \quad \dot{Q} = \dot{m}_w c_{pw} \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_w c_{pw}} = \frac{(1000 \times 15) \times 0.6}{0.17 \times 4186} = 12.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

.....

2.4.2) การจัดเรียงระบบท่อ

แผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีการติดตั้งใช้งานส่วนใหญ่ มักจะออกแบบให้แผงรับรังสีอาทิตย์ของแต่ละชุดเรียงต่อกันด้วยท่อรวมภายในแผงดังแสดงในรูปที่ 2.2 จำนวนแผงรับรังสีอาทิตย์ภายในแต่ละชุดปกติจะมีไม่เกิน 8 แผง ท่อรวมจ่ายและกลับสำหรับแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์จะต่อเข้ากับท่อเมนดังแสดงในรูปที่ 2.2 วาล์วปรับการไหล วาล์วระบายอากาศ และวาล์วระบายน้ำทิ้ง ควรมี

การติดตั้งแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3 สำหรับท่อรวมจ่ายและกลับของแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ หากเป็นไปได้ควรจะจับยึดและวางอยู่บนโครงสร้างรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์ เพื่อเป็นการป้องกันท่อเกิดความเสียหาย ส่วนท่อเมนจ่ายและกลับควรจะต้องติดตั้งให้เกิดความสมมาตรกันและมีความยาวท่อทั้งหมดสั้นที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ทั้งนี้ ถ้ามีระบบท่ออื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงและทิศทางเดียวกันกับท่อระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ควรจะวางท่อให้อยู่ใกล้กับระบบท่อเหล่านี้เพื่อเป็นรวมท่อระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เข้าไว้กับระบบท่ออื่นๆ ที่อาจจะมีช่องชาร์ปอยู่แล้ว ซึ่งจะช่วยให้การซ่อมบำรุงรักษา ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ง่ายขึ้น ทั้งนี้ จะต้องจัดเตรียมช่องว่างให้เพียงพอสำหรับการติดตั้ง ฉนวนของท่อด้วย

2.4.3) การจับยึดท่อ

ท่อที่ใช้ในระบบทั้งหมดจะต้องมีตัวจับยึดทั้งแนวตั้งและแนวนอน โดยที่ยอมให้มีการเคลื่อนที่ตามแนวแกนระหว่างตัวจับยึดสำหรับการขยายตัวและหดตัวทางความร้อน ถ้ามีตัวจับยึดไม่เพียงพอและมีแรงมากระทำกับข้อต่อต่างๆ อาจเป็นสาเหตุทำให้การรั่วเกิดขึ้นในภายหลังได้ ซึ่งระยะห่างที่แนะนำของตัวจับยึดท่อสำหรับท่อทองแดงแนวนอนดังมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.1 ส่วนท่อแนวตั้งควรจะมีตัวยึดรองรับห่างกันทุกๆ ระยะ 3 m

ตารางที่ 2.1 ระยะห่างที่แนะนำสำหรับตัวจับยึดท่อทองแดงแนวนอน

Nominal Size (in)	Distance Between Support	
	(Ft)	(m)
1/2	6	1.829
3/4	8	2.438
1	8	2.438
1 1/4	10	3.048
1 1/2	10	3.048
2 and above	10	3.048

ที่มา: “Active Solar Heating System Design Manual”, ASHRE.

ระบบท่อของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์สามารถจับยึดกับโครงสร้างรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์หรือหลังคา ส่วนท่อในอื่นๆ สามารถจับยึดจากตัวรองรับได้ ซึ่งอาจจะใช้ที่แขวนท่อมาตรฐานที่มีขายอยู่ทั่วไปหรือตัวจับยึดตามที่มีการออกแบบไว้โดยเฉพาะ และการจับยึดท่อบางที่อาจจะต้องมีการควบคุมตำแหน่งและทิศทางของการขยายตัวและหดตัวทางความร้อนด้วย

สำหรับระบบท่อของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ต้องจับยึดกับหลังคาควรทำโดยไม่ให้มีการเจาะพื้นหลังคา ซึ่งวิธีที่ดีที่สุดของการรองรับท่อนบนพื้นราบหลังคาคือการใช้ฐานคอนกรีต โดยสามารถทำการหล่อไว้ล่วงหน้าพร้อมกับขารองรับท่อแล้วจึงค่อยยกขึ้นมาใช้งานและติดตั้งบนพื้นหลังคา ในการจับยึดท่อที่ส่วนต่างๆ จะต้องระวังให้แน่ใจได้ว่าฉนวนท่อจะไม่เกิดความเสียหายจากการจับยึดท่อ วิธีปฏิบัติที่แนะนำคือ ต้องเตรียมแผ่นโลหะรองรับระหว่างฉนวนท่อและตัวจับยึดท่อเพื่อที่ให้มีกระจายน้ำหนักลงพื้นที่ของฉนวนท่อได้กว้างมากขึ้น และควรใช้แผ่นรองฉนวนที่มีความยืดหยุ่นได้ตามการขยายตัวของท่อที่ร้อนขึ้น นอกจากนี้การใช้ฉนวนแข็งตรงที่มีตัวจับยึดท่อก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ได้

2.4.4) ความดันสูญเสียในระบบท่อ

การคำนวณหาความดันสูญเสียในระบบท่อ จะมีประโยชน์สำหรับใช้หาขนาดของเครื่องสูบน้ำได้อย่างถูกต้อง โดยค่าของความดันสูญเสียสำหรับท่อขนาดต่างๆ ที่ความเร็วหนึ่งสามารถหาได้จากรูปที่ 2.7 ทั้งนี้ ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในระบบท่อจะประกอบด้วย ความดันสูญเสียของท่อ และความดันสูญเสียของแผงรับรังสีอาทิตย์ ข้องอ ข้อต่อ และวาล์วต่างๆ ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับความดันสูญเสียในส่วนหลังนี้สามารถหาได้จากเอกสารข้อมูลของผู้ผลิต แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะไม่สะดวกในการออกแบบให้รวดเร็ว สำหรับวิธีการคำนวณหาความดันสูญเสียที่ง่ายที่สุดคือ การใช้ความยาวสมมูล (Equivalent Length) ซึ่งความยาวสมมูลของ แผงรับรังสีอาทิตย์ ข้องอ ข้อต่อ และวาล์วต่างๆ หมายถึง ความยาวของท่อตรงที่มีขนาดเดียวกันกับขนาดของ แผงรับรังสีอาทิตย์ ข้องอ ข้อต่อ และวาล์วต่างๆ ที่จะทำให้เกิดความดันสูญเสียเท่ากับความดันสูญเสียของอุปกรณ์เหล่านี้ที่อัตราการไหลเท่ากัน หลักการนี้จะช่วยให้การออกแบบทำได้รวดเร็วขึ้น โดยการนำความยาวสมมูลไปรวมกับความยาวจริงของระบบท่อ แล้วจึงทำการหาความดันสูญเสียด้วยความยาวดังกล่าวนี้

ในระบบท่อปกติแล้วความดันสูญเสียของ ข้องอ ข้อต่อ และอุปกรณ์ต่างๆ รวมกันจะมีค่าอยู่ระหว่าง 20% ถึง 50% ของความดันสูญเสียของท่อเอง ฉะนั้นในทางปฏิบัติวิศวกรออกแบบจึงมักจะสมมติให้ แผงรับรังสีอาทิตย์ ข้องอ ข้อต่อ และอุปกรณ์เหล่านี้มีความยาวสมมูลอยู่ประมาณ 20% ถึง 50% ของความยาวจริงของท่อ การที่จะเลือกค่าใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับระบบที่มีอุปกรณ์เหล่านี้อยู่มากเพียงใด ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญงานของวิศวกรออกแบบ

2.5 รายละเอียดที่ต้องกำหนดในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อน

เมื่อสถาปนิกหรือวิศวกรออกแบบได้ทำการเลือกลักษณะที่สำคัญและสมรรถนะของส่วนประกอบต่างๆ ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และได้ใช้ข้อมูลของส่วนประกอบเหล่านี้ในการออกแบบทางกายภาพและวิเคราะห์ด้านสมรรถนะแล้ว ลักษณะและสมรรถนะของส่วนประกอบต่างๆ จะต้องถูกถ่ายทอดไปยังผู้ติดตั้งระบบ ซึ่งมีวิธีหรือข้อแนะนำสำหรับการจัดทำข้อกำหนดรายละเอียดของส่วนประกอบเหล่านี้เพื่อจัดทำเอกสารรายละเอียดประกอบแบบ ดังนี้

2.5.1) แผงรับรังสีอาทิตย์ (Solar Collectors)

แผงรับรังสีอาทิตย์ คือ อุปกรณ์ดูดซับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งอุปกรณ์นี้เมื่อดูดซับความร้อนแล้วจะถ่ายเทความร้อนไปยังของไหลที่ไหลผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์ทำให้ของไหลมีความร้อนสูงขึ้น ซึ่งปัจจุบันแผงรับรังสีอาทิตย์ได้รับการออกแบบ พัฒนา และใช้ในเชิงการค้าแล้วมีอยู่ 3 ชนิด คือ ชนิดแผ่นเรียบ ชนิดท่อสุญญากาศ และชนิดรวมแสง แต่สำหรับคู่มือการออกแบบนี้จะขอกล่าวถึงเพียงแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบและท่อสุญญากาศเท่านั้น โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.5.1.1) แผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

รายละเอียดที่ต้องกำหนดสำหรับแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ มีเกณฑ์สำคัญในการพิจารณาเลือก ดังนี้

1. ขนาดปกติของแผงรับรังสีอาทิตย์ควรมีขนาดใหญ่เหมาะสมพอที่จะสามารถใช้มียกได้สำหรับการติดตั้ง เช่น ขนาด 1.22×2.44 ตร.ม. หรือ 1.22×3.05 ตร.ม. สถาปนิกหรือวิศวกรออกแบบควรจะใช้จำนวนแผงให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ แต่ให้ได้พื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์เท่าที่ต้องการ ด้วยวิธีนี้เป็นการลดค่าแรงและต้นทุนการติดตั้งทั้งหมด

2. แผ่นโลหะเคลือบโครเมียมดำ เป็นการพันสารดูดซับคัดเลือกรังสีชนิดพิเศษ (Selective Coating) เคลือบบนตัวดูดซับจะทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่าการทาสีดำ ซึ่งสารเคลือบนี้จะช่วยลดการสูญเสียความร้อนจากตัวดูดซับเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และมีอัตราการเสื่อมสภาพต่ำกว่าตัวดูดซับที่ทาสีดำ

3. แผงรับรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้ฝาปิดชั้นเดียวที่ทำจากกระจกชนิดกระจกผสมเหล็กดำ (Temper Glass) พร้อมกับตัวดูดซับที่เคลือบสารดูดซับคัดเลือกรังสี ซึ่งแผงรับรังสีอาทิตย์นี้จะมีสมรรถนะเพียงพอสำหรับระบบผลิตน้ำร้อน ทั้งนี้ ควรเลือกแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ได้ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93 หรือ NBS Internal 1305A หรือรับรองด้วย SRCC (Solar Rating and Certification Corporation) หรือองค์กรอื่นๆ ที่น่าเชื่อถือ โดยกราฟสมรรถนะของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ถูกเลือกใช้ตามมาตรฐานข้างต้น ต้องเท่ากับหรือสูงกว่าข้อมูลสมรรถนะแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ได้ในระหว่างการศึกษาคือความเป็นไปได้ และถ้าแผงรับรังสีอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในช่วงที่กำลังทำงาน แผงรับรังสีอาทิตย์ที่ผ่านการทดสอบแล้วได้อัตราการไหลต่ำสุด ควรจะถูกเลือกกำหนดมาใช้งานเพราะจะทำให้ได้ขนาดท่อและเครื่องสูบน้ำเล็กกว่า ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนของระบบลงได้

4. อัตราการไหลของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่เลือกโดยสถาปนิกหรือวิศวกรออกแบบควรจะเหมือนกับที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93 และต้องไม่มากกว่าอัตราการไหลที่ผู้ผลิตแนะนำ

5. ต้นทุนของระบบแผงรับรังสีอาทิตย์เป็นองค์ประกอบหลักที่ต้องพิจารณาเมื่อมีการเลือกแผงรับรังสีอาทิตย์ เพื่อการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม

2.5.1.2) แผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศ

สำหรับแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศจะไม่เหมือนกับชนิดแผ่นเรียบทั้งรูปร่างลักษณะ ระบบท่อ และสิ่งที่ต้องการในการติดตั้ง และสมรรถนะของแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดนี้จะสูงกว่า ด้วยเหตุผลเหล่านี้จะต้องนำมาพิจารณาเมื่อมีการเลือกใช้แผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศตามส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. เนื่องจากแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศ สามารถผลิตอุณหภูมิได้สูง ดังนั้น การออกแบบเพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพจะต้องมีการพิจารณาอย่างดี โดยจะไม่พิจารณาเพียงแค่อายุการใช้งานระบบเท่านั้น ซึ่งการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ และของเหลวที่นำมาใช้ในระบบภายใต้สภาวะเหล่านี้ต้องมั่นใจได้ว่าได้รับพลังงานที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ต้องการโดยไม่ให้เกิดการสูญเสียมากเกินไป

2. การเลือกแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศ ต้องมีอายุการใช้งานใกล้เคียงกับระยะเวลาที่กำหนดและง่ายต่อการซ่อมบำรุงรักษาและเปลี่ยนใหม่

3. แผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศทั้งหมด สามารถทำการติดตั้งได้เลยเมื่อถูกส่งมาถึงสถานที่ติดตั้ง อย่างไรก็ตามในบางครั้งเป็นไปได้ที่การออกแบบจะกำหนดให้แยกแผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศออกเป็นส่วนๆ แล้วนำไปประกอบติดตั้งในที่สถานที่ติดตั้งระบบ ทั้งนี้ เพื่อที่จะให้เกิดความเหมาะสมในการนำไปใช้ในที่สถานที่ติดตั้งนั้นๆ

2.5.2) ถังเก็บน้ำร้อน (Hot Water Storage Tank)

การหาขนาดของถังเก็บน้ำร้อนได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.3 แล้ว ส่วนการเขียนแบบแปลนถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่ต้องจัดทำเพื่อใช้แสดงรายละเอียดของถังเก็บน้ำร้อนที่ต้องการ โดยแบบแปลนนี้จะต้องแสดงถึงลักษณะทั้งหมดของถังเก็บน้ำร้อน ซึ่งควรมีรายละเอียดที่สำคัญประกอบด้วย ขนาด จำนวน ตำแหน่งของปลายท่อ รูต่อท่อ รายละเอียดการติดตั้งหรือโครงสร้างรองรับ

และขนาดและตำแหน่งติดตั้งของหัววัดต่างๆ สำหรับการควบคุมหรือการตรวจวัดที่จำเป็น ทั้งนี้ ควรจะมีการเตรียมปลายท่อและตำแหน่งติดตั้งหัววัดสำรอง เพื่อไว้สำหรับการแก้ไขตัดแปลงระบบท่อและการตรวจวัดเพิ่มเติมที่อาจจะมีขึ้นในอนาคต

สำหรับถังเก็บน้ำร้อนที่นำไปใช้กับน้ำที่ไม่ได้ปรับคุณภาพหรือถังเก็บน้ำร้อนที่มีอากาศบรรจุอยู่เหนือน้ำ ต้องถูกเคลือบหรือบุสารที่สามารถป้องกันการกัดกร่อน อย่างเช่น อีพอกซี (Epoxy) ซีเมนต์ (Cement) เป็นต้น โดยทั่วไปการเคลือบอีพอกซี (Epoxy) จะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการเคลือบด้วยซีเมนต์ (Cement) แต่การเคลือบด้วยซีเมนต์จะมีอายุการใช้งานดีกว่า ซึ่งการเคลือบทั้งอีพอกซีและซีเมนต์ต้องใช้คนที่มีความชำนาญในโรงงานตามวิธีแนะนำจากผู้จำหน่ายวัสดุ ส่วนถังเก็บน้ำร้อนที่นำไปใช้กับน้ำยังยั้งการกัดกร่อนก็ไม่มี ความจำเป็นที่ต้องเคลือบสารป้องกันดังกล่าว การต่อท่อเข้ากับถังเก็บน้ำร้อนทรงแนวตั้ง ควรจะต่อท่อน้ำร้อนทั้งเข้าและออกที่ด้านบน และต่อท่อน้ำเย็นมีทั้งเข้าและออกที่ด้านล่าง ซึ่งการจัดวางท่ออย่างนี้ทำให้เกิดการแบ่งชั้นความร้อนภายในถังเก็บน้ำร้อน และได้ น้ำร้อนเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้งาน และได้น้ำเย็นเหมาะสมที่สุดที่จะไหลไปยังแผงรับรังสีอาทิตย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ ทั้งนี้ เพื่อที่จะช่วยแบ่งชั้นความร้อนให้ดีขึ้นอาจจะติดตั้ง Horizontal Diffuser ที่ตรงทางเข้าของน้ำร้อน ส่วนถังเก็บน้ำร้อนทรงแนวนอน การต่อท่อน้ำร้อนควรจะอยู่ที่ปลายด้านบนที่ข้างใดข้างหนึ่งของถังเก็บน้ำร้อน และการต่อท่อน้ำเย็นควรจะต่อที่ด้านล่างที่ข้างใดข้างหนึ่งของถังเก็บน้ำร้อน โดยท่อน้ำร้อนเข้าและท่อน้ำเย็นออกต้องอยู่ที่ปลายของถังเก็บน้ำร้อนฝั่งตรงข้ามกัน การจัดวางท่ออย่างนี้จะทำให้เกิดการไหลข้ามภายในถังเก็บน้ำร้อน และเป็นการใช้ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนได้ทั้งหมด แต่การแบ่งชั้นความร้อนจะได้ไม่ดีเหมือนกับในถังเก็บน้ำร้อนทรงแนวตั้ง ทั้งนี้ การพิจารณาข้อกำหนดรายละเอียดที่ต้องการของถังเก็บน้ำร้อนไม่ได้จำกัดอยู่แค่นี้ การพิจารณาทางวิศวกรรมควรจะกำหนดสิ่งต่างๆ หรือพารามิเตอร์อื่นๆ ที่จำเป็นและยังไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วย ซึ่งข้อกำหนดรายละเอียดที่ต้องการควรจะถูกแสดงในแบบแปลนของถังเก็บน้ำร้อนดังกล่าว

