

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ISO 8096-1

อุปกรณ์การทดสอบ

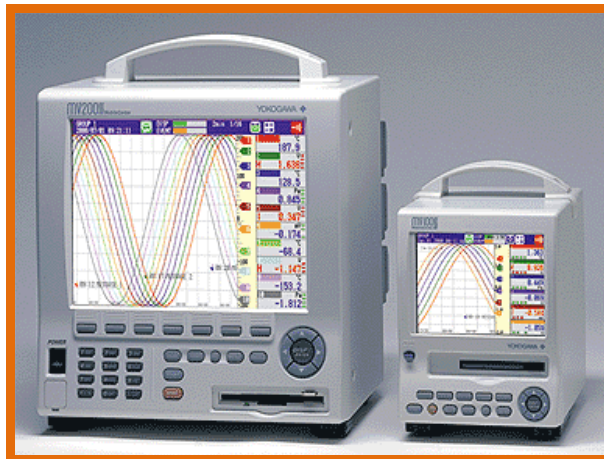
เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพพลังงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต้องมีมาตรฐานดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวม (Pyranometers) จะต้องถูกสอบเทียบสำหรับการตอบสนองต่อแสงอาทิตย์ภายใน 12 เดือน ก่อนทำการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์



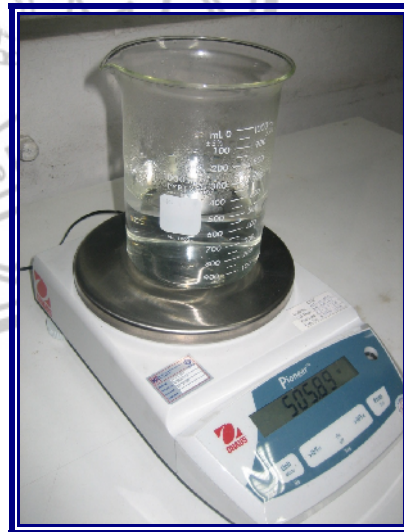
ภาพ 15 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์

2. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ มีการวัดอุณหภูมิ 3 จุด คือ อุณหภูมิของไหลที่ทางเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิของไหลที่จุดทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม
 - อุณหภูมิที่จุดทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 องศาเซลเซียส
 - การวัดความแตกต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออก ต้องมีความเที่ยงตรงในระดับ ± 0.1 เคลวิน
 - การวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อมต้องมีความเที่ยงตรงในระดับ ± 0.5 องศาเซลเซียส



ภาพ 16 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

3. เครื่องมือวัดอัตราการไหลจะต้องอยู่ในระดับ±ร้อยละ 1 ของค่าที่วัดในหน่วยมวลต่อเวลา (จะต้องถูกสอบเทียบในช่วงอัตราการไหลและอุณหภูมิที่ถูกใช้ระหว่างการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์)



ก

ข

ภาพ 17 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของของไหล

ก) วัดด้วย Rota meter ข) วัดในรูปของน้ำหนักของของไหล

4. เครื่องมือวัดความเร็วลมมีความเที่ยงตรงระดับ ± 0.5 เมตรต่อวินาที
5. เครื่องมือวัดความดันของไหลมีความเที่ยงตรงระดับ ± 3.5 กิโลปาสคาล



ภาพ 18 เครื่องมือวัดความดันการไหลของของไหล

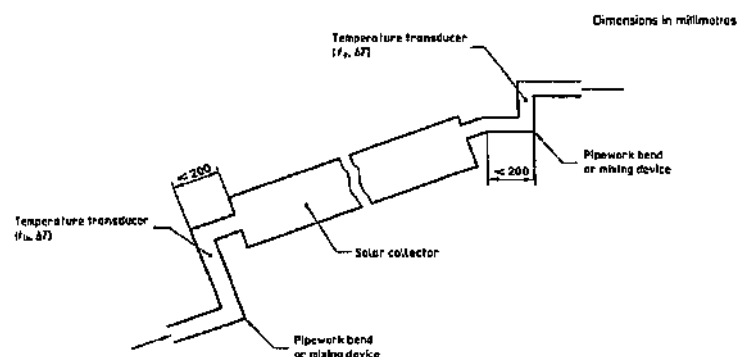
6. เครื่องมือบันทึกข้อมูล แบบ Analog และ Digital ควรมีค่าความแม่นยำ $\pm$ ร้อยละ 0.5 ของ Full scale และมี time constant 1 วินาที หรือน้อยกว่า Peak signal ควรแสดงระหว่างร้อยละ 50 ถึง 100 ของ Full scale