2.5.3) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ จะมีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อถ่ายเทความร้อนจากวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ไปยังวงจรถังเก็บน้ำร้อน ยกเว้นระบบหมุนเวียนน้ำร้อนใช้โดยตรง (Direct Active System) ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้จะทำให้สมรรถนะระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ลดต่ำลง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็นแบบวงจรเดียวหรือแบบวงจรคู่ โดยแบบวงจรเดียว (อยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อน) เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขดท่อหรือกลุ่มท่อจุ่มภายในถังเก็บน้ำร้อน โดยความร้อนจะถ่ายเทจากของเหลวที่อยู่ในขดท่อไปยังน้ำที่อยู่ในถังเก็บน้ำร้อน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำร้อนผ่านขดท่อ ทั้งนี้ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบวงจรเดียวจะไม่แนะนำให้ใช้เพราะว่าเสี่ยงต่อการรั่วถึงกันได้ง่าย ส่วนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบวงจรคู่โดยทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิด ที่มีความเหมาะสมใช้สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ คือ ชนิดแผ่นเรียบ (Flat Plate) และชนิดเปลือกและท่อ (Shell and Tube) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยชนิดแรกมีค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness) สูงประมาณ 0.80 หรืออาจสูงกว่านี้ ทำให้อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนจริงกับทฤษฎีมีค่าสูงมากกว่าชนิดเปลือกและท่อซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness) ประมาณ 0.60-0.80



ชนิด Flat Plate



ชนิด Shell and Tube

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นเรียบเหมาะสำหรับการผลิตน้ำร้อนเชิงพาณิชย์ และนำมาใช้กับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพราะว่ามีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง ทำให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงและไม่จำเป็นต้องมีฉนวนกันความร้อนเนื่องจากพื้นที่สูญเสียความร้อนมีเฉพาะตรงขอบบางด้านข้างของแผ่นเรียบ สำหรับการใช้งานในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แผ่นโลหะเหล่านี้จะทำได้ด้วยเหล็กสแตนเลส และหากมีความต้องการที่จะเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนก็สามารถทำได้ง่ายด้วยการเพิ่มจำนวนแผ่นโลหะเข้าไปเท่านั้น สำหรับการกำหนดคุณลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ระหว่างวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อน ควรมีรายละเอียดประกอบด้วย

- อัตราการไหลของน้ำด้านถังเก็บน้ำร้อน
- อุณหภูมิของน้ำด้านถังเก็บน้ำร้อนขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- อัตราการไหลของของไหลด้านแผงรับรังสีอาทิตย์
- อุณหภูมิของของไหลด้านแผงรับรังสีอาทิตย์เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- พารามิเตอร์ของของไหลด้านแผงรับรังสีอาทิตย์ (ρ และ C_p)
- พารามิเตอร์ของน้ำด้านถังเก็บน้ำร้อน (ρ และ C_p)
- แฟกเตอร์ความสกปรก

สำหรับวิธีที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์มีดังนี้

1. เลือกค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ต้องการ โดยควรเลือกใช้ค่าอยู่ระหว่าง 0.50 - 0.60 กรณีเป็นชนิดเปลือกและท่อ และ 0.70 กรณีเป็นชนิดแผ่นเรียบ
2. หาค่าความหนาแน่น ความหนืด และการนำความร้อนของของไหลทั้งสองที่อุณหภูมิทำงานเฉลี่ย
3. หาค่าอุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ย ($T_{c,in}$) ของน้ำเย็นที่เข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นอุณหภูมิของน้ำที่มาจากถังเก็บน้ำร้อน ถ้าไม่ทราบค่าที่เหมาะสมจากสถานะจริงหรือจากการออกแบบเบื้องต้น อาจจะใช้อุณหภูมิที่ 43.3 °C
4. คำนวณหาอัตราสูงสุดของการผลิตความร้อนจากวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ ($\dot{Q}_{max}$) ถ้าไม่ทราบจากสถานะจริงอาจจะประมาณการได้จากสมการ ดังนี้

$$\dot{Q}_{\max} = I_{\max} A_c \eta_c \quad (2.1)$$

โดยที่ $I_{\max}$ = ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดที่ตกกระทบแผงฯ (W/m²)
 A_c = พื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ (m²)
 η_c = ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่จุดทำงานเฉลี่ย (%)
 (จากกราฟทดสอบสมรรถนะของแผงรับรังสีอาทิตย์)

5. คำนวณหาอัตราความจุความร้อนในวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ (C_h) ซึ่งสามารถหาด้วยสมการ ดังนี้

$$C_h = 0.001 V_h \rho_h c_{ph} \quad (2.2)$$

โดยที่ C_h = อัตราความจุความร้อนของของไหล (kW/ °C)
 0.001 = แฟกเตอร์การเปลี่ยนแปลง
 V_h = อัตราการไหลของของไหล (L/s)
 ρ_h = ค่าความหนาแน่นของของไหล (kg/m³)
 c_{ph} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของไหล (kJ/kg °C)

ทั้งนี้ คุณสมบัติของของไหลทั้งหมดควรจะถูกประเมินที่อุณหภูมิทำงานเฉลี่ยของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์

6. คำนวณหาอัตราความจุความร้อนในวงจรถังเก็บน้ำร้อน (C_c) สำหรับอัตราความจุความร้อนในวงจรถังเก็บน้ำร้อนควรจะมีมากกว่าวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ 5-10% ถึงจะเป็นการออกแบบระบบที่เหมาะสม ซึ่งสามารถหาด้วยสมการ ดังนี้

$$C_c = 0.001 V_c \rho_c c_{pc} \quad (2.3)$$

โดยที่ C_c = อัตราความจุความร้อนของน้ำ (kW/ °C)
 0.001 = แฟกเตอร์การเปลี่ยนแปลง
 V_c = อัตราการไหลของน้ำ (L/s)
 ρ_c = ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m³)
 c_{pc} = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg °C)

ทั้งนี้ คุณสมบัติของน้ำทั้งหมดควรจะถูกประเมินที่อุณหภูมิทำงานเฉลี่ยของวงจรถังเก็บน้ำร้อน

7. คำนวณหาอุณหภูมิของของไหลขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{h,in}$) ด้านวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งสามารถหาด้วยสมการ ดังนี้

$$T_{h,in} = \left(\frac{\dot{Q}_{\max}}{\varepsilon C_h} \right) + T_{c,in} \quad (2.4)$$

โดยที่ ε = ค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

8. คำนวณหาอุณหภูมิขาออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของทั้ง 2 วงจร ($T_{c,out}$ และ $T_{h,out}$) ซึ่งสามารถหาด้วยสมการ ดังนี้

$$T_{c,out} = T_{c,in} + \left[\left(\frac{C_h}{C_c} \right) (\varepsilon (T_{h,in} - T_{c,in})) \right] \quad (2.5)$$

$$\text{และ} \quad T_{h,out} = T_{h,in} - (\varepsilon (T_{h,in} - T_{c,in})) \quad (2.6)$$

นอกจากนี้ พารามิเตอร์ที่ควรจะต้องกำหนดรายละเอียดคือ ฉนวนสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell-and-Tube ความดันตกรวมและความดันสูงสุดของทั้ง 2 ข้าง อุณหภูมิสูงสุดของของไหล ชนิดและค่า pH ของของไหล การซ่อมบำรุงรักษา พื้นที่ว่างสำหรับติดตั้งและซ่อมบำรุงรักษา และวัสดุที่ใช้ทำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และส่วนประกอบอื่นๆ ทั้งนี้ ข้อกำหนดรายละเอียดที่ต้องการสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไม่ได้จำกัดเพียงเท่านั้น การพิจารณาทางวิศวกรรมควรกำหนดค่าหรือพารามิเตอร์อื่นๆ ที่จำเป็นและยังไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วยถ้ามี

2.5.4) ของเหลวนำพาความร้อน

กรณีที่ใช้ระบบที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ของเหลวนำพาความร้อนในอุดมคติ สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ควรมีคุณสมบัติและลักษณะ ดังนี้

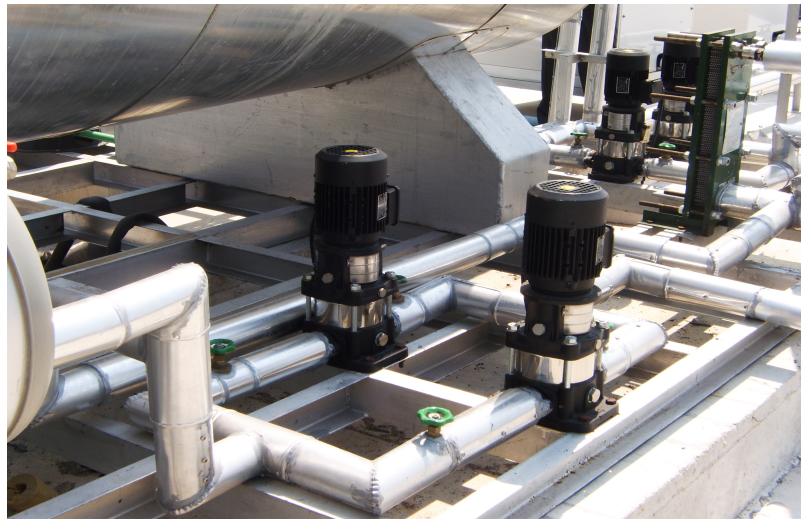
- ความร้อนจำเพาะสูง
- ความหนาแน่นสูง
- ความหนืดต่ำ
- ความตึงผิวสูง
- เกิดความดันไอที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 93.3 °C
- จุดเยือกแข็งต่ำ
- ความสม่ำเสมอทางความร้อนสูง
- ไม่มีปฏิกิริยาทางเคมี
- ไม่กัดกร่อน (pH อยู่ในช่วง 8.0 – 9.5)
- ปริมาณของแข็งละลายอยู่ต่ำ
- ไม่เป็นพิษ
- เหมาะที่จะใช้งานได้ทันที
- ราคาไม่แพง

โดยคุณสมบัติสองอันดับแรกจะช่วยลดอัตราการไหลที่ต้องการ เพื่อนำพาความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไปยังถังเก็บน้ำร้อน และช่วยลดขนาดท่อและเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนที่ต้องการด้วย ความหนืดจะช่วยลดขนาดกำลังขับเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนของเหลวผ่านวงจร ความตึงผิวสูงจะช่วยลดการเกิดการรั่ว ส่วนประโยชน์ของคุณสมบัติตัวอื่นๆ เป็นไปตามที่ระบุไว้ข้างต้น ทั้งนี้ รายละเอียดที่ต้องการสำหรับของเหลวทำงานของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ไม่ได้จำกัดเพียงเท่านั้น ควรจะใช้การพิจารณาทางวิศวกรรมเพื่อที่จะกำหนดสิ่งต่างๆ หรือพารามิเตอร์อื่นๆ ที่จำเป็นและยังไม่ได้กล่าวถึงด้วยถ้ามี

2.5.5) เครื่องสูบน้ำหมุนเวียน (Circulated Pump)

ระบบแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ของเหลวจะต้องใช้เครื่องสูบน้ำหมุนเวียน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เพื่อหมุนเวียนของเหลวสำหรับนำพาความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ไปยังเครื่องแลกเปลี่ยน

ความร้อนและถังเก็บน้ำร้อน เครื่องสูบน้ำควรจะหมุนเวียนของเหลวนำพาความร้อนด้วยอัตราการไหล ออกแบบที่เสียค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด สำหรับอัตราการไหล ความดันสูญเสีย และระบบเพิ่ม แรงดันของของเหลวนำพาความร้อนจะได้กล่าวถึงในส่วนต่อไป สำหรับลักษณะและรายละเอียดที่ ต้องการเพื่อการเลือกใช้งานเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน จะมีรายละเอียดของส่วนต่างๆ ดังข้างล่างนี้ แต่ทั้งนี้ก็ ไม่ได้จำกัดเพียงเท่านั้น ควรจะใช้การพิจารณาทางวิศวกรรมกำหนดสิ่งต่างๆ หรือพารามิเตอร์ที่จำเป็นและ ยังไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้เพิ่มเติมเข้าไปด้วยถ้ามี



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน (Circulated Pump)

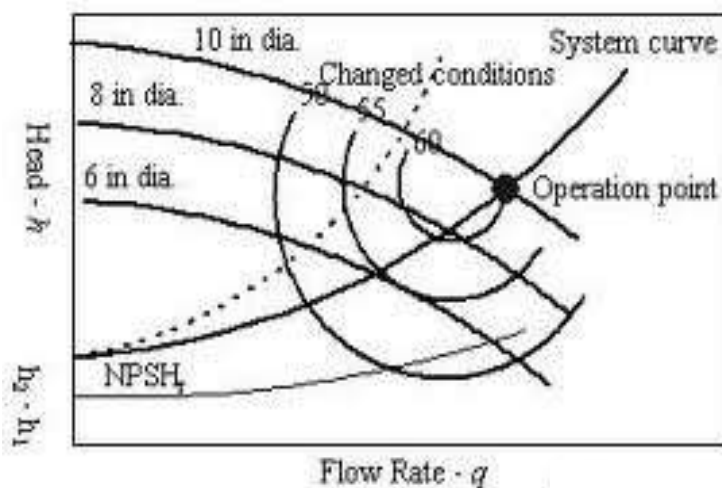
2.5.5.1) การเลือกเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน

โดยปกติเครื่องสูบน้ำหอยโข่งชนิด Single-State และ Single- Suction มักนิยมเลือกใช้สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งต้องการเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนที่ อัตราการไหลต่ำถึงปานกลางและความร้อนอุณหภูมิปานกลาง มี Net Positive Suction Head (NPSH) ที่เหมาะสมกับการใช้งาน ส่วนการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิสูงหรือ ของเหลวที่มีความหนืดสูงเกินความสามารถเครื่องสูบน้ำหอยโข่งมาตรฐานทั่วไป ผู้ออกแบบจะต้องทำ การพิจารณาเป็นพิเศษซึ่งควรอ้างอิงตามคำแนะนำของผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย

เครื่องสูบน้ำหอยโข่งสามารถออกแบบได้ทั้งแบบการติดตั้งภายในท่อ (In-Line Mounting) และการติดตั้งบนพื้น (Base Mounting) สำหรับการออกแบบการติดตั้งภายในท่อจะทำการ ติดตั้งเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนอยู่ภายในท่อโดยตรงและจับยึดเข้ากับท่อ ดังนั้นเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนจะถูก จับยึดด้วยตัวจับยึดรองรับเดียวกันกับท่อ โดยขนาดของเครื่องสูบน้ำแบบติดตั้งภายในท่อไม่เกิน 3 นิ้ว (76 mm) จะเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งภายในท่อทั้งแนวตั้งและแนวนอน ส่วนเครื่องสูบน้ำที่มี ขนาดใหญ่กว่านี้จนถึง 6 นิ้ว (152 mm) จะเหมาะสมติดตั้งภายในท่อแนวนอน ทั้งนี้ ในกรณีที่ท่อมีขนาด ใหญ่กว่า 3 นิ้ว (76 mm) เครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งบนพื้นทั่วๆ ไปจะมีความเหมาะสมใช้งานมากกว่า เครื่องสูบน้ำแบบติดตั้งภายในท่อ แต่เครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งบนพื้นจะต้องมีระบบท่อเข้าและออกซึ่งเพิ่ม ความยุ่งยากในการติดตั้งระบบท่อ อีกทั้ง ยังต้องใช้ข้อต่ออ่อนระหว่างเครื่องสูบน้ำกับระบบท่อ เพื่อที่จะ ลดน้ำหนักของท่อลงบนตัวเครื่องสูบน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้โครงเครื่องสูบน้ำบิดงอและกระทบท่ออายุ การใช้งานของลูกปืน แต่ถ้าท่อทางเข้าอยู่ตรงที่ศูนย์กลางใบพัด ข้อต่ออ่อนก็อาจไม่มีความจำเป็นสำหรับ ท่อทางเข้านี้

2.5.5.2) เฮดและการไหลที่ต้องการ

ความสามารถในการทำงานของเครื่องสูบน้ำหอยโข่งจะแสดงลักษณะได้ด้วยกราฟเฮด-การไหล (Head-Flow Curves) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยที่กราฟเฮด-การไหล จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความแตกต่างของเฮดระหว่างทางเข้าและทางออกของเครื่องสูบน้ำ ทั้งนี้ กราฟเฮด-การไหล ของเครื่องสูบน้ำนั้นได้มาจากขบวนการผลิตตามขนาดใบพัดและความเร็วรอบ สำหรับประสิทธิภาพที่อยู่บนกราฟเฮด-การไหล มีจุดประสงค์เพื่อใช้เลือกเครื่องสูบน้ำที่ทำให้ได้ อัตราการไหลที่เฮดสุทธิตามต้องการในขณะมีการเดินเครื่อง และใกล้ประสิทธิภาพสูงสุด การคำนวณการสูญเสียเฮดของวงจรระบบตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4.4 ควรจะเผื่อเพิ่มขึ้นอีก 15-20% เมื่อจะกำหนดเป็นข้อกำหนดรายละเอียดของเครื่องสูบน้ำที่จะใช้เพื่อกันความผิดพลาด และอาจเป็นไปได้ที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งระบบท่อตามการออกแบบ ค่าเผื่อนี้ได้คิดการเพิ่มขึ้นของการต้านการไหลที่เป็นผลมาจากการพยายามที่จะปรับสมดุลอัตราการไหลผ่านชุดแผงรับรังสีอาทิตย์รวมอยู่ด้วยแล้ว เฮดของเครื่องสูบน้ำที่เลือกใช้งานจะต้องเท่ากับหรือสูงกว่าเฮดที่อัตราการไหลออกแบบ ทั้งนี้อัตราการไหลและเฮดที่ออกแบบจะต้องถูกกำหนดเป็นข้อกำหนดรายละเอียดของเครื่องสูบน้ำเพื่อให้มั่นใจได้ว่าสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ถูกเสนอตรงตามเฮดและการไหลที่ต้องการ



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างกราฟ เฮด-การไหล (Head-Flow Curves) ของเครื่องสูบน้ำ

2.5.5.3) Net Positive Suction Head ที่ต้องการ (NPSH_r)

การออกแบบเครื่องสูบน้ำหอยโข่งแต่ละเครื่องจะต้องพิจารณาถึง Net Positive Suction Head ที่ต้องการ (NPSH_r) ซึ่งค่านี้จะเป็นฟังก์ชันทั้งกับความเร็วยรอบและอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ ถ้าความดันที่ใบพัดของเครื่องสูบน้ำตกลงหรือต่ำกว่าความดันไอของของเหลวที่ถูกปั๊ม ของเหลวบางส่วนจะการกลายเป็นไอและเกิดฟองอากาศ (Cavitation) ขึ้น การเกิดฟองอากาศนี้จะทำให้เครื่องสูบน้ำเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นกับเครื่องสูบน้ำ

สำหรับตัวอย่าง NPSH_r ต่ำสุดของเครื่องสูบน้ำได้แสดงอยู่บนกราฟเฮด-การไหล ของเครื่องสูบน้ำ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นค่า NPSH_r ต่ำสุดที่เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดฟองอากาศของเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเครื่องสูบน้ำของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จะไม่ทำงานที่จุดหรือใกล้จุดสภาวะการเกิดฟองอากาศ โดยค่า NPSH_r ที่ต้องการต่ำสุดของเครื่องสูบน้ำต้องต่ำกว่า Net Positive Suction Head ที่เกิดจริง (NPSH_a) ในระบบที่ทางเข้าของเครื่องสูบน้ำ ทั้งนี้ NPSH_a ที่เกิดขึ้นจริงตรงทางเข้าของเครื่องสูบน้ำ สามารถคำนวณได้ดังนี้

1. คำนวณหาความดันด้านดูดของเครื่องสูบน้ำ สำหรับระบบวงจรปิดที่มีการเพิ่มแรงดันในวงจรให้วัดที่ทางเข้าของเครื่องสูบน้ำ

2. ลบความดันไอสมบูรณ์ของของเหลวที่อุณหภูมิทำงานออกจากความดันสมบูรณ์ทางด้านดูด

3. ลบออกอีก 2 Psi (13.8 kPa) เพื่อที่จะเตรียมไว้เพื่อสำหรับการเปลี่ยนแปลงไปมาในสภาวะการทำงาน

4. ผลลัพธ์ที่ได้คือ $NPSH_a$ ที่เกิดขึ้นจริงในหน่วย Psi ผลลัพธ์นี้ควรจะถูกแปลงเปลี่ยนไปเป็นความสูงของของเหลว (ft หรือ m)

ค่า $NPSH_a$ ที่เกิดขึ้นจริงควรจะมียูในเอกสารข้อกำหนดรายละเอียดของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้ ถ้าไม่สามารถจัดหาเครื่องสูบน้ำให้เหมาะกับ $NPSH_a$ ที่เกิดขึ้นจริงแล้วต้องทำการเพิ่มค่า $NPSH_a$ ที่เกิดขึ้นจริง สำหรับการพิจารณากราฟ NPSH ตามรายละเอียดที่จุดเฮดและการไหลที่แสดงอยู่บนกราฟควรจะต้องเป็นไปตามเอกสารข้อกำหนดรายละเอียด

2.5.5.4) ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ

สำหรับเครื่องสูบน้ำที่มีขายอยู่ทั่วไปจะถูกออกแบบให้ทำงานได้ที่ความเร็วรอบ 1,750 rpm หรือ 3,500 rpm การคำนวณหาความเร็วรอบเพื่อที่จะกำหนดในรายละเอียดแบบของเครื่องสูบน้ำ ต้องทำการคำนวณความเร็วรอบสูงสุด (N_{max}) และความเร็วรอบจำเพาะ (N_s) โดยความเร็วรอบสูงสุดสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$N_{max} = \frac{(S_s)(NPSH_a)^{3/4}}{290.5 - \dot{Q}^{1/2}} \quad (\text{rpm}) \quad (2.2)$$

โดยที่ S_s = ความเร็วเฉพาะทางด้านดูด (rpm)

$NPSH_a$ = NPSH ที่เกิดขึ้นจริง (mm)

$\dot{Q}$ = อัตราการไหล (L/s)

290.5 = แฟกเตอร์การแปลงหน่วย

จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ พบว่าการเกิดฟองอากาศของเครื่องสูบน้ำหอยโข่งชนิด Single-state, Single- suction สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อ S_s เกินกว่า 5,000 rpm ดังนั้นการคำนวณความเร็วรอบสูงสุดของเครื่องสูบน้ำควรจะใช้ค่า S_s เท่ากับ 4,000 rpm ส่วนความเร็วรอบจำเพาะ (N_s) มีไว้บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ สำหรับการเดินเครื่องให้มีประสิทธิภาพที่สภาวะเฮดและอัตราการไหลใดๆ ค่า N_s ควรจะอยู่ระหว่าง 1,000 – 4,000 rpm สำหรับเครื่องสูบน้ำหอยโข่งชนิด Single-State, Single- Suction โดยการใช้ตามความสัมพันธ์ ดังนี้

$$N_s = 290.5 N \dot{Q}^{1/2} (\Delta H)^{3/4} \quad (2.3)$$

โดยที่ N = ความเร็วรอบ (1,750 หรือ 3,500 rpm)

$\dot{Q}$ = อัตราการไหล (L/s)

ΔH = เฮดที่ได้ (mm)

290.5 = แฟกเตอร์การแปลงหน่วย

ค่า N_s เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณที่ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ (N) และจากผลการเปรียบเทียบกับ N_{max} ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ (N) ที่มีผลลัพธ์เป็น $N_s < N_{max}$ ควรจะ

ถูกเลือกใช้ แต่ถ้ามีเครื่องสูบน้ำ 2 ตัว ที่มีค่าความเร็ว $N_s < N_{max}$ ควรจะเลือกใช้เครื่องสูบน้ำที่มีค่า N_s ใกล้เคียง 2,500 rpm มากที่สุด ทั้งนี้ ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ (N) ที่ต้องการควรจะถูกกำหนดอยู่ในเอกสารข้อกำหนดรายละเอียดของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

2.5.5.5) มอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ

มอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำสามารถเลือกได้โดยใช้ เเฮต อัตราการไหล และ ความเร็วรอบของปั๊มที่ต้องการตามที่ได้กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้ นอกจากนี้ ยังต้องพิจารณาถึง สภาพแวดล้อมการเดินเครื่อง และกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ สำหรับสภาพแวดล้อมการเดินเครื่องต้องพิจารณาอุณหภูมิแวดล้อม การติดตั้งภายในหรือภายนอกห้องเครื่อง และความเป็นไปได้ที่จะเกิดไฟไหม้ องค์ประกอบเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมที่สำคัญต้องถูกกำหนดอยู่ในเอกสารข้อกำหนดรายละเอียดของเครื่องสูบน้ำ ส่วนระบบไฟฟ้าที่ต้องการต้องระบุรายละเอียด กำลังไฟฟ้า แรงดัน และเฟส ของมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำ มอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำแบบเฟสเดียวควรทำงานที่แรงดันสูงสุด 230 V_{ac} กับ 115 V_{ac} เพื่อที่จะลดการสูญเสียความร้อนของขดลวดและสายไฟ แต่ถ้าเป็นกำลังไฟฟ้าเป็น 3 เฟส จะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้กับสถานที่ติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 hp (2.2 kW) ขึ้นไป ควรจะใช้เดินเครื่องด้วยกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ทั้งนี้ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับมอเตอร์ขับเครื่องสูบน้ำต้องระบุรายละเอียดและกำหนดอยู่ในข้อกำหนดรายละเอียดของเครื่องสูบน้ำ

ทั้งนี้ ในการคำนวณหาขนาดมอเตอร์สามารถคำนวณโดยใช้สมการ ดังนี้

$$kW = \frac{Q \times TDH}{102 \eta_p} \quad (2.4)$$

โดยที่ kW = ขนาดกิโลวัตต์ของมอเตอร์
 Q = อัตราการไหลเป็น (ลิตร/วินาที)
 TDH = เเฮตรวมสุทธิ (เมตร)
 η_p = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

2.5.5.6) วาล์วต่างๆ

การพิจารณาในการเลือกใช้วาล์วและตำแหน่งของวาล์วต้องพิจารณาอย่างละเอียดเป็นพิเศษเพื่อให้เกิดความเหมาะสม สาเหตุที่ต้องพิจารณาอย่างละเอียดในการเลือกใช้เพราะว่า ไม่เพียงแต่มีผลต่อประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบเท่านั้น แต่มีผลต่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ และคนด้วยซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการออกแบบระบบ โดยข้อกำหนดรายละเอียดที่ต้องการสำหรับวาล์วบางชนิด ที่ใช้ในการออกแบบระบบประกอบด้วยดังต่อไปนี้ แต่ทั้งนี้ ก็ไม่ได้จำกัดอยู่แค่นี้การพิจารณาทางวิศวกรรมควรจะใช้กำหนดสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องหรือพารามิเตอร์ที่ยังไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วย

1. ไอโซเลชันวาล์ว (Isolation Valves) หรือวาล์วเปิด-ปิด (Shutoff Valves) ปกติแล้วจะใช้บอลวาล์ว (Ball Valves) หรือเกตวาล์ว (Gate Valves) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งควรถูกติดตั้งตรงอุปกรณ์ประกอบส่วนต่างๆ หรือตรงส่วนที่คาดว่าจะทำการปิดกั้นแยกออกเพื่อการซ่อมบำรุงในอนาคตโดยไม่ต้องหยุดการเดินระบบหรือการระบายทิ้งและการเติมใหม่ ไอโซเลชันวาล์วต้องไม่ถูกติดตั้งตรงตำแหน่งที่มีการแยกอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ออกจากวาล์วลดความดันหรืออุณหภูมิ เนื่องจากวาล์วลดความดันใช้เพื่อป้องกันการเกิดความดันมากเกินไปที่กำหนดไว้



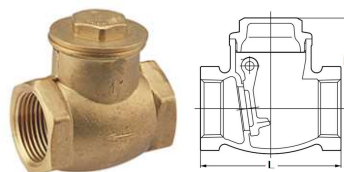
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างไอโซเลชันวาล์ว (Isolation Valves)

2. วาล์วระบายแรงดัน (Pressure Relief Valves) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยหน้าที่ของวาล์วระบายแรงดันจะยอมให้น้ำร้อนหรือไอน้ำไหลออก เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบเนื่องจาก แผงรับรังสีอาทิตย์ทำอุณหภูมิและความดันเกินค่าสูงสุดที่กำหนด การตั้งค่าวาล์วระบายแรงดันต้องให้ต่ำกว่าค่าความดันสูงสุดที่ยอมได้ของแผงรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งกำหนดได้จากเอกสารข้อมูลของผู้ผลิต สำหรับการติดตั้งส่วนใหญ่อยู่ที่ 75 psi_g (517 kPa_g) ซึ่งเป็นค่าที่เพียงพอแล้ว โดยความสามารถในการระบายแรงดันของวาล์วต้องมากกว่าความสามารถในการผลิตพลังงานสูงสุดของแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ภายใต้สภาวะหยุดนิ่ง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางทางเข้าของวาล์วไม่ควรจะน้อยกว่า 3/4 นิ้ว (20 mm) เพื่อที่จะให้เพียงพอต่อการไหลผ่านวาล์ว



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างวาล์วระบายแรงดัน (Pressure Relief Valves)

3. เช็ควาล์ว (Check Valve) ในการออกแบบเช็ควาล์วใช้เพื่อให้เกิดการไหลในทิศทางเดียว และเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศไหลกลับจากถังเก็บน้ำร้อนเข้าสู่วงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ เนื่องจากอาจเกิดปรากฏการณ์เทอร์โมไซฟอน (Thermosiphoning Forces) สำหรับท่อแนวตั้งแนะนำให้ใช้เช็ควาล์วแบบสปริง (Spring Check Valve) หรือแบบน้ำหนัก (Weighted Check Valve) เนื่องจากมีโอกาสเกิดการรั่วน้อยกว่า ส่วนสวิงเช็ควาล์ว (Swing Check Valve) สามารถติดตั้งบนท่อนวนนอนได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเช็ควาล์ว (Check Valve)

4. วาล์วปรับการไหล (Flow Setting Valve) ควรติดตั้งตรงทางออกของแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ เพื่อที่จะใช้ปรับสมดุลการไหลผ่านชุดแผงรับรังสีอาทิตย์

5. วาล์วระบาย (Drain Valve) ควรอยู่ที่ปลายสุดของท่อรวมที่อยู่ต่ำสุด เพื่อที่จะสะดวกต่อการระบายทิ้งของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์

6. วาล์วระบายอากาศ (Air Vent Valve) วาล์วระบายอากาศอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 จะระบายอากาศออกจากจุดสูงสุดของวงจรโดยอัตโนมัติซึ่งจุดสูงสุดนี้ปกติอากาศจะถูกดักไว้ ทุกจุดสูงสุดของวงจรต้องมีวาล์วระบายอากาศ ทั้งนี้ การระบายอากาศมีความจำเป็นที่สุดที่ตรงทางออกของแต่ละแถวของชุดแผงรับรังสีอาทิตย์เพื่อที่จะกำจัดอากาศในวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ออกไป สำหรับวาล์วระบายอากาศด้วยมืออาจจะใช้ได้เพื่อที่จะช่วยลดต้นทุน แต่จะต้องดูแลจนกระทั่งวงจรระบายเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างวาล์วระบายอากาศ (Air Vent Valve)

2.5.5.7) ฉนวนกันความร้อน

ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องหุ้มฉนวนให้กับ ถังเก็บน้ำร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และระบบท่อ โดยฉนวนต้องเหมาะสมสำหรับการใช้งานและตำแหน่งในแต่ละส่วน รวมทั้งยังต้องมีการป้องกันการเสื่อมหรือสึกกร่อนจากสภาพแวดล้อม ฝาดกรอบและเทปกั้นน้ำสามารถป้องกันฉนวนที่ติดตั้งอยู่ภายนอกอาคารเสื่อมหรือสึกกร่อนจากรังสีอัลตราไวโอเลตและสภาพอากาศ ซึ่งลักษณะของฉนวนต้องมั่นคงแข็งแรงหลีกเลี่ยงการเกิด การหย่อน การหลุดลอกออกจากอุปกรณ์ และการเปิดตรงที่รอยต่อ

1. วัสดุฉนวนและเกณฑ์ในการเลือก

วัสดุที่ใช้ทำฉนวนที่เหมาะสมจะมีทั้งเป็นแบบโครงสร้าง Open-Cell และ Close-Cell ที่มีลักษณะเป็นรูปโฟม โดยมีวัสดุพื้นฐานประกอบด้วย Fiberglass Cellular glass Polyvinyl chloride (PVC) Polyethylene Polyurethane และอื่นๆ ซึ่งรูปร่างลักษณะของโฟมที่เหมาะสม ได้แก่ แผ่นบาง แผ่นกระดาน และเป็นรูปทรงตามอุปกรณ์ สำหรับฉนวนแบบโครงสร้าง Close-Cell มีข้อดีคือไม่เป็นตัวดูดซับไม่เหมือนกับฉนวนแบบ Open-Cell ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียคุณสมบัติของการเป็นฉนวนเมื่อเปียก (เมื่อแห้งคุณสมบัติต่างๆ ก็จะกลับคืนสู่ปกติ) สำหรับการใช้งานในระบบผลิต น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เกณฑ์ที่สำคัญเพื่อการคัดเลือกฉนวนมีดังนี้

- ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อผิวภายในได้รับความร้อนสูงถึงประมาณ 107 °C (235 °C กรณีใช้แผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดสุญญากาศ)

- ค่าการนำความร้อน (K) มีค่าน้อยกว่า 0.04 W/m °C ที่ 65.5 °C

- ต้องไม่ติดไฟง่าย

- สะดวกในการใช้กับท่อ ข้อต่อ วาล์ว และถังเก็บน้ำร้อน

- กรณีใช้ภายนอกอาคารต้องทนทานต่อ ฝน แสงอาทิตย์ และการกระทบสัมผัสจากคน ด้วยเหตุนี้จึงอาจต้องทำฝาดครอบป้องกันฉนวนด้วย

2. คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนที่ต้องการ

สำหรับความหนาของฉนวนกันความร้อนหุ้มท่อทั้งหมด ควรจะมี ความเป็นฉนวนอย่างน้อยเท่ากับ $R-0.7 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ซึ่งเทียบเท่าความหนาเท่ากับ 1 นิ้ว ถ้าค่า $K \leq 0.036 \text{ W/m }^{\circ}\text{C}$ รอยต่อตามแนวแกนและแนวเส้นรอบวงควรจะเป็นแบบเกยทับกัน ระบบท่อภายในอาคารควรจะครอบด้วย PVC อลูมิเนียม หรือสารเคลือบป้องกันการถลอก ส่วนท่อนอกอาคารทั้งหมดต้องครอบด้วย PVC ด้านรังสี UV หรือฝาครอบโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งรอยต่อฉนวนทุกจุดภายในฝาครอบต้องวางเกยทับกันและพันทับด้วยผ้าเทปหรืออุดด้วยสารฉนวนเพื่อที่จะป้องกันการชื้นเข้าไปในฉนวน รอยต่อของฉนวนควรจะต้องจัดให้อยู่ข้างใต้ของท่อเพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าตัวจับยึดท่อจะต้องจับยึดท่อทางด้านนอกของฝาครอบ และต้องจัดหาฉนวนแข็งหรือแผ่นรองโลหะไว้รองฉนวนตรงตัวจับยึดท่อเพื่อป้องกันการฉีกขาด ส่วนฉนวนสำเร็จรูปสำหรับข้อต่อต่างๆ เช่น ข้องอ ข้อต่อสามทาง หากฉนวนสำเร็จรูปมีความเหมาะสมนำมาใช้งานก็ควรจะถูกนำมาใช้งานเป็นดีที่สุด แต่ถ้าไม่เหมาะสมก็ให้หุ้มด้วยฉนวนแผ่นที่มั่นคงแข็งแรง ในระบบท่อที่มีบอลลวล์สามารถหุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของฉนวนและทำช่องเปิดไว้สำหรับที่จะจับหมุนได้ ส่วนวาล์วอื่นๆ สามารถทำฉนวนป้องกันด้วยฉนวนแผ่นที่มั่นคงแข็งแรงภายในฝาครอบ



รูปที่ 2.15 ระบบท่อน้ำร้อนภายนอกอาคารที่หุ้มฉนวนพร้อมฝาครอบโลหะ

บทที่ 3 การออกแบบระบบส่งจ่ายน้ำร้อน

บทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการออกแบบรายละเอียดของระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานสำหรับอาคาร ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการจัดทำระบบให้สามารถจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานตามอุณหภูมิที่ต้องการได้ตลอดเวลา โดยวิศวกรหรือผู้ออกแบบระบบฯ จะต้องดำเนินการตามวิธีการออกแบบระบบส่งจ่ายน้ำร้อนซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การจัดทำผังไดอะแกรม

ในการออกแบบรายละเอียดระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานสำหรับอาคาร จะเริ่มด้วยการจัดทำผังไดอะแกรมระบบท่อส่งน้ำร้อนแนวดิ่ง (Riser Diagram) และตำแหน่งเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ หลังจากได้ผังไดอะแกรมระบบแล้วจะทำให้ทราบถึงลักษณะและตำแหน่งของอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ของระบบโดยมีรายละเอียดในการพิจารณา ดังนี้

3.1.1) ผังไดอะแกรมควรเป็นลักษณะโครงร่างระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานโดยรวม ซึ่งได้มีการผนวกรวมเข้ากับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบพลังงานเสริมที่ช่วยในการผลิตน้ำร้อน

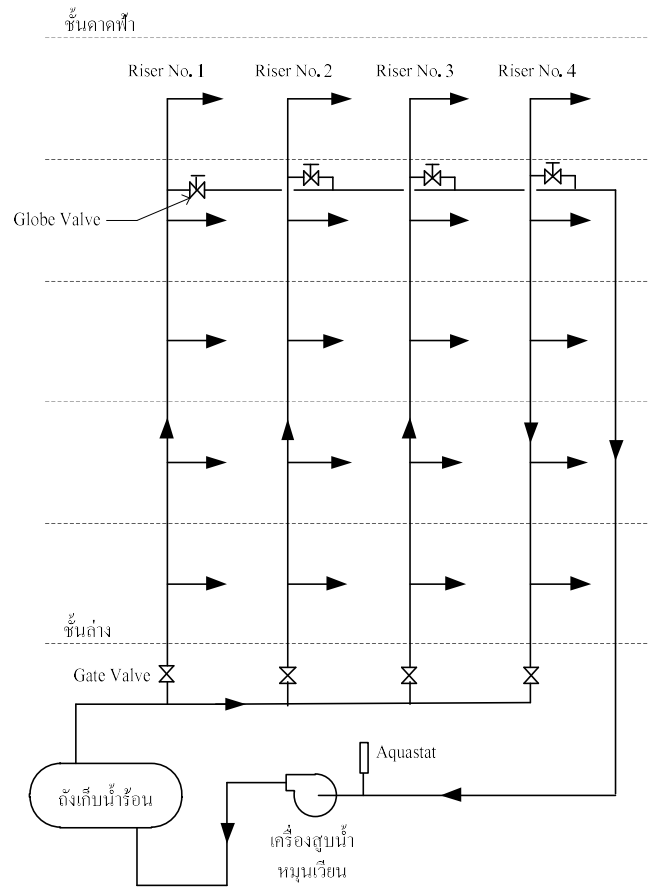
3.1.2) มีรายละเอียดการเดินระบบท่อและกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ประกอบระบบท่อต่างๆ เช่น วาล์ว วาล์วระบายอากาศ และวาล์วปรับอัตราการไหลหรือความดัน เป็นต้น

3.1.3) มีรายละเอียดของตำแหน่งของหัววัดและเครื่องมือตรวจวัดต่างๆ

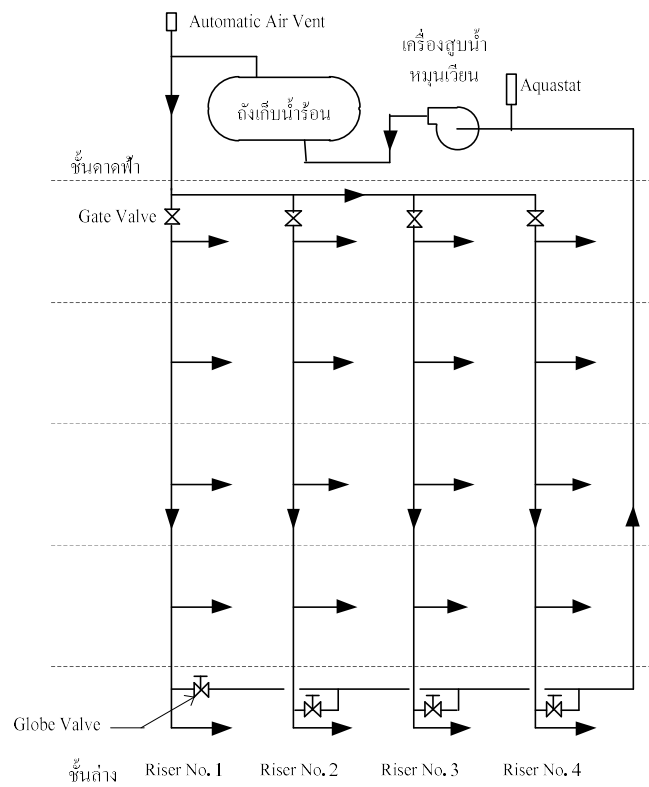
เมื่อมีการจัดทำไดอะแกรมของระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานเรียบร้อยแล้ว รายละเอียดเหล่านี้ก็กลายเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบรายละเอียดทางกายภาพของระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานสำหรับอาคาร โดยไดอะแกรมที่ได้ต้องเป็นไดอะแกรมปรับปรุงล่าสุดของขั้นตอนนี้เพื่อช่วยในการพิจารณาตัดสินใจสำหรับการออกแบบระบบ ซึ่งข้อมูลการออกแบบระบบที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการเขียนแบบการติดตั้งระบบ ดังนั้นการจัดทำไดอะแกรมจึงเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบที่จะถูกนำไปใช้สำหรับการติดตั้ง การเดินระบบ และการบำรุงรักษาต่อไป

3.2 การออกแบบระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน

ระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานสำหรับอาคาร สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบจ่ายขึ้น (Up-Feed) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และแบบจ่ายลง (Down-Feed) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และเนื่องจากในการส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานจะมีน้ำร้อนบางส่วนค้างอยู่ภายในท่อในขณะที่ไม่มีการใช้น้ำร้อนจะทำให้ น้ำร้อนในส่วนนี้เย็นลง ดังนั้นจึงต้องให้มีการหมุนเวียนน้ำร้อนเหล่านี้กลับมาสู่ระบบผลิตน้ำร้อนใหม่อีกครั้ง เพื่อให้ระบบมีน้ำร้อนตามอุณหภูมิที่ต้องการอยู่เสมอ



รูปที่ 3.1 ระบบส่งจ่ายน้ำร้อนแบบจ่ายขึ้น

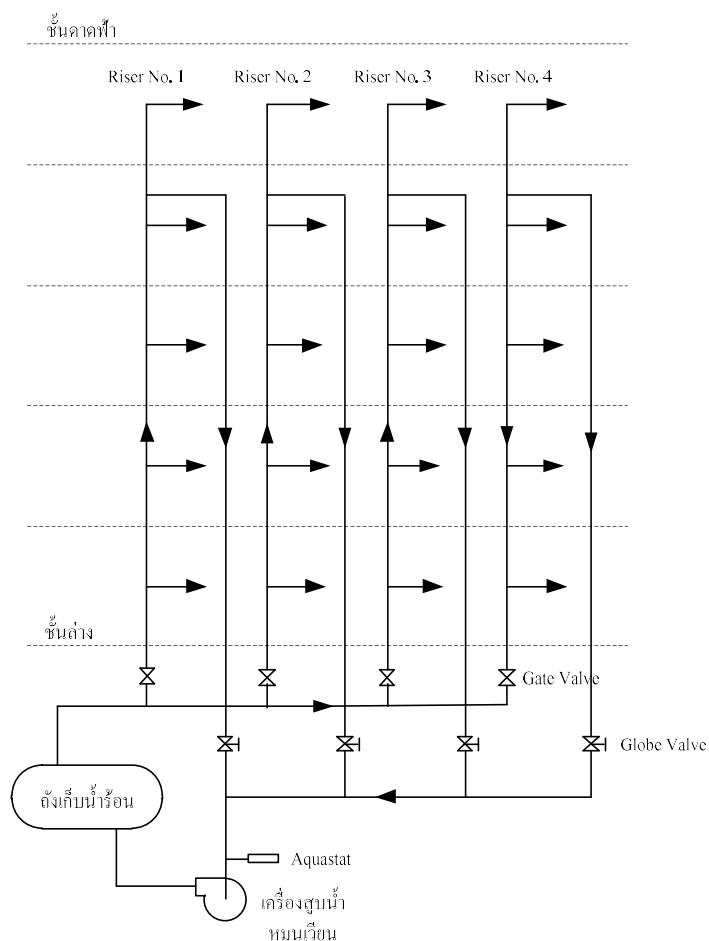


รูปที่ 3.2 ระบบส่งจ่ายน้ำร้อนแบบจ่ายลง

รูปที่ 3.1 แสดงถึงระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานแบบจ่ายขึ้นของอาคารหลายชั้น โดยมีระบบผลิตน้ำร้อน ถังเก็บน้ำร้อน เครื่องสูบน้ำหมุนเวียน และตัวควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน (Aquistat) ติดตั้งอยู่ด้านล่างของอาคาร ทั้งนี้ เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนจะทำงานเมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนได้เย็นลงถึงจุดที่ตั้งเอาไว้ และจะหยุดทำงานเมื่อน้ำร้อนในท่อได้อุณหภูมิน้ำร้อนตามที่กำหนดไว้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำทั้งวงจรได้รับการแทนที่ด้วยน้ำร้อนใหม่เสมอ นอกจากนี้ จะเห็นว่าท่อหมุนเวียนน้ำร้อนอยู่ต่ำกว่าเครื่องสูบน้ำชั้นบนสุดของอาคาร ซึ่งที่เป็นเช่นนี้ก็เพื่อให้อากาศภายในท่อสามารถระบายออกทางเครื่องสูบน้ำขณะที่มีการใช้น้ำร้อน แต่ก็มีผู้ออกแบบบางท่านอาจจะไม่ใช้วิธีไล่อากาศแบบนี้ เพราะอาจทำให้เกิดเสียงที่เครื่องสูบน้ำในขณะที่เริ่มเปิดใช้น้ำร้อนได้ ในกรณีเช่นนี้อาจใช้วิธีต่อท่อหมุนเวียนน้ำร้อนในระดับเพดานเหนือเครื่องสูบน้ำชั้นบนสุด แต่ต้องติดตั้งวาล์วระบายอากาศอัตโนมัติ (Automatic Air Vent Valve) ในท่อส่วนบนสุดด้วย

รูปที่ 3.2 แสดงถึงระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานแบบจ่ายลงของอาคารหลายชั้น โดยมีระบบผลิตน้ำร้อน ถังเก็บน้ำร้อน เครื่องสูบน้ำหมุนเวียน และตัวควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน (Aquistat) ติดตั้งอยู่ด้านบนของอาคาร ทั้งนี้ การทำงานของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนจะมีการควบคุมเหมือนกับแบบจ่ายขึ้นดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น และจำเป็นต้องติดตั้งวาล์วระบายอากาศอัตโนมัติในท่อส่วนบนสุดเพื่อไล่อากาศออกจากระบบท่อ

แต่ในบางครั้งลักษณะของอาคารทำให้ไม่สามารถที่จะเดินท่อหมุนเวียนน้ำร้อนในแนวระดับได้ในกรณีเช่นนี้แต่ละท่อแนวดิ่งก็ต้องมีท่อไหลวนกลับของตัวเองดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายในการเดินท่อน้ำร้อนจะสูงขึ้นแต่ก็มีความจำเป็นที่ต้องทำ



รูปที่ 3.3 ระบบส่งจ่ายน้ำร้อนแบบจ่ายขึ้นที่มีท่อไหลวนกลับสำหรับแต่ละท่อแนวดิ่ง

นอกจากนี้ จะสังเกตว่าในแต่ละท่อแนวดิ่งจะมี Globe Valve ติดตั้งอยู่สำหรับการปรับความดันในระบบท่อน้ำร้อนให้เกิดความสมดุล เพื่อให้มีการหมุนเวียนน้ำร้อนในแต่ละท่อแนวดิ่งอย่างเหมาะสม อีกอย่างการเลือกขนาดเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนอย่างถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะการเลือกขนาดที่ใหญ่เกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าและเงินลงทุนสูงขึ้น ทั้งนี้ ในการคำนวณเกี่ยวกับระบบหมุนเวียนน้ำร้อนมีหลักการที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1. ระยะเวลาในการหมุนเวียนน้ำร้อนขึ้นอยู่กับ ปริมาณน้ำที่ค้างอยู่ภายในท่อ และขนาดของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนที่ใช้

2. ขนาดของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนจะต้องมีขนาดพอเหมาะกับการหมุนเวียนน้ำร้อนครบวงจรท่อภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งระยะเวลานี้ขึ้นอยู่กับความเป็นจริงที่ว่าน้ำร้อนจะค่อยๆ สูญเสียความร้อนให้แก่บรรยากาศโดยรอบ

สำหรับการใช้สอยน้ำร้อนทั่วไป เช่น ฝักบัวอาบน้ำ อ่างล้างมือ เป็นต้น มักจะจ่ายมาตามท่อด้วยอุณหภูมิ 60 °C แล้วจึงมาทำการผสมกับน้ำเย็นที่จุดต้องการใช้งาน ซึ่งอุณหภูมิที่ผสมแล้วจะอยู่ระหว่าง 35 – 40 °C ขึ้นอยู่กับความพอใจของผู้ใช้ ทั้งนี้ ปกติแล้วอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ส่งจ่ายไม่ควรต่ำกว่า 50 °C นอกจากว่าจะมีใช้น้ำร้อนแบบผสมเสร็จซึ่งจะจ่ายน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 40 °C ให้กับระบบ ถึงแม้การจ่ายน้ำร้อนอุณหภูมิสูงจะใช้ปริมาณน้ำร้อนน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำซึ่งจะทำให้ใช้ขนาดท่อเล็กลง แต่การสูญเสียความร้อนก็มีอัตราสูงกว่าทำให้เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้นโดยไม่จำเป็น ดังนั้นขอแนะนำให้ระบบทั่วไปมีอุณหภูมิประมาณ 60 °C ยกเว้นระบบที่มีอุปกรณ์บางชนิดที่จำเป็นต้องใช้น้ำร้อนอุณหภูมิสูงเพื่อทำความสะอาด เช่น เครื่องล้างขาม เครื่องซักผ้า เป็นต้น ซึ่งควรจะต้องจัดหาระบบแยกออกไปต่างหาก

3.3 การคำนวณหาขนาดของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อน

เนื่องจาก ระยะเวลาในการหมุนเวียนน้ำร้อนขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ค้างอยู่ภายในท่อ และขนาดของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนจะต้องมีขนาดพอเหมาะกับการทำให้น้ำร้อนหมุนเวียนครบวงจรภายในระยะเวลาที่กำหนด ตารางที่ 3.1 แสดงถึงปริมาตรน้ำภายในท่อและอัตราการเย็นลงของท่อทองแดง Type L ขนาดต่างๆ ซึ่งหุ้มด้วยฉนวนที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับฉนวนใยแก้ว (Fiberglass) หนา 12.5 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) ที่อุณหภูมิน้ำร้อน 60 °C อุณหภูมิโดยรอบ 21 °C

ในทางปฏิบัติ การคำนวณการหมุนเวียนของน้ำร้อนในแต่ละส่วนของท่อโดยละเอียดย่อมเป็นการเสียเวลามากวิศวกรออกแบบควรพยายามหลีกเลี่ยง โดยให้ทำการคำนวณหาอัตราหมุนเวียนน้ำร้อนจากการหมุนเวียนของน้ำร้อนในระบบทั้งหมด ซึ่งผลที่ได้จะใกล้เคียงกับการคำนวณหาการหมุนเวียนของน้ำร้อนในแต่ละส่วนของท่อแต่จะมีความง่ายกว่า