3.1.2 สภาวะการทดสอบ

1. Pyranometers จะต้องเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยการปล่อยทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที ก่อนทำการเริ่มต้นเก็บข้อมูล
2. รังสีอาทิตย์เฉลี่ยบนพื้นที่รับแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าอย่างน้อย 800 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่ามุมตกกระทบจะต้องไม่น้อยกว่า $\pm$ ร้อยละ 2 ของค่ารังสีตั้งฉากกับหน้าแผงหรือมุมตกกระทบไม่เกิน 30 องศา
3. ค่าความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2 เมตรต่อวินาที ถึง 4 เมตรต่อวินาที
4. อัตราการไหลของสารทำงานควรมีค่าอยู่ประมาณ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ต่อตารางเมตรของพื้นที่รวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm$ ร้อยละ 1 ในขณะที่ทำการวัดค่าการทดสอบ และไม่เกิน $\pm$ ร้อยละ 10 ระหว่างจุดข้อมูลใหม่

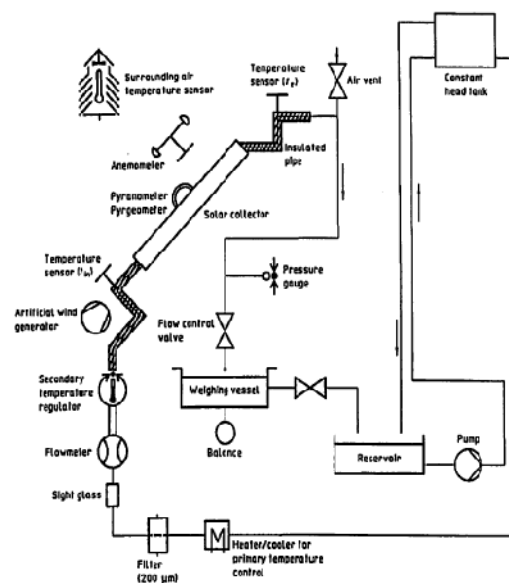
3.1.3 การเตรียมการทดสอบ

1. หัววัดอุณหภูมิสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต้องไม่ห่างเกิน 200 มิลลิเมตรจากทางเข้าและทางออกของของไหล (ถ้าจำเป็นต้องติดตั้งห่างจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์เกิน 200 มิลลิเมตร จะต้องทำการทดสอบเพื่อรับรองว่าไม่มีผลต่อการวัดอุณหภูมิของของไหล) ตามภาพ 19



ภาพ 19 ตำแหน่งหัววัดที่แนะนำสำหรับการวัดของไหลนำความร้อนที่ตำแหน่งขาเข้า และขาออก

ข.3.2 ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์และเครื่องมือวัดตามภาพ 20



ภาพ 20 แผนผังการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์และเครื่องมือวัด

3.1.4 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส และมีค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ในขณะทำการทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 800 วัตต์ต่อตารางเมตร

2. ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ดังภาพที่ 20 โดยให้มีมุมเอียงเท่ากับเส้นรุ้งของสถานที่นั้นๆ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์หันหน้าไปทางเส้นศูนย์สูตร (ทิศใต้)

3. ทำการทดสอบตั้งแต่เวลาประมาณ 09.00 น. โดยเริ่มป้อนน้ำเข้าสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในอัตราการไหลคงที่ (ในการทดสอบนี้ใช้อัตราการไหล 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที-ตารางเมตร หรือประมาณ 1.20 ลิตรต่อนาที่-ตารางเมตร โดยส่วนมากตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีพื้นที่รับแสงประมาณ 2 ตารางเมตร ดังนั้นค่าอัตราการไหลจะอยู่ประมาณ 2.4 ลิตรต่อนาที่ต่อแผง) และการควบคุมอัตราการไหลทำได้โดยใช้วาล์วปรับอัตราการไหลซึ่งอัตราการไหลต้องคงที่ โดยมีค่าความเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm 5\%$ ในขณะทำการวัดค่าการทดสอบ)

4. ปรับอุณหภูมิน้ำขาเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้คงที่เท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม โดยอาจจะใช้ Heater หรือ เครื่องทำน้ำเย็น และต้องควบคุมให้อุณหภูมิน้ำที่เข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าคงที่ตลอดการทดสอบและมีค่าความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 0.1 องศาเซลเซียส

5. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำเป็นต้องเป็นข้อมูลที่ตัวเก็บรังสีอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State) ดังนั้นการทดสอบจะต้องรอให้ระบบอยู่ในสภาวะคงตัวก่อนประมาณ 15 นาที โดยใน 15 นาทีนี้ ค่ารังสีอาทิตย์ต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกิน ± 50 วัตต์ต่อตารางเมตร จากค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่กำหนดไว้ (ไม่น้อยกว่า 800 วัตต์ต่อตารางเมตร)

6. หลังจากระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว (อย่างน้อยประมาณ 15 นาที) และอยู่ในสภาวะคงตัวอย่างน้อย 15 นาที จึงเริ่มจดบันทึกค่าที่จุดวัดต่างๆ โดยบันทึกทุกๆ 10 วินาที ซึ่งค่าที่ถูกรับบันทึกมีดังตาราง 1

ตาราง 1 รายการบันทึกข้อมูล

ตัวแปรที่ทำการวัด	หน่วยวัด
อุณหภูมิน้ำขาเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (t_{in})	องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
อุณหภูมิน้ำขาออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (t_o)	องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (t_a)	องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
ความดันขาเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์	กิโลปาสคาล (kPa)
ความดันขาออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์	กิโลปาสคาล (kPa)
รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ	วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
ความเร็วลม	เมตรต่อวินาที (m/s)

7. ในการทดสอบต้องปรับอุณหภูมิน้ำขาเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์อีก 3 ค่า(รวมทั้งหมด 4 ค่า) โดยอาจจะใช้ Heater หรือ เครื่องทำน้ำเย็น และต้องควบคุมให้อุณหภูมิน้ำที่เข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าคงที่ตลอดการทดสอบและมีค่าความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 0.1 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าอุณหภูมิน้ำขาเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบสมควรอยู่ระหว่างอุณหภูมิแวดล้อมไปจนถึงอุณหภูมิทำงานสูงสุดของตัวเก็บรังสีประมาณ 70 องศาเซลเซียส และค่าที่ใช้้นั้นควรมีระยะห่างระหว่างอุณหภูมิที่เท่าๆ กัน (ซึ่งในการทดสอบนี้สามารถสรุปค่าที่ใช้คือ 40 องศาเซลเซียส 50 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส 70 องศาเซลเซียส)
8. สำหรับค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแต่ละค่าจะต้องทำการทดสอบตามที่กล่าวมาข้างต้นไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง เพื่อให้ได้ค่าที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด 16 ค่า (หมายเหตุ: ควรทำการทดสอบวันละหนึ่งค่าอุณหภูมิ ซึ่งหมายถึงควรทำการทดสอบอย่างน้อยเป็นเวลา 4 วัน และในแต่ละวันต้องได้ข้อมูล 4 ข้อมูลที่อุณหภูมิขาเข้าเดียวกัน)
9. การทดสอบจะต้องทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ ดังตาราง 2