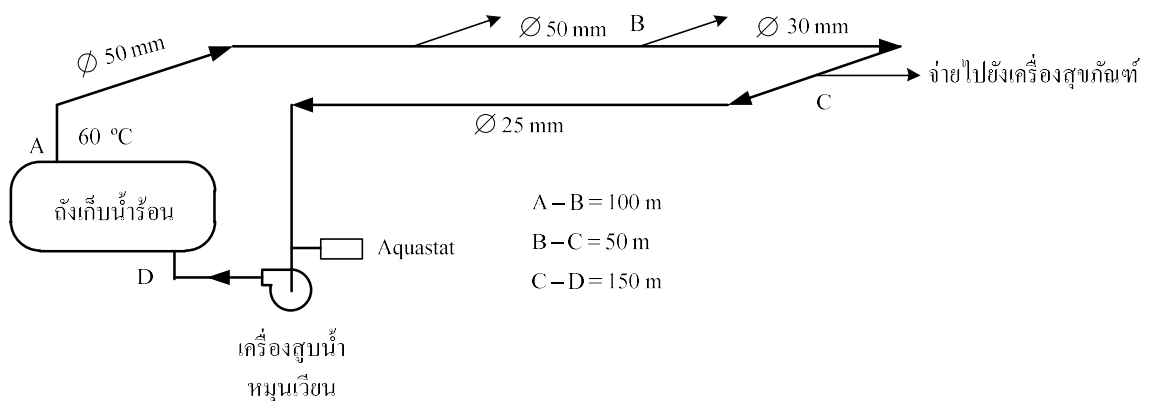
ตารางที่ 3.1 ปริมาณน้ำภายในท่อ ความร้อนสูญเสีย และอัตราการเย็นลงของท่อทองแดง Type L ขนาดต่างๆ

ขนาดท่อ (มิลลิเมตร)	ปริมาณน้ำภายในท่อ (ลิตร/เมตร)	ความร้อนสูญเสีย (วัตต์/เมตร)	อุณหภูมิลดลง (°C/ชั่วโมง)
15	0.15	7.9	44.4
20	0.31	9.8	27.2
25	0.55	11.5	18.3
30	0.82	13.4	13.9
40	1.15	15.2	11.7
50	2.00	19.2	8.3
65	3.06	21.7	5.6
80	4.39	25.7	5.0
90	5.93	29.1	4.2
100	7.73	32.5	3.6

ที่มา: “การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร”, ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์

ตัวอย่างที่ 3.1

ระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานระบบหนึ่งดังแสดงในรูปข้างล่าง โดยกำหนดให้อุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการใช้ในระบบต้องอยู่ระหว่าง 55 °C ถึง 60 °C จงหาอัตราหมุนเวียนน้ำร้อนและ Head ของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนในระบบนี้



วิธีทำ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำร้อนที่อยู่ห่างจุด A จะค่อยๆ เย็นลง ดังนั้นจะได้ว่าอุณหภูมิที่จุด C ซึ่งเป็นท่อแยกสุดท้ายต้องมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 55 °C สมมติให้ท่อน้ำเป็นท่อทองแดง Type L จากตารางที่ 3.1 จะได้ว่า

$$\text{ปริมาณน้ำภายในท่อ } AB = 2 \times 100 = 200 \quad \text{ลิตร}$$

$$\text{ปริมาณน้ำภายในท่อ } BC = 0.82 \times 50 = 41 \quad \text{ลิตร}$$

$$\text{ปริมาณน้ำภายในท่อ } CD = 0.55 \times 150 = 82.5 \quad \text{ลิตร}$$

ปริมาตรน้ำภายในท่อทั้งหมด = $200 + 41 + 82.5 = 323.5$ ลิตร
 สำหรับจุดสุดท้ายที่ท่อแยก C อุณหภูมิจะลดลง $13.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ /ชั่วโมง

$$\text{ถ้าอุณหภูมิลดลงเพียง } 5\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ จะใช้เวลา} = \frac{(5)(60)}{13.9} = 21.58 \text{ นาที}$$

$$\text{ฉะนั้นอัตราการหมุนเวียนน้ำร้อน} = \frac{323.5}{21.58} = 15 \text{ ลิตร/นาที}$$

ดังนั้นอัตราการหมุนเวียนน้ำร้อนอย่างต่ำ คือ 15 ลิตร/นาที

ในการหา Head ของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนให้คิดว่า ความยาวสมมูลอันเนื่องมาจาก ข้ออ ข้อต่อ วาล์ว และอื่นๆ มีค่าประมาณ 30% ของความยาวจริงของท่อ

จากรูปที่ 2.7 เมื่ออัตราการหมุนเวียนน้ำร้อน 15 ลิตร/นาที (0.25 ลิตร/วินาที)

สำหรับท่อขนาด 50 มม. มีความดันลดน้อยมากให้ละทิ้งได้

สำหรับท่อขนาด 30 มม. มีความดันลด 0.5 เมตร/100 เมตร

สำหรับท่อขนาด 25 มม. มีความดันลด 1.5 เมตร/100 เมตร

$$\text{ฉะนั้นมีความดันลดทั้งหมด} = \frac{(0.5 \times 50) + (1.5 \times 150)}{100} \times 1.3 = 3.3 \text{ เมตร}$$

ดังนั้นขนาด Head อย่างต่ำของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อน คือ 3.3 เมตร

.....

3.4 การหาขนาดของท่อน้ำร้อน

การหาขนาดของท่อจ่ายน้ำร้อนขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้ของความต้องการใช้น้ำร้อนสูงสุดและความเร็วของน้ำภายในท่อ ซึ่งในการหาขนาดท่อสามารถใช้วิธีการและหลักการเดียวกันกับระบบผลิตน้ำร้อนที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แต่การหาขนาดของท่อน้ำร้อนไหลวนกลับไม่มีวิธีการหาที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการวิเคราะห์โดยละเอียดเช่นนี้ย่อมเป็นการเสียเวลามาก วิศวกรออกแบบควรจะพยายามหลีกเลี่ยง แต่จากประสบการณ์จะช่วยให้วิศวกรออกแบบรู้ว่าในระบบลักษณะไหนควรเลือกใช้ท่อน้ำร้อนไหลวนกลับขนาดเท่าใด ซึ่งจะเป็นการช่วยให้สามารถเลือกขนาดท่อน้ำร้อนได้อย่างเหมาะสมสำหรับการเลือกขนาดท่อน้ำร้อนไหลวนกลับขอแนะนำหลักการปฏิบัติอย่างกว้างๆ ดังนี้

- ถ้าขนาดท่อเมนของน้ำร้อนไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ท่อเมนของน้ำร้อนไหลวนกลับควรมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของท่อเมนจ่ายน้ำร้อน

- ถ้าขนาดท่อเมนของน้ำร้อนเกิน 50 มิลลิเมตร ท่อเมนของน้ำร้อนไหลวนกลับควรมีขนาดเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของท่อเมนจ่ายน้ำร้อนเล็กน้อย

โดยปกติแล้วขนาดท่อน้ำร้อนไหลวนกลับควรมีขนาดเล็กสุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายของท่อต่ำที่สุด แต่ถ้าขนาดท่อเล็กเกินไปจะทำให้เกิด friction drop มาก ทำให้ต้องใช้เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนที่มีขนาดโตเกินความจำเป็น และถ้าท่อน้ำร้อนมีขนาดใหญ่อัตราการสูญเสียความร้อนก็จะมีมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ทำความร้อนให้แก่น้ำและเสียค่าใช้จ่ายท่อเกินความจำเป็น ดังนั้นการออกแบบท่อน้ำไหลวนกลับจึงเป็นการชั่งน้ำหนักระหว่างตัวประกอบดังนี้

1. ราคาของระบบที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้ขนาดท่อใหญ่เกินไป
2. ค่าพลังงานที่สูญเสียเพิ่มขึ้นจากการใช้ท่อขนาดใหญ่

3. ราคาที่ลดลงจากการใช้ท่อขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับพลังงานที่เสียเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจาก friction drop ซึ่งทำให้ต้องใช้เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนขนาดใหญ่ขึ้น

เมื่อเลือกขนาดของท่อน้ำร้อนไหลวนกลับได้แล้ว ก็สามารถคำนวณหาขนาดของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนได้ตามวิธีการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 สำหรับวิศวกรออกแบบที่ยังไม่มีประสบการณ์มากนักก็อาจจะไม่รู้ว่าขนาดของท่อน้ำร้อนไหลวนกลับอย่างไร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนที่มีอัตราการไหลและเฮดเท่าใด มีความเหมาะสมในทางปฏิบัติหรือไม่ โดยมีข้อเสนอแนะเพื่อการตรวจสอบอย่างกว้างๆ คือ ควรจัดให้มีการหมุนเวียนน้ำร้อนประมาณ 3.8 ลิตร/นาที่ ต่อจำนวนเครื่องสุขภัณฑ์ 20 ชุด ถ้าระบบส่งจ่ายน้ำร้อนมีท่อตั้งที่ถูกต้องวางอย่างเป็นระเบียบสำหรับการจ่ายน้ำร้อนให้แก่ทุกๆ ชั้นของอาคาร ก็อาจจะใช้ข้อมูลในตารางที่ 3.2 สำหรับการตรวจสอบขนาดของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนได้

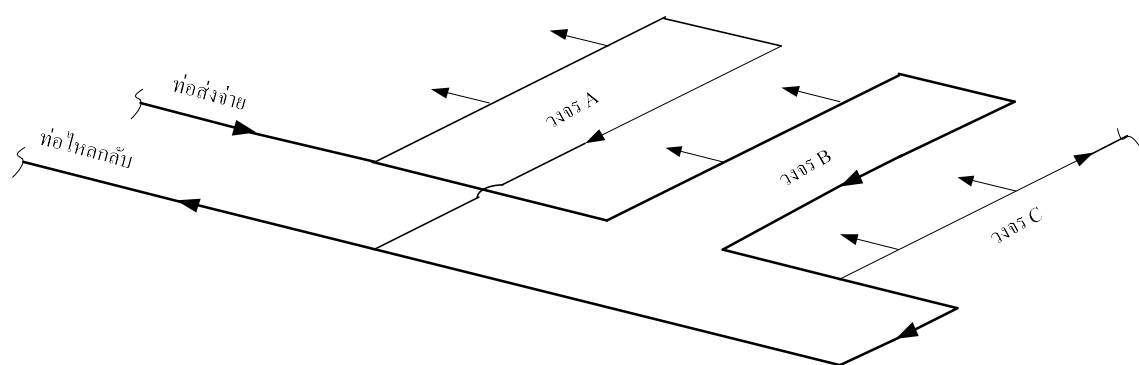
ตารางที่ 3.2 อัตราการหมุนเวียนน้ำร้อนที่แนะนำสำหรับท่อแนวตั้งขนาดต่างๆ

ขนาดของท่อแนวตั้ง (มิลลิเมตร)	อัตราการหมุนเวียนน้ำร้อน (ลิตร/นาที่)
20 ถึง 25	1.9
30 ถึง 40	3.8
50 ขึ้นไป	7.6

ที่มา: “การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร”, ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์

3.5 การพิจารณาในการออกแบบระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน

ระบบท่อส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานสำหรับแต่ละอาคาร จะขึ้นอยู่กับลักษณะตำแหน่งของเครื่องสุขภัณฑ์ที่ใช้น้ำร้อน ซึ่งมีทั้งลักษณะที่รวมกันอยู่เป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบ และกระจายอยู่ห่างกันออกไป จึงทำให้ท่อหมุนเวียนน้ำร้อนจำเป็นต้องมีวงจรหรือท่อแยกไหลทางออกไปด้วย โดยลักษณะเช่นนี้ การเดินระบบท่อแยกที่ใช้กันทั่วไปอาจแบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะการเดินระบบท่อส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ

- แบบวงจร A มีลักษณะท่อแยกออกจากท่อเมนส่งจ่ายน้ำ แล้ววนกลับมายังท่อเมนไหลวนกลับ ซึ่งเป็นวงจรที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยขนาดท่อภายในวงจรจะได้รับการออกแบบให้มีขนาดเพียงพอต่อการจ่ายน้ำให้แก่เครื่องสุขภัณฑ์ที่อยู่ในวงจรเท่านั้น จึงทำให้เลือกขนาดท่อเมนและท่อในวงจรได้เล็กลงตามความจำเป็น ซึ่งจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสำหรับท่อลดลงตามขนาดของท่อด้วย

- แบบวงจร B มีลักษณะการเดินท่อเมนตรงไปยังเครื่องสุขภัณฑ์ที่อยู่แยกออกไป และใช้เป็นท่อเมนน้ำร้อนไหลวนกลับด้วย การเดินท่อลักษณะเช่นนี้จะต้องใช้ขนาดท่อเมนเท่าเดิมตลอดความยาวของวงจรทำให้เสียค่าใช้จ่ายสำหรับท่อมามาก และเกิด friction drop เพิ่มขึ้นในระบบท่อนี้ ซึ่งจะส่งผลทำให้ขนาดของเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียนใหญ่ขึ้นและเสียพลังงานเพิ่มขึ้นด้วย แต่แบบนี้มีข้อดีกว่าแบบวงจร A ในด้านการหมุนเวียนน้ำร้อนเพราะการสมดุลระบบจะทำได้ง่ายกว่า โดยเฉพาะระบบท่อนขนาดใหญ่และมีหลายวงจรที่ซึ่งทำการสมดุลได้ยาก

- แบบวงจร C มีลักษณะการเดินท่อส่งจ่ายอย่างเดียวไม่มีท่อไหลวนกลับ ซึ่งแบบนี้จะเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดแต่จะต้องเสียเวลาในการรอน้ำร้อน เพราะว่าต้องปล่อยน้ำเย็นที่ค้างอยู่ภายในท่อออกให้หมดเสียก่อน และไม่ควรจะใช้ท่อแยกแบบนี้ถ้าเครื่องสุขภัณฑ์อยู่ห่างออกไปเกิน 10 เมตร ทั้งนี้ ก็ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการรอน้ำร้อนที่ผู้ออกแบบและผู้ใช้งานจะยอมรับได้

สำหรับการออกแบบระบบท่อส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานสำหรับอาคารทั่วไป มักจะประกอบด้วยวงจรและท่อแยกดังกล่าวข้างต้นรวมอยู่ในระบบเดียวกัน ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาตำแหน่งและระยะห่างของเครื่องสุขภัณฑ์ตามความเหมาะสม โดยให้มีค่าใช้จ่ายของระบบน้อยที่สุดและระยะเวลารอน้ำร้อนไม่เกินพิกัดที่ยอมรับได้

3.6) รายละเอียดที่ต้องการของส่วนประกอบในระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน

สำหรับการเลือกส่วนประกอบต่างๆ ของระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานสำหรับอาคาร เมื่อสถาปนิกหรือวิศวกรออกแบบได้ทำการเลือกลักษณะที่สำคัญและสมรรถนะของส่วนประกอบต่างๆ และใช้ข้อมูลส่วนประกอบเหล่านี้ในการออกแบบทางกายภาพและวิเคราะห์สมรรถนะเสร็จเรียบร้อยแล้ว ลักษณะและสมรรถนะของส่วนประกอบต่างๆ เหล่านี้จะต้องถูกถ่ายทอดไปยังผู้ติดตั้งระบบด้วยการจัดทำเป็นข้อกำหนดรายละเอียดสิ่งที่ต้องการเพื่อจัดทำเอกสารรายละเอียดประกอบแบบ โดยขอแนะนำให้พิจารณาเช่นเดียวกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

บทที่ 4 การออกแบบระบบควบคุมและตรวจวัด

ระบบควบคุมการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้เพื่อควบคุมการทำงานของระบบฯ ตามสภาวะแวดล้อมและอื่นๆ ที่ทำให้ระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้ดี และการควบคุมต้องสามารถป้องกันระบบเกิดความเสียหายภายใต้สภาวะที่ไม่ดีต่างๆ อย่างเช่น การเกิดความร้อนเกินกว่าที่กำหนด เป็นต้น การควบคุมต้องทำให้เกิดความเหมาะสมในการผสมผสานการผลิตน้ำร้อนจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์และระบบความร้อนเสริม เพื่อทำให้มีการใช้ประโยชน์จากระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด และลดการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง ส่วนระบบตรวจวัดจัดทำขึ้นเพื่อที่จะแสดงผลการทำงานหรือผลของการผลิต และการใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

4.1 ระบบควบคุมการทำงาน

4.1.1) การควบคุมการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

หน้าที่เบื้องต้นของระบบควบคุมการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ คือ เพื่อให้ระบบฯ มีการทำงานเมื่อมีความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอเหมาะสม และหน้าที่ขั้นที่สองจะทำการป้องกันความเสียหายจากการเกิดความร้อนสูงเกินไปของระบบฯ ในช่วงที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนต่ำหรือไม่มีความต้องการใช้น้ำร้อน อุปกรณ์ควบคุมที่ถูกนำมาใช้ในการทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบฯ มีรายละเอียดดังนี้