ตาราง 2 รายการบันทึกข้อมูลเพื่อหาค่าประสิทธิภาพพลังงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวแปรที่ทำการวัด	หน่วยวัด
พื้นที่รวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	ตารางเมตร (m ²)
พื้นที่ดูดกลืนรังสี	ตารางเมตร (m ²)
พื้นที่รับแสง	ตารางเมตร (m ²)
มวลของสารทำงานที่ไหลในตัวเก็บรังสีอาทิตย์	กิโลกรัม (kg)
ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นที่รับแสง	วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m ²)
ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กระจายบนพื้นที่รับแสง	วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m ²)
มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์(อาจได้จากการคำนวณ)	องศา
ความเร็วลม	เมตรต่อวินาที (m/s)
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	องศาเซลเซียส (°C)
อุณหภูมิของสารทำงานเข้าแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์	องศาเซลเซียส (°C)
อุณหภูมิของสารทำงานออกแผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์	องศาเซลเซียส (°C)
อัตราการไหลของสารทำงาน	กิโลกรัมต่อวินาที (kg/s)

3.1.5 การคำนวณ

การคำนวณหาประสิทธิภาพพลังงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้ใช้สูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

คำนวณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้จากสมการด้านล่าง

$$Q = \dot{m}C_p(t_0 - t_{in})$$

โดย Q คือ ความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ มีหน่วยเป็นกิโลจูล

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของของไหล มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อวินาที

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของไหล

มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน

t_{in} คือ อุณหภูมิของไหลที่ทางเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

t_o คือ อุณหภูมิของไหลที่ทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

คำนวณหาประสิทธิภาพพลังงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

$$\eta_G = \frac{Q}{A_G G}$$

โดย η_G คือ ประสิทธิภาพพลังงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

A_G คือ พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

G คือ ความเข้มของรังสีอาทิตย์บนพื้นเอียง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

หาค่าประสิทธิภาพสูงสุดเชิงแสงและสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

$$\eta_G = \eta_{OG} - U_G(t_{in} - t_a)/G$$

โดย η_G คือ ประสิทธิภาพพลังงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

η_{OG} คือ ประสิทธิภาพเชิงแสงสูงสุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

U_G คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิน

t_a คือ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

$$\eta_G = \frac{Q}{A_G G} = \frac{\dot{m} c_p (t_o - t_{in})}{A_G G} = \eta_{OG} - U_G(t_{in} - t_a)/G$$

ทำการทดลองสำหรับอุณหภูมิของของไหลตรงทางเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์หลายๆค่า และพล็อตกราฟระหว่าง η_G และ $(t_{in} - t_a)/G$ สามารถหาค่าคงที่ η_{OG} และ U_G ได้ η_{OG} คือ

จุดตัดบนแกน y (ประสิทธิภาพเชิงแสงสูงสุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์) และ U_G คือค่าความชัน (สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์)

คำนวณหาประสิทธิภาพพลังงานสูงสุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สภาวะ

1. ความเข้มของรังสีอาทิตย์บนพื้นเอียง มีค่า 800 วัตต์ต่อตารางเมตร
2. อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม มีค่า 35 องศาเซลเซียส
3. อุณหภูมิของไหลที่ทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 50 องศาเซลเซียส

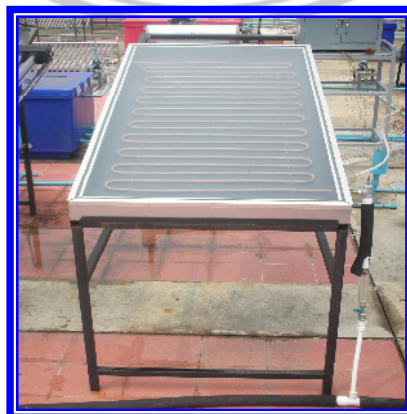
$$\eta_G = \eta_{OG} - U_G(t_{in} - t_a)/G$$

η_G เป็นประสิทธิภาพสูงสุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

3.2 รายละเอียดแผงรับแสง

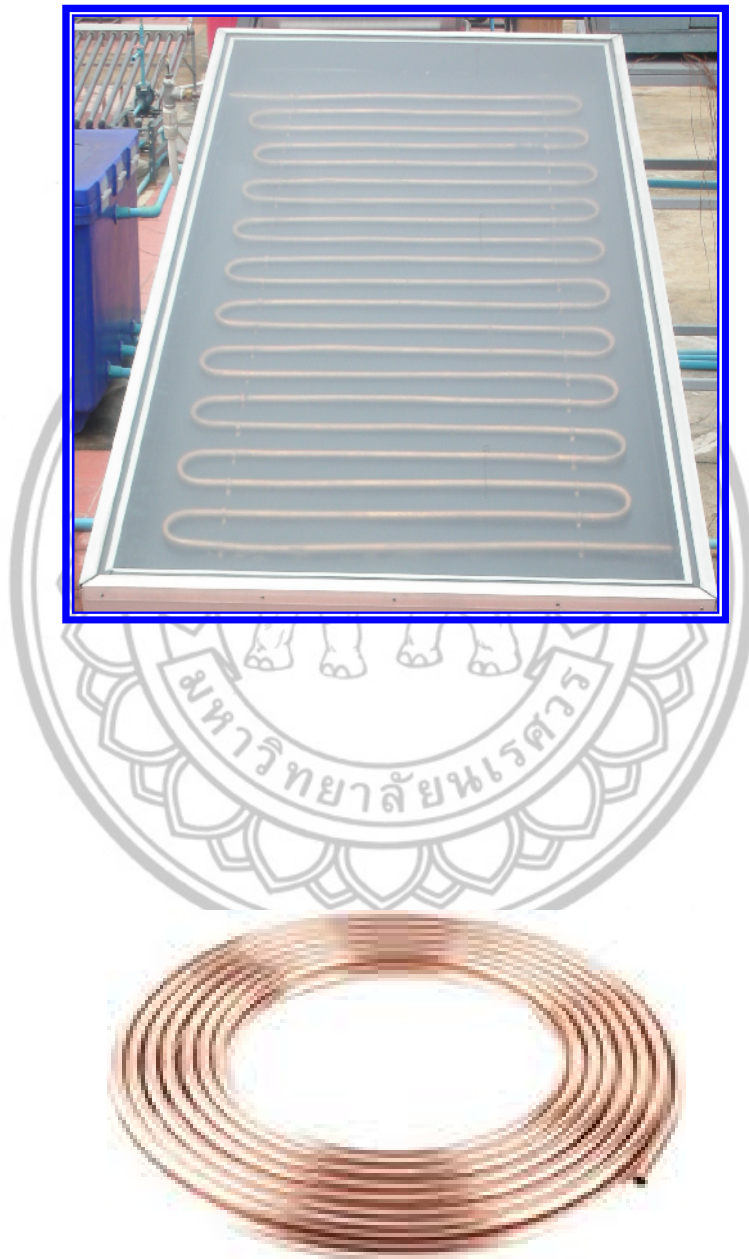
1 ขนาดภายนอกของแผง 2000 mm. X1000 mm. x 100 mm กระจกปิดด้านบน (glass cover) 5 mm ชั้นเดียว ดังรูปที่ 20

2 แผ่นดูดรังสี (absorber plate) ทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 1 mm ท่อทองแดงสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด $\varnothing$ O.D 12.7 mm ยาว 17000 mm จำนวน 21 คดไปมา ชนกันห่างกัน 80 mm ดังภาพที่ 20 และภาพที่ 21 ต่อเข้ากับท่อสำหรับน้ำเข้าและท่อน้ำออก ฉนวนกันความร้อนเป็นใยแก้วหนา 50 mm ระยะห่างระหว่างดูดรังสีกับกระจกประมาณ 100 mm แผงรับแสงเอียงทำมุม 15 องศา กับแนวระดับ (ประมาณเท่ากับมุมละติจูดของจังหวัดอุบลราชธานี หันหน้าทางทิศใต้)