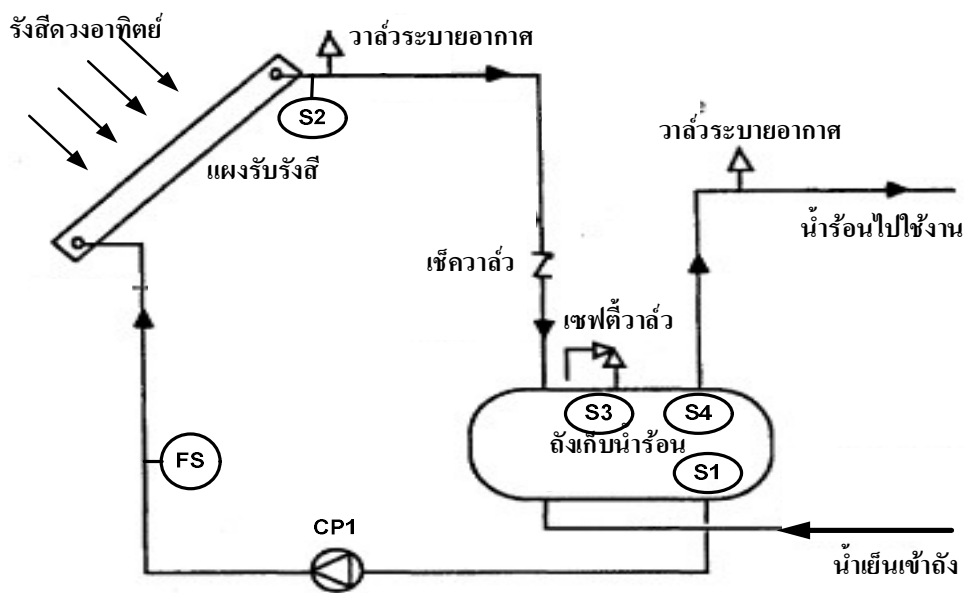
1. ชุดควบคุมแบบใช้อุณหภูมิแตกต่าง (Differential Temperature Controllers; DTCs) และหัววัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ซึ่งชุดควบคุมจะใช้สัญญาณความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนในแผงรับรังสีอาทิตย์กับน้ำเย็นในถังเก็บน้ำร้อนที่ส่งมาจากหัววัดอุณหภูมิ เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมินี้ถึงจุดสูงสุดที่กำหนดไว้ DTCs จะสั่งให้ระบบเริ่มทำงาน และ DTCs จะสั่งให้ระบบหยุดทำงานเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมินี้ต่ำกว่าจุดต่ำสุดที่กำหนดไว้ ความแตกต่างของอุณหภูมิเปิด/ปิดของ DTCs ที่มีผลิตและจำหน่ายในท้องตลาดสามารถตั้งค่าได้ในช่วง $11/3^{\circ}\text{C}$ ถึง $4/2^{\circ}\text{C}$ และ DTCs บางเครื่องก็สามารถปรับตั้งค่าสำหรับเปิด/ปิดที่อุณหภูมินอกเหนือจากนี้ได้ ซึ่ง DTCs อาจจะหยุดและ/หรือป้องกันระบบทำงานเมื่อถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ โดยปกติอุณหภูมิเกินกำหนดของถังเก็บน้ำร้อนที่ต้องหยุดทำงานสามารถปรับตั้งค่าอยู่ที่ประมาณ $71 - 99^{\circ}\text{C}$

2. สวิตช์กำหนดอุณหภูมิสูงสุด (High Temperature Limit Switches) โดยทั่วไปสวิตช์นี้จะอยู่ในสถานะปกติปิด (Normal Close; NC) และสวิตช์นี้จะเปิดเมื่อวัดค่าอุณหภูมิได้เกินอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ซึ่งปกติแล้วจุดที่ตั้งค่าสามารถปรับตั้งค่าได้อยู่ที่ประมาณ $71 - 99^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้สวิตช์นี้อาจจะถูกใช้งานร่วมกับ DTCs โดยใช้เป็นตัวสำรองในการป้องกันอุณหภูมิเกินค่าที่กำหนดของถังเก็บน้ำร้อน ซึ่งเป็นหน้าที่อันดับแรกของ DTCs อยู่แล้ว และส่วนใหญ่แล้วการตั้งค่าอุณหภูมิเกินกำหนดของสวิตช์นี้ควรจะสูงกว่าจุดตั้งค่าของ DTCs ประมาณ 3°C และสวิตช์นี้เมื่อทำงานไปแล้วจะกลับมายังจุดเริ่มต้นใหม่ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดตั้งค่าไว้ประมาณ 4°C

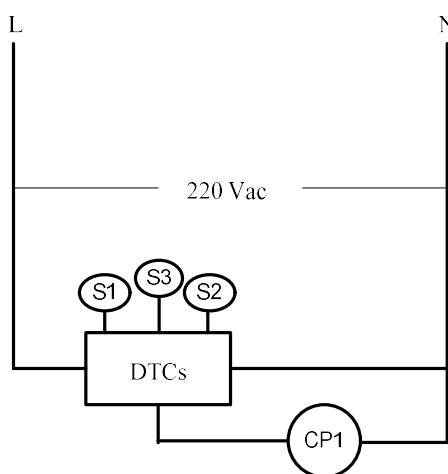
3. สวิตช์เปิด/ปิดการไหล (Flow Switches; FS) โดยทั่วไปสวิตช์นี้จะอยู่ในสถานะปกติเปิด (Normal Open; NO) โดยสวิตช์นี้จะปิดเมื่อวัดค่าการไหลได้น้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ และจะเปิดเมื่อการไหลเท่ากับหรือมากกว่าจุดตั้งค่าไว้ ทำให้แน่ใจได้ว่าเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนจะไม่มีการทำงานหากการไหลที่ออกแบบไม่เป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ภายในระยะเวลา $5 - 10$ นาที ซึ่งสวิตช์นี้จะป้องกัน

เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนเกิดความเสียหายหากมีการรั่วเกิดขึ้นในวงจรหรือวาล์วปิดการไหลเมื่อเกิดการทำงานผิดปกติ

4. ตำแหน่งของหัววัดและสวิทช์ สำหรับการควบคุมการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อน (CP1) อยู่ในวงจรระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์กับถังเก็บน้ำร้อนซึ่งควบคุมการทำงานด้วย DTCs และหัววัดอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 โดยเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนจะเริ่มเดินเครื่องเมื่อหัววัด S2 มีอุณหภูมิสูงกว่า S1 อยู่ 5 °C และสวิทช์ FS วัดค่าอัตราการไหลได้เท่ากับหรือมากกว่าจุดตั้งค่าไว้ และเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนจะหยุดเดินเครื่องเมื่ออุณหภูมิ S2 มีอุณหภูมิต่ำกว่า S1 อยู่ 2 °C หรือสวิทช์ FS วัดค่าอัตราการไหลได้น้อยกว่าจุดตั้งค่าไว้ นอกจากนี้ DTCs จะทำหน้าที่ควบคุมให้เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนหยุดเดินเครื่องเมื่อหัววัด S3 มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดตั้งค่าไว้ (80 °C)



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งติดตั้งหัววัดระบบควบคุมการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



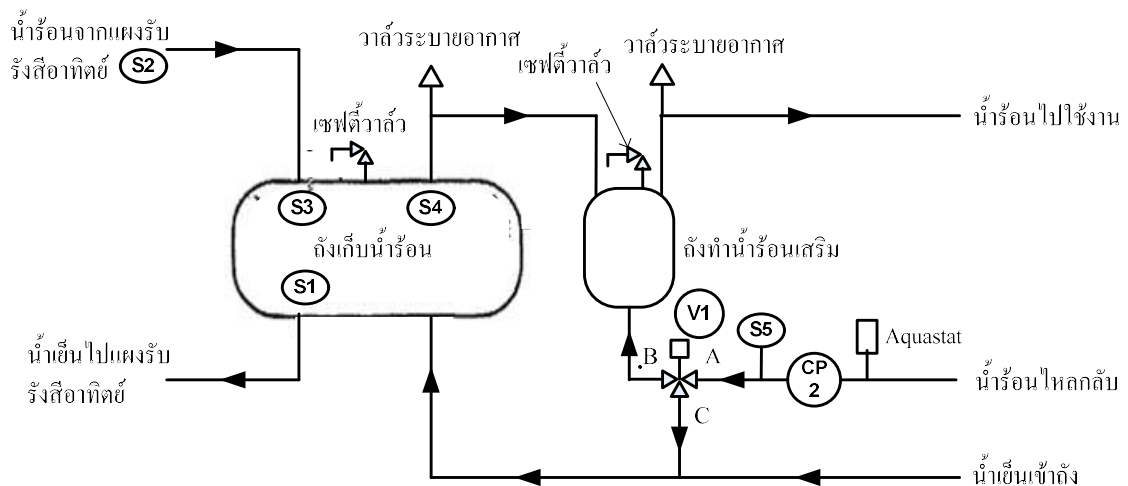
อุปกรณ์	เงื่อนไข	การทำงาน
- ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์		
1. CP1	$S2 > S1 + 5^{\circ}\text{C}$ และมีการไหลตาม กำหนดที่วัดจาก FS	ON
2. CP1	$S2 < S1 + 2^{\circ}\text{C}$ หรือไม่มีการไหลตาม กำหนดที่วัดจาก FS	OFF
3. CP1	$S3 > 80^{\circ}\text{C}$	OFF

รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมระบบควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน (CP1)

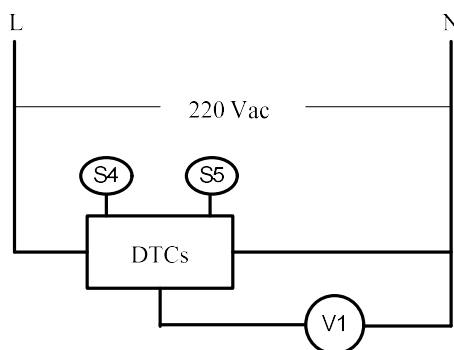
4.1.2) การควบคุมการทำงานของระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน

การควบคุมการทำงานของระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานสำหรับอาคาร สามารถทำได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งแสดงตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำเย็นที่สามารถทำให้ DTCs ควบคุมระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งานให้สามารถหมุนเวียนน้ำร้อนอย่างต่อเนื่องได้ โดย DTCs ที่กำหนดอุณหภูมิเปิด/ปิด เป็น $4/2^{\circ}\text{C}$ สามารถใช้ควบคุมวาล์ว V1 เพื่อให้ น้ำร้อนไหลวนกลับเข้าถังเก็บ น้ำร้อนได้โดยตรงเมื่ออุณหภูมิน้ำร้อน S4 สูงกว่าอุณหภูมิน้ำร้อนไหลวนกลับ S5 ไม่น้อยกว่า 4°C แต่ถ้า อุณหภูมิน้ำร้อน S4 ต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำร้อนไหลวนกลับ S5 มากกว่า 2°C น้ำร้อนไหลวนกลับจะไหลไป ยังถังทำน้ำร้อนเสริม (Hot Water Heater Tank) โดยตรง ทั้งนี้ การตั้งค่าสลับเปิด/ปิดของ DTCs สามารถปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมได้ เพื่อให้ได้ประโยชน์จากการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มากที่สุด

ส่วนการควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อน (CP2) จะใช้การติดตั้ง Aquastat ควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อนจะทำงานเมื่ออุณหภูมิน้ำร้อน ได้เย็นลงถึงจุดที่ตั้งเอาไว้ซึ่งปกติแล้วจุดที่ตั้งค่าไว้จะอยู่ที่ประมาณ $45 - 50^{\circ}\text{C}$ และจะหยุดทำงานเมื่อ น้ำร้อนในท่อได้อุณหภูมิน้ำร้อนตามที่กำหนดไว้ซึ่งปกติแล้วจุดที่ตั้งค่าไว้จะอยู่ที่ประมาณ $50 - 55^{\circ}\text{C}$ การตั้งค่าแบบนี้จะให้น้ำร้อนทั้งหมดของวงจรท่อได้รับการแทนที่ด้วยน้ำร้อนใหม่อยู่เสมอ



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งติดตั้งหัววัดระบบควบคุมการทำงานของระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน



อุปกรณ์	เงื่อนไข	การทำงาน
- ระบบส่งจ่ายน้ำร้อน		
1. V1	$S4 > S5 + 4^{\circ}\text{C}$	A - C
2. V1	$S4 < S5 + 2^{\circ}\text{C}$	A - B
3. CP2	Aquastat $< 45^{\circ}\text{C}$	ON
4. CP2	Aquastat $\geq 55^{\circ}\text{C}$	OFF

รูปที่ 4.4 ไดอะแกรมระบบควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมทิศทางการไหล (V1)

4.2 ระบบตรวจวัดการทำงาน

4.2.1) เครื่องมือตรวจวัด

การกำหนดตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดที่สามารถทำการตรวจวัดการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสม ถูกต้อง และรวดเร็ว มีรายละเอียดดังนี้

1. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometers) ให้ติดตั้งที่ทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์ชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และถังเก็บน้ำร้อน

2. เกจวัดความดัน (Pressure Gauges) ให้ติดตั้งที่ตำแหน่งใกล้กับจุดทางเข้าและทางออกของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อน ทั้งนี้ เครื่องสูบน้ำบางตัวอาจจะมีช่องเกลียวสำหรับต่อเกจวัดความดันอยู่แล้ว หรืออาจติดตั้งที่ตำแหน่งใกล้กับจุดทางเข้าและทางออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หากลักษณะระบบที่มีการขัดขวางการอ่านค่าจากเกจวัดความดันที่เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อน

3. เครื่องแสดงการไหล (Visual Flow Indicators) ให้ติดตั้งบนวงจรระบบท่อที่ตำแหน่งเหมาะสม สามารถมองเห็นได้ง่าย

ในระหว่างที่มีการหยุดและเริ่มต้นทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ การอ่านค่าจากเครื่องตรวจวัดภายใต้สภาวะการทำงานปกติ ควรทำการบันทึกไว้ซึ่งค่าที่อ่านได้เหล่านี้จะกำหนดให้เป็นค่าสมรรถนะอ้างอิงของระบบฯ โดยหลังจากระบบทำงานไปได้ระยะเวลานานพอสมควรแล้วก็สามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ด้วยการเปรียบเทียบกับค่าที่เคยบันทึกข้อมูลไว้ โดยข้อมูลที่ควรทำการบันทึกไว้ ประกอบด้วย

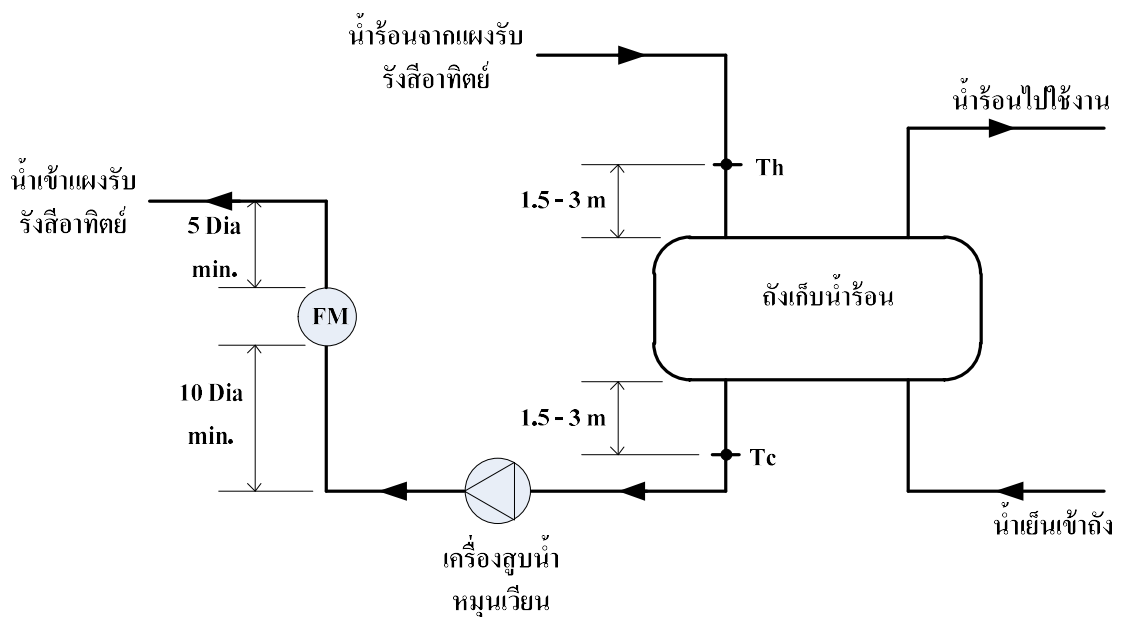
- อุณหภูมิแตกต่างที่แต่ละด้านของแต่ละชุดแผงรับรังสีอาทิตย์
 - อุณหภูมิแตกต่างที่แต่ละด้านของเครื่องแลกเปลี่ยนร้อน (ด้านแผงรับรังสีอาทิตย์ และด้านถังเก็บน้ำร้อน)
 - อุณหภูมิทางเข้าและออกของถังเก็บน้ำร้อน
 - อัตราการไหลของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อน
 - ความดันสถิตของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อน
 - ความดันแตกต่างที่แต่ละด้านของเครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำร้อน
- เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และชุดแผงรับรังสีอาทิตย์

4.2.2) เครื่องมือติดตามแสดงผลสมรรถนะ

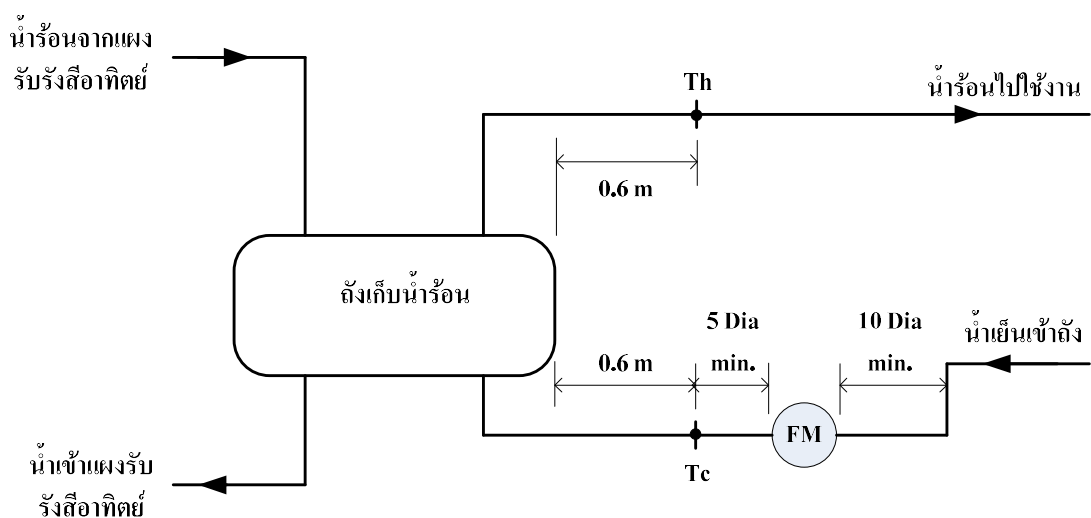
เครื่องมือติดตามแสดงผลสมรรถนะการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ไม่ได้เป็นสิ่งที่จำเป็นในการทำงานของระบบฯ ซึ่งการพิจารณาว่าจะเลือกใช้เครื่องมือวัดนี้หรือไม่ขึ้นอยู่กับเจ้าของโครงการ แต่เครื่องมือติดตามแสดงผลนี้มีความจำเป็นถ้ามีความสนใจในเรื่องผลการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงที่ได้จริง และการทำงานของระบบฯ มีความจำเป็นจะต้องตรวจวัด ทั้งนี้ บีทียูมิเตอร์ (BTU Meter) หรืออุปกรณ์เทียบเท่าจะเป็นเครื่องมือตรวจวัดพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้งานเพื่อวัดความร้อนที่ผลิตได้จากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยบีทียูมิเตอร์จะประกอบด้วย มิเตอร์วัดการไหล หัววัดอุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำเย็นที่จะส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะทำการวิเคราะห์สัญญาณการไหลและอุณหภูมิแตกต่างกันแล้วทำการคำนวณเป็นข้อมูลพลังงานต่อไป ดังนั้นเพื่อความมั่นใจได้ว่าข้อมูลถูกต้องจากบีทียูมิเตอร์ การคัดเลือก การกำหนดรายละเอียด และการติดตั้งของมิเตอร์วัดอัตราการไหลและหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นที่สุด ขนาดความสามารถของมิเตอร์วัดอัตราการไหล หัววัดอุณหภูมิ และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ต้องสอดคล้องเหมาะสมกับสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ประกอบเหล่านี้ ทั้งนี้พารามิเตอร์การทำงานต่างๆ

อย่างเช่น อัตราการไหล ช่วงอุณหภูมิน้ำร้อนและเย็น และอุณหภูมิแตกต่างของแต่ละการใช้งานต้องถูกกำหนดและระบุรายละเอียดอย่างถูกต้อง

การเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมของหัววัดอุณหภูมิและมิเตอร์วัดอัตราการไหลมีความสำคัญต่อความถูกต้องของปีทียูมิเตอร์ ตัวส่งสัญญาณต้องติดตั้งในตำแหน่งที่สามารถเปลี่ยนสัญญาณการไหลและอุณหภูมิได้ดี และสามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ประมวลผลอิเล็กทรอนิกส์ โดยตำแหน่งที่ขออนุญาตของปีทียูมิเตอร์ในวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วย หัววัดอุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำเย็น และมิเตอร์วัดอัตราการไหล ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความร้อนที่ผลิตได้แสดงในรูปที่ 4.5 และตำแหน่งติดตั้งปีทียูมิเตอร์ในการวิเคราะห์ความร้อนที่ส่งจ่ายไปใช้งานแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ของปีทียูมิเตอร์ในการวัดความร้อนที่ผลิตได้



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ของปีทียูมิเตอร์ในการวัดพลังงานความร้อนที่ถูกส่งจ่ายไปใช้งาน

4.3 รายละเอียดที่ต้องการของส่วนประกอบในระบบควบคุมและตรวจวัด

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานสำหรับการเลือกอุปกรณ์ประกอบส่วนต่างๆ ของระบบควบคุมและตรวจวัด หลังจากวิศวกรหรือผู้ออกแบบได้เลือกลักษณะและขนาดที่สำคัญของอุปกรณ์ดังกล่าวแล้ว ลักษณะและขนาดของอุปกรณ์ประกอบเหล่านี้จะต้องใช้อธิบายและถ่ายทอดไปยังผู้ติดตั้งระบบฯ โดยการจัดทำเอกสารข้อกำหนดรายละเอียดของอุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1) อุปกรณ์ควบคุม

อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วย ชุดควบคุมแบบใช้อุณหภูมิแตกต่าง (Differential Temperature Controllers; DTCs) และหัววัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่ง DTCs เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้รับผลสัญญาณอุณหภูมิจากหัววัดแล้วทำให้เกิดสัญญาณออกเปิด/ปิดตามที่ได้ตั้งค่าสถานะอุณหภูมิไว้ มีหน้าที่เบื้องต้นในการสั่งเดินหรือหยุดการทำงานของระบบฯ เมื่ออุณหภูมิแตกต่างระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อนมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ จุดตั้งค่าอุณหภูมิแตกต่างเปิด/ปิดของ DTCs บางเครื่องสามารถปรับค่าได้ในช่วง 0 - 28 °C หรือบางเครื่องอาจจะตั้งค่าได้เฉพาะจุดตั้งค่าเปิดเท่านั้น ส่วนจุดตั้งค่าปิดจะถูกตั้งค่าไว้แล้วจากโรงงานผู้ผลิตซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 3 °C หรือ 2 °C หรืออุณหภูมิแตกต่างอาจจะเป็นค่าที่โรงงานผู้ผลิตได้ตั้งค่าไว้ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 11/3 °C 11/2 °C หรือ 4/2 °C



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างชุดควบคุมแบบใช้อุณหภูมิแตกต่าง (DTCs)

4.3.2) อุปกรณ์ตรวจวัดการทำงาน

เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการตรวจสอบการทำงานของระบบฯ การแสดงให้เห็นถึงการไหล ความดัน และอุณหภูมิ ที่ตำแหน่งเลือกไว้จึงมีความจำเป็น สำหรับจุดวัดอุณหภูมิที่สำคัญมีอยู่เพียง 2-3 จุด ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วย หัววัดอุณหภูมิของแผงรับรังสีอาทิตย์ และหัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งบนและล่างของถังเก็บน้ำร้อน สำหรับมิเตอร์วัดอัตราการไหลที่เป็นแบบ In-line ปกติจะเหมาะสำหรับแสดงอัตราการไหลได้ถึงประมาณ 10 L/s แต่ถ้าเป็นแบบปรับค่าได้สามารถแสดงอัตราการไหลได้ถึง 32 L/s โดยปกติทั่วไปการย่ออัตราส่วนของเครื่องวัดอัตราการไหลจะเป็น 10:1 หรือมากกว่า ซึ่งควรเลือกเครื่องวัดอัตราการไหลที่คาดว่าจะอ่านค่าได้ค่าใกล้เคียงที่สุด (ประมาณ 75-90% ของอัตราการไหล) นอกจากนี้ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ควรจะใช้มิเตอร์วัดอัตราการไหลที่มีชิ้นส่วนประกอบสามารถป้องกันความเสียหายจากน้ำได้ โดยอาจจะทำมาจากวัสดุทองเหลือง เหล็กสแตนเลส หรือพลาสติกที่ทนอุณหภูมิสูง (โพลีเอทิลีน) เพื่อที่จะสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้

เครื่องวัดอัตราการไหลที่แสดงค่าโดยตรงจะมีชิ้นส่วนที่เป็นแก้วหรือพลาสติกที่ทนอุณหภูมิสูงและสามารถมองเห็นสภาพของของไหลได้ เนื่องจากมีความดันตกคร่อมมิเตอร์วัดอัตราการไหลแบบ In-line สูง ดังนั้นการใช้มิเตอร์วัดอัตราการไหลต้องพิจารณาอย่างระมัดระวังในการออกแบบระบบท่อ

สิ่งสำคัญสำหรับการเลือกมิเตอร์วัดอัตราการไหล เทอร์โมมิเตอร์ และเกจวัดความดัน คือช่วงค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์ที่คาดว่าจะต้องการตรวจวัด นอกจากนี้สภาพแวดล้อมการทำงาน เช่น ความดันสูงสุด อุณหภูมิสูงสุด และคุณภาพของของไหลทำงานจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์และประเมิน ดังนั้นรายละเอียดข้อจำกัดทั้งหมดในการใช้งานต้องถูกพิจารณาอย่างระมัดระวัง

4.3.3) อุปกรณ์เครื่องมือติดตามแสดงผลสมรรถนะ

การใช้พีทียูมิเตอร์จะขึ้นอยู่กับพิจารณาเลือกใช้โดยเจ้าของโครงการ ซึ่งบางระบบอาจไม่ต้องการตรวจวัดติดตามการทำงานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของเจ้าของโครงการก็ได้ หรือทำแบบง่ายๆ จากการตรวจวัดการทำงานเพียงวันเดียวด้วยการบันทึกการไหลและอุณหภูมิอาจจะเพียงพอ แต่เมื่อใดก็ตามที่มีการใช้พีทียูมิเตอร์ก็ต้องกำหนดรายละเอียด วิธีการ และการติดตั้งให้เหมาะสม สำหรับพีทียูมิเตอร์มีอยู่หลายแบบที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน ซึ่งสามารถตรวจวัดอัตราการไหลของของไหลที่ไหลผ่านแหล่งพลังงาน และอุณหภูมิเข้าและออกของของไหล โดยข้อมูลที่ได้จากหัววัดจะถูกรวบรวมและใช้คำนวณหาพลังงานที่ผลิตได้และพลังงานที่ส่งจ่ายไปใช้งาน ซึ่งความแตกต่างของพีทียูมิเตอร์ขึ้นอยู่กับ การออกแบบของอุปกรณ์ประกอบสำหรับแต่ละการตรวจวัด สำหรับการตรวจวัดอัตราการไหลที่ใช้ทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบวัดปริมาตรการไหลจริง และแบบวัดความเร็วการไหลแล้วค่อยแปลงไปเป็น ปริมาตรการไหลอีกที ส่วนหัววัดอุณหภูมิมีอยู่ 3 แบบ คือ แบบ Resistance Temperature Detector (RTD) แบบ Thermistor และแบบ Integrated Electronic ซึ่งข้อกำหนดรายละเอียดที่ต้องการสำหรับ อุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ ที่กล่าวมาไม่ได้จำกัดอยู่แค่นี้ ควรจะใช้การพิจารณาทางวิศวกรรมกำหนดหา ค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและยังไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วย



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างชุดพีทียูมิเตอร์

4.4 รายละเอียดที่ต้องการในการเขียนแบบสำหรับการติดตั้ง

ข้อกำหนดรายละเอียดที่ต้องการในการเขียนแบบสำหรับการติดตั้งระบบควบคุมและตรวจวัด จะมีการจัดทำขึ้นในขั้นตอนนี้ ซึ่งต้องกำหนดลักษณะทางกายภาพ และแสดงรายละเอียดการออกแบบ การติดตั้งของระบบควบคุมและตรวจวัด โดยใช้มาตรฐาน หลักเกณฑ์ วิธีปฏิบัติที่เกี่ยวข้องและมีความเหมาะสม ซึ่งข้อมูลและรายละเอียดที่ต้องจัดทำขึ้นในขั้นตอนนี้น้อยน้อยต้องมีดังนี้

4.4.1) ผังไดอะแกรมควบคุม (Control Schematic)

1. ผังไดอะแกรมควบคุมที่ได้คัดเลือกในหัวข้อที่ 4.1 ควรจะอธิบายความสัมพันธ์ในการทำงานของอุปกรณ์ประกอบทั้งหมดของระบบ
2. การกำหนดลักษณะของอุปกรณ์ประกอบและหัววัดต้องสอดคล้องตรงกันกับลักษณะรูปแบบการทำงานของระบบ

4.4.2) ลักษณะโหมดควบคุม (Control Mode Matrixes)

ลักษณะโหมดควบคุมที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.1 ควรจะเป็นลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ประกอบทั้งหมดของระบบควบคุม และแสดงสถานภาพการทำงาน (หมุนเปิด/ปิด สถานภาพเปิด และสถานภาพปิด เป็นต้น) ของแต่ละอุปกรณ์ประกอบ

4.4.3) แบบการเดินสายไฟ (Wire Routing Drawing)

การเดินสายไฟต้องแสดงแนวติดตั้งสายสัญญาณควบคุมและสายไฟกำลังจากหัววัดต่างๆ ไปยังตัวควบคุม และจากหัววัดผ่านสวิทช์ไปยังตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ประกอบ โดยต้องมีท่อและรางร้อยสายไฟตรงที่จำเป็น

4.4.4) ไดอะแกรมวงจรสายไฟ (Wiring Diagrams)

1. ไดอะแกรมวงจรสายไฟ ต้องแสดงรายละเอียดการต่อของสายสัญญาณและสายไฟกำลังของระบบควบคุมทั้งหมด
2. จุดปลายของแต่ละสายสัญญาณต้องแยกต่อให้ตรงแต่ละจุดต่อของอุปกรณ์ประกอบหรือจุดต่อที่กำหนดไว้บนแผงจุดต่อ
3. ต้องแสดงขนาด ชนิด หมายเลขรหัส และจุดต่อของแต่ละสายสัญญาณ
4. การกำหนดลักษณะของแต่ละอุปกรณ์ต้องสอดคล้องตรงกันกับรายการอุปกรณ์ประกอบตามลักษณะโหมดการทำงาน และผังไดอะแกรมของระบบควบคุม

4.4.5) การติดตั้งอุปกรณ์ประกอบ (Component Installation)

การเขียนแบบสำหรับการติดตั้งต้องแสดงรายละเอียดการติดตั้งของหัววัดแต่ละตัว ตัวควบคุม สวิทช์ และกล่องสตาร์ท พร้อมทั้งกำหนดตำแหน่งและวิธีติดตั้ง

บทที่ 5 การทบทวนการออกแบบ

การทบทวนการออกแบบในขั้นตอนต่างๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะยืนยันว่าการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มุ่งไปสู่การบรรลุผลสำเร็จและยอมรับได้ ซึ่งผลการออกแบบนี้สามารถนำไปติดตั้งโดยผู้ติดตั้งที่มีความชำนาญ และสามารถเดินระบบใช้งานโดยเจ้าของโครงการได้ ทั้งนี้ การทบทวนและการประเมินรายละเอียดการออกแบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านอื่นๆ นอกเหนือจากสถาปนิกหรือวิศวกรก็มีความจำเป็นเพื่อตรวจสอบว่าการออกแบบระบบดังกล่าวได้ถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดและเลือกพารามิเตอร์ได้ถูกต้อง สำหรับการทบทวนการออกแบบนี้จะเป็นการประเมินข้อมูลรายละเอียดที่อยู่ในเอกสารต่างๆ เช่น แบบแปลนรายละเอียด ข้อกำหนดรายละเอียด และการประมาณราคาต้นทุน เป็นต้น การทบทวนการออกแบบจะรวมถึงการพิจารณาเรื่องความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือ และลักษณะการทำงานและบำรุงรักษาของระบบฯ

5.1 การทบทวนการออกแบบเบื้องต้น

ในการทบทวนการออกแบบเบื้องต้น ควรจะดำเนินการเมื่อการออกแบบมีความก้าวหน้าถึงจุดที่พารามิเตอร์การออกแบบข้างล่างนี้ถูกกำหนดขึ้นและวิเคราะห์เสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว

5.1.1) ระบบผลิตน้ำร้อน

1. การเขียนผังไดอะแกรมระบบผลิตน้ำร้อน
2. การจัดวางแผงรับรังสีอาทิตย์
3. ลักษณะและรายละเอียดโครงสร้างรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์
4. วิธีของการยึดติดโครงสร้างรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์กับตัวอาคาร
5. การคำนวณขนาดถังเก็บน้ำร้อน
6. ลักษณะถังเก็บน้ำร้อน
7. การติดตั้งเดินระบบท่อของระบบผลิตน้ำร้อน
8. ขนาดและชนิดท่อของระบบผลิตน้ำร้อน
9. การคำนวณเฮดของวงจรระบบท่อ
10. การคัดเลือกอุปกรณ์ประกอบระบบผลิตน้ำร้อน
11. ตำแหน่งของอุปกรณ์ประกอบหลักๆ

5.1.2) ระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน

1. การเขียนผังไดอะแกรมระบบส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน
2. การติดตั้งเดินระบบท่อของวงจรส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน
3. ขนาดและชนิดท่อของวงจรส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน
4. การคำนวณเฮดของวงจรระบบท่อส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน
5. การคัดเลือกอุปกรณ์ประกอบระบบท่อส่งจ่ายน้ำร้อนไปใช้งาน
6. ตำแหน่งของอุปกรณ์ประกอบหลักๆ

5.1.3) ระบบควบคุมและตรวจวัด

1. ลักษณะการควบคุมและตรวจวัด
2. ผังไดอะแกรมระบบควบคุมและตรวจวัด

3. คัดเลือกอุปกรณ์ประกอบระบบควบคุมและตรวจวัด
4. ตำแหน่งของอุปกรณ์ประกอบหลักๆ

การทบทวนการออกแบบตรงจุดนี้มุ่งหวังที่จะทำให้การออกแบบทั้งหมดมีความถูกต้องมากขึ้น วิศวกรหรือผู้ออกแบบควรจะมีการทบทวนตาม Checklist 5-1 ถึง 5-5 หากมีความถูกต้องก็คาดการณ์ได้ว่าสมรรถนะที่ได้สามารถทำให้บรรลุผลสำเร็จ

5.2 การตรวจสอบความถูกต้องของสมรรถนะและต้นทุนเบื้องต้น

การตรวจสอบความถูกต้องของสมรรถนะและต้นทุนเบื้องต้นมีความจำเป็น เพื่อที่จะทำการตรวจเช็คขั้นสุดท้ายของผลผลิตและผลทางเศรษฐศาสตร์ของระบบที่คาดว่าจะได้รับ วิศวกรหรือผู้ออกแบบควรจะมีการทบทวนตาม Checklist 5-6

5.2.1) การตรวจสอบความถูกต้องของสมรรถนะทางความร้อน

สมรรถนะทางความร้อนของการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องถูกกำหนดขึ้น โดยสมรรถนะที่ได้อาจจะมีความแตกต่างไปจากการคำนวณประมาณการสมรรถนะทางความร้อนในระหว่างที่ดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ (บทที่ 1) เพราะว่าอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงในการคัดเลือกพารามิเตอร์สมรรถนะ โดยพารามิเตอร์สมรรถนะในการออกแบบนี้ที่อาจจะเปลี่ยนแปลงไปจากการศึกษาความเป็นไปได้ ประกอบด้วย

1. ความต้องการใช้น้ำร้อน
2. ขนาดพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์
3. สมรรถนะของแผงรับรังสีอาทิตย์
4. ความชันและตำแหน่งทิศทางของแผงรับรังสีอาทิตย์
5. อัตราการไหลของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์
6. สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน
7. ลักษณะและขนาดถังเก็บน้ำร้อน
8. ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนในระบบท่อ
9. ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนถังเก็บน้ำร้อน

5.2.2) การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณต้นทุน

การประมาณต้นทุนอาจจะมีการละเอียดเพิ่มขึ้นมากกว่าตอนที่ได้คำนวณประมาณการในระหว่างที่ดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ (บทที่ 1) ซึ่งควรจะมีการดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องหลังจากที่ได้ทำการออกแบบขั้นสุดท้ายเสร็จสมบูรณ์แล้ว โดยทั่วไปจะประกอบด้วย

1. ราคาอุปกรณ์ประกอบระบบทั้งหมด
2. ราคาโครงสร้างรองรับแผงรังสีอาทิตย์
3. ราคาวัสดุและการติดตั้งระบบท่อ

ทั้งนี้ การประมาณต้นทุนทั้งหมดควรจะถูกรวบรวมและเปรียบเทียบกับประมาณการต้นทุนที่ได้จากการคำนวณในระหว่างทำการศึกษาความเป็นไปได้ (บทที่ 1)

5.2.3) การประเมินผล

หากสมรรถนะและ/หรือการประมาณต้นทุนได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากการศึกษาความเป็นไปได้ (บทที่ 1) การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ได้กล่าวถึงในส่วนการศึกษาความเป็นไป

ได้ต้องทำการวิเคราะห์ใหม่ และการคาดการณ์ล่าสุดของ ราคาเชื้อเพลิง อัตราดอกเบี้ย และองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อการประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ควรจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ใหม่ด้วย

5.3 การทบทวนและตรวจสอบการออกแบบขั้นสุดท้าย

สำหรับการทบทวนและตรวจสอบการออกแบบขั้นสุดท้ายควรจะดำเนินการเมื่อวิศวกรหรือผู้ออกแบบมี แบบแปลนรายละเอียด ข้อกำหนดรายละเอียดการติดตั้งทั้งหมด ได้ทำการปรับปรุงสิ่งที่จำเป็นในการวิเคราะห์การออกแบบ และได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมรรถนะและราคาต้นทุนเรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้ การทบทวนการออกแบบขั้นสุดท้าย ได้แก่ การทบทวนแบบแปลนรายละเอียด ข้อกำหนดรายละเอียด และเอกสารอื่นๆ เพื่อความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูลการออกแบบและการติดตั้ง ซึ่งข้อกำหนดรายละเอียดการติดตั้งต้องบอกให้เข้าใจอย่างชัดเจนในสิ่งที่ต้องการของระบบทั้งหมด เช่น ระบบท่อ โครงสร้าง ฉนวน ระบบควบคุมและตรวจวัด ระบบไฟฟ้า วิธีการหยุดและเริ่มเดินระบบ และการทดสอบ เพื่อให้เจ้าของโครงการหรือผู้เดินระบบสามารถตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานและสมรรถนะของระบบที่ได้ออกแบบนี้

ในการจัดทำประมาณราคาและแผนงานการก่อสร้าง ถ้ามีอยู่ในขอบเขตของการออกแบบควรจะทำ การเปรียบเทียบกับราคาและแผนงานการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เพื่อที่จะสามารถทำการพิจารณาความแตกต่างของ อัตราค่าแรงท้องถิ่น ราคาวัสดุ และอุปกรณ์ประกอบ และองค์ประกอบอื่นๆ ที่ทำให้มีผลต่อการประมาณราคาและแผนงานการก่อสร้าง อย่างเช่น พื้นที่ติดตั้งอยู่ห่างไกล เป็นต้น

รายละเอียดในสัญญา แบบแปลน ข้อกำหนดรายละเอียดประกอบแบบ และเอกสารอื่นๆ ของเอกสารสำหรับการประมูลการก่อสร้างจำเป็นจะต้องทบทวนเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องตาม ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะทั้งหมดจากการทบทวนและตรวจสอบการออกแบบขั้นสุดท้าย ซึ่งปกติแล้ว การทบทวนและตรวจสอบการออกแบบควรจะดำเนินการก่อนที่จะจัดทำเอกสารการประมูลโดยเจ้าของโครงการ แต่หากถูกจัดทำขึ้นก่อนการทบทวนนี้การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดจากการทบทวนจะต้อง บันทึกเพิ่มรายละเอียดเข้าไปในเอกสารการประมูลด้วย ส่วนความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงการออกแบบ และการติดตั้งต่างๆ จากวิศวกรหรือผู้ออกแบบ ผู้รับจ้าง หรือเจ้าของโครงการ ก่อนที่จะเริ่มมีการติดตั้ง หรืออยู่ในระหว่างการติดตั้งจะต้องถูกทบทวน เพื่อตรวจสอบว่าความต้องการดังกล่าวมีผลกระทบต่อ ลักษณะ การทำงาน และ/หรือสมรรถนะของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์หรือไม่

Checklist 5-1

ทบทวนผังไดอะแกรมของระบบ

ลำดับที่	รายการ	ใช่	ไม่ใช่	หมายเหตุ
1	ชนิดระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีความเหมาะสมในการใช้งานหรือไม่			
2	ชนิดแผงรับรังสีที่คัดเลือกมีความเหมาะสมในการใช้งานหรือไม่			
3	ตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ต่างๆ ยอมรับได้หรือไม่			
4	การผสมเข้ากับความต้องการใช้น้ำร้อนและแหล่งพลังงานเสริมยอมรับได้หรือไม่			
5	แสดงตัวแปรการไหลของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์หรือไม่			
6	แสดงวาล์วลดความดันหรือไม่			
7	แสดงวาล์วระบายอากาศหรือไม่			
8	แสดงเซ็นเซอร์หรือไม่			
9	แสดงวาล์วปิด/เปิดหรือไม่			
10	แสดงท่อเติมและระบายทิ้งของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์หรือไม่			
11	แสดงตัวระบายอากาศของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์หรือไม่			
12	แสดงการรองรับการขยายตัวของวงจรแผงรับรังสีอาทิตย์หรือไม่			
13	แสดงตัวระบายอากาศของวงจรถังเก็บน้ำร้อนหรือไม่			
14	แสดงการรองรับการขยายตัวของถังเก็บน้ำร้อนหรือไม่			

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม _____

Checklist 5-2

ทบทวนแบบแปลนระบบท่อของแผงรับรังสีอาทิตย์

ลำดับที่	รายการ	ใช่	ไม่ใช่	หมายเหตุ
1	จัดเตรียมวิธีการปรับสมดุลการไหลของชุดแผงรับรังสีอาทิตย์หรือไม่			
2	วิธีการปรับสมดุลการไหลของชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ยอมรับได้หรือไม่			
3	แสดงอัตราการไหลของแผงรับรังสีอาทิตย์หรือไม่ - มีการคำนวณหา friction loss ของระบบท่อหรือไม่			
4	แสดงอัตราการไหลของแผงรับรังสีอาทิตย์ยอมรับได้หรือไม่			
5	แสดงขนาดท่อจ่าย ท่อไหลกลับ ท่อย่อยหรือไม่			
6	แสดงขนาดของท่อเหมาะสมกับขนาดอัตราการไหลหรือไม่			
7	ตำแหน่งของตัวปรับการไหล วาล์วระบายอากาศ วาล์วลดความดัน และ วาล์วปิด/เปิดเหมาะสมหรือไม่			
8	การเตรียมการรองรับการขยายตัวทางความร้อนของชุดแผงรับรังสีอาทิตย์ยอมรับได้หรือไม่			
9	การเตรียมการรองรับการขยายตัวทางความร้อนของระบบท่อยอมรับได้หรือไม่			
10	การเตรียมการยึดรองรับระบบท่อยอมรับได้หรือไม่			
11	แสดงความชันของระบบท่อ (ถ้าจำเป็น) ยอมรับได้หรือไม่			
12	แนวการวางระบบท่อยอมรับได้หรือไม่			
13	แสดงฉนวนของท่อและส่วนที่ไม่ใช่ท่อหรือไม่			
14	แสดงการป้องกันจากสภาพอากาศของฉนวนภายนอกหรือไม่			
15	การเตรียมการอุดช่องว่างตรงจุดที่ท่อเจาะผ่านหลังคา/ผนังเหมาะสมหรือไม่			

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม _____

Checklist 5-3

ทบทวนแบบแปลนการติดตั้งของแผงรับรังสีอาทิตย์

ลำดับที่	รายการ	ใช่	ไม่ใช่	หมายเหตุ
1	แสดงตำแหน่งทิศทางของแผงรับรังสีอาทิตย์ยอมรับได้หรือไม่			
2	แสดงความชันของแผงรับรังสีอาทิตย์ยอมรับได้หรือไม่			
3	มีเงาวัตถุบังแผงรับรังสีอาทิตย์หรือไม่ - ถ้ามีขนาดของเงาบังยอมรับได้หรือไม่			
4	รายละเอียดของโครงสร้างรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์เพียงพอหรือไม่			
5	ชั้นส่วนกลไกของโครงสร้างรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์เพียงพอหรือไม่ - จัดทำการวิเคราะห์โครงสร้างรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์หรือไม่			
6	รายละเอียดการติดตั้งของตัวจับยึดแผงรับรังสีอาทิตย์เพียงพอหรือไม่ (สำหรับหลังคา ผนัง เสา เป็นต้น)			
7	ชั้นส่วนกลไกของตัวจับยึดแผงรับรังสีอาทิตย์เพียงพอหรือไม่			
8	รายละเอียดการอุดช่องว่างของโครงสร้างรองรับแผงรับรังสีอาทิตย์กับหลังคาเพียงพอหรือไม่			
9	วิธีการอุดช่องว่างของหลังคายอมรับได้หรือไม่			
10	รายละเอียดการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์กับโครงสร้างรองรับเพียงพอหรือไม่			
11	ชั้นส่วนกลไกการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์กับโครงสร้างรองรับเพียงพอหรือไม่			
12	แสดงฉนวนทางไฟฟ้าของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ยึดกับโครงสร้างรองรับหรือไม่			
13	จัดเตรียมสายดินของแผงรับรังสีอาทิตย์สำหรับฟ้าผ่าหรือไม่			
14	สายดินของแผงรับรังสีอาทิตย์สำหรับฟ้าผ่ายอมรับได้หรือไม่			

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม _____

Checklist 5-4

ทบทวนแบบแปลนระบบท่อและผังบริเวณอุปกรณ์ส่วนประกอบหลัก

ลำดับที่	รายการ	ใช่	ไม่ใช่	หมายเหตุ
1	แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ส่วนประกอบหลักหรือไม่ (ถังเก็บน้ำร้อน ถึงขยายความดัน เครื่องสูบน้ำ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน)			
2	ตำแหน่งของอุปกรณ์ส่วนประกอบหลักยอมรับได้หรือไม่			
3	แสดงวิธีการติดตั้งของอุปกรณ์ส่วนประกอบหลัก			
4	วิธีการติดตั้งของอุปกรณ์ส่วนประกอบหลักยอมรับได้หรือไม่			
5	แสดงรายละเอียดขนาดของอุปกรณ์ส่วนประกอบหลัก			
6	รายละเอียดขนาดของอุปกรณ์ส่วนประกอบหลักยอมรับได้หรือไม่			
7	แสดงแนวการวางระบบท่อเพียงพอหรือไม่			
8	อธิบายถึงความชันของระบบท่อเพียงพอหรือไม่			
9	แสดงขนาดของท่อหรือไม่			
10	แสดงตำแหน่งของท่อส่วนที่พิเศษเฉพาะอย่างเพียงพอหรือไม่			
11	ความสัมพันธ์ของตำแหน่งต่างๆ เป็นไปตามผังไดอะแกรมหรือไม่			
12	แสดงการติดตั้ง/การต่อของท่อส่วนที่พิเศษเฉพาะเพียงพอหรือไม่			
13	แสดงการเตรียมการวางจรเติมและระบายทิ้งหรือไม่			
14	ตำแหน่งวางจรเติมและระบายทิ้งเป็นไปตามผังไดอะแกรมหรือไม่			
15	แสดงฉนวนทางไฟฟ้าที่จำเป็นหรือไม่			
16	แสดงฉนวนที่ต้องการของท่อและส่วนที่พิเศษเฉพาะเพียงพอหรือไม่			
17	แสดงการต่อผสานกันระหว่างท่อใหม่กับท่อเก่าเพียงพอหรือไม่			
18	การต่อผสานกันเป็นไปตามผังไดอะแกรมหรือไม่			
19	แสดงการเตรียมการขยายตัวทางความร้อนเพียงพอหรือไม่			
20	การเตรียมการขยายตัวทางความร้อนเป็นไปตามการวิเคราะห์หรือไม่			
21	วางติดตั้งเส้นท่อระบายความดันจากวาล์วลดความดันหรือไม่			
22	จัดเตรียมวงจรเพิ่มแรงดันหรือไม่			
23	มีวิธีการจับยึดรองรับระบบท่อยอมรับได้หรือไม่			
24	มีวิธีการอุดช่องว่างผ่านหลังคา/ผนังเพียงพอหรือไม่			

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

Checklist 5-5

ทบทวนแบบแปลนเครื่องมือการตรวจวัด การควบคุม และไฟฟ้า

ลำดับที่	รายการ	ใช่	ไม่ใช่	หมายเหตุ
1	แสดงตำแหน่งของหัววัดควบคุมหรือไม่			
2	แสดงตำแหน่งของหัววัดควบคุมยอมรับได้หรือไม่			
3	แสดงวิธีการติดตั้งของหัววัดควบคุมหรือไม่			
4	แสดงวิธีการติดตั้งของหัววัดควบคุมยอมรับได้หรือไม่			
5	แสดงตำแหน่งเครื่องควบคุมหรือไม่			
6	แสดงตำแหน่งเครื่องควบคุมยอมรับได้หรือไม่			
7	แสดงสายสัญญาณเครื่องมือตรวจวัด/สายไฟกำลังหรือไม่			
8	อธิบายวิธีการทำงานและความปลอดภัยของระบบเพียงพอหรือไม่			
a	เงื่อนไขข้อปฏิบัติ/ห้ามปฏิบัติยอมรับได้หรือไม่			
b	จัดเตรียมวิธีการทดสอบสำหรับการเดินระบบหรือไม่			
c	มีข้อเสนอแนะของการทดสอบเดินระบบหรือไม่			
d	จัดเตรียมการทดสอบสำหรับส่วนความปลอดภัยหรือไม่			
e	มีข้อเสนอแนะของการทดสอบความปลอดภัยหรือไม่			
9	จัดทำวิธีการติดตามประเมินผลสมรรถนะการทำงานหรือไม่			
a	ตำแหน่งหัววัดอุณหภูมิและมอเตอร์วัดอัตราการไหลยอมรับได้หรือไม่			
b	แสดงวิธีการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิยอมรับได้หรือไม่			
10	ไดอะแกรม/ข้อมูลของสายสัญญาณเครื่องมือตรวจวัดและควบคุมเพียงพอหรือไม่			
11	ข้อมูลสายไฟกำลังเพียงพอหรือไม่			

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม _____

Checklist 5-6

ทบทวนการวิเคราะห์สมรรถนะระบบ

ลำดับที่	รายการ	ใช่	ไม่ใช่	หมายเหตุ
1	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์_____.			
2	วิธีการวิเคราะห์เหมาะสมหรือไม่			
3	รูปแบบระบบที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ยอมรับได้หรือไม่			
4	พารามิเตอร์ที่ใส่เข้าไปถูกต้องหรือไม่ a ข้อมูลสภาวะแวดล้อม (รังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิ เป็นต้น) b พลังงานที่ต้องการและรูปแบบที่ใช้ c พารามิเตอร์ของแผงรับรังสีอาทิตย์ (พื้นที่ ความชัน และมุมเอียง) d คุณสมบัติของของไหลถ่ายเทความร้อน e พารามิเตอร์ของถังเก็บน้ำร้อน f คุณลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน g พารามิเตอร์การสูญเสียความร้อน h อัตราการไหลของวงจร i ข้อมูลค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง			
5	ผลลัพธ์ที่ได้สำหรับการใช้งานนี้สามารถยอมรับได้หรือไม่ a ความต้องการน้ำร้อนทั้งหมด (ต่อเดือนและต่อปี) b การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ c การสูญเสียการกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ d การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นประโยชน์ e สัดส่วนพลังงานแสงอาทิตย์ f การประหยัดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง			

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม _____

เอกสารอ้างอิง

1. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., **Active Solar Heating Systems Design Manual**, Atlanta, America.
2. Association of Plumbing and Heating Contrators and et al., 2007, **Solar Heating Design and Installation Guide**, Print Solutions Partnerhip, Malta.
3. The Joint Graduate School of Energy and Environment and et al., 2007, **Market Development for Solar Thermal Applications in Thailand**, King Mongkut's University of Technology Thonbury, Bangkok, Thailand.
4. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการส่งเสริมระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอาคารของรัฐ ปี 2555, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555).
5. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2560).
6. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์, 2541, การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร, พิมพ์ครั้งที่ 20, สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
7. วิบูลย์ บุญยธโรกุล, 2529, **ปั๊มและระบบสูบน้ำ**, ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.