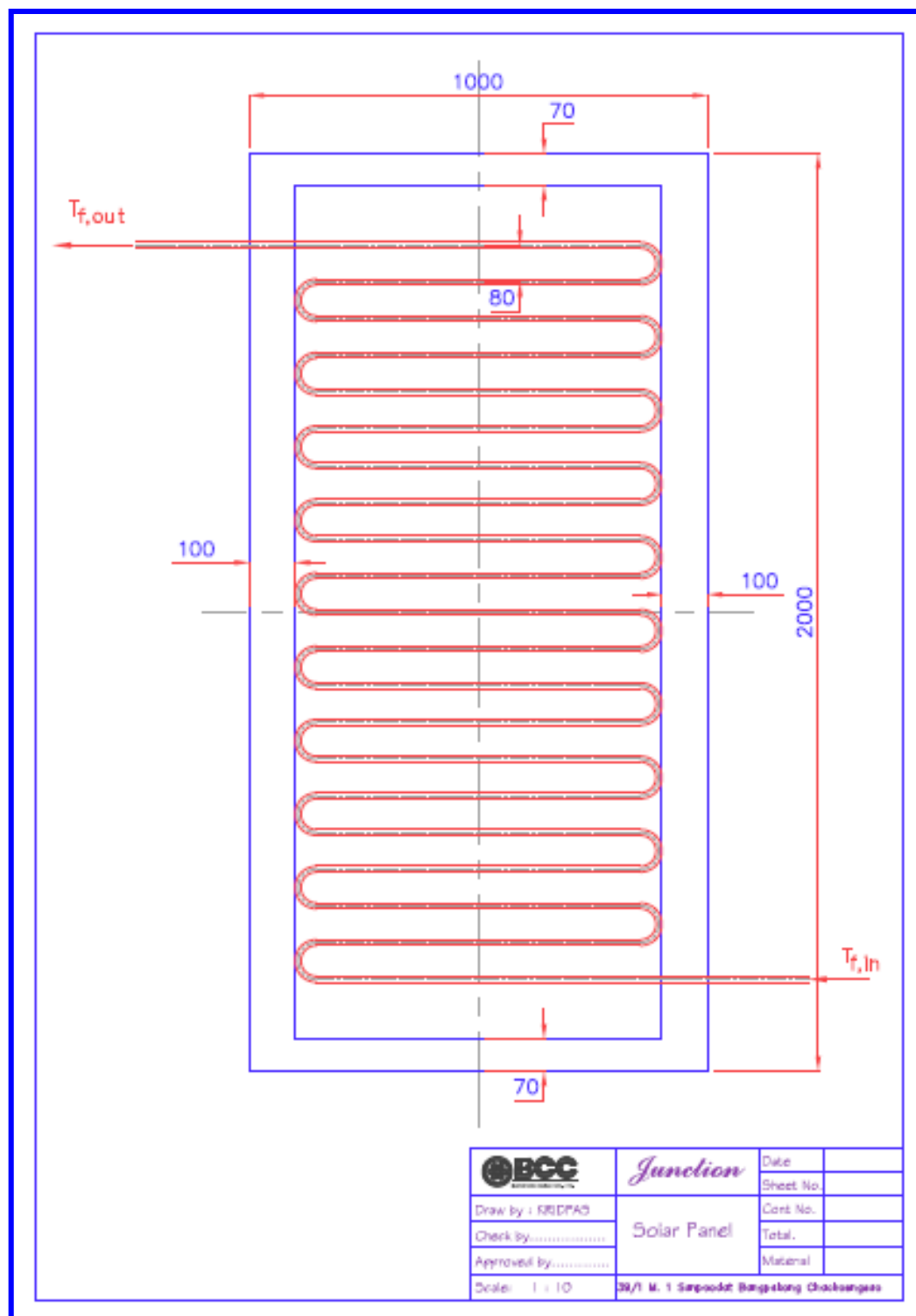


ภาพ 21 แผงรับแสงขนาดภายนอกของแผง 2000 x 1000 x 100 mm
กระจกปิดด้านบนหนา (glass cover) 5 mm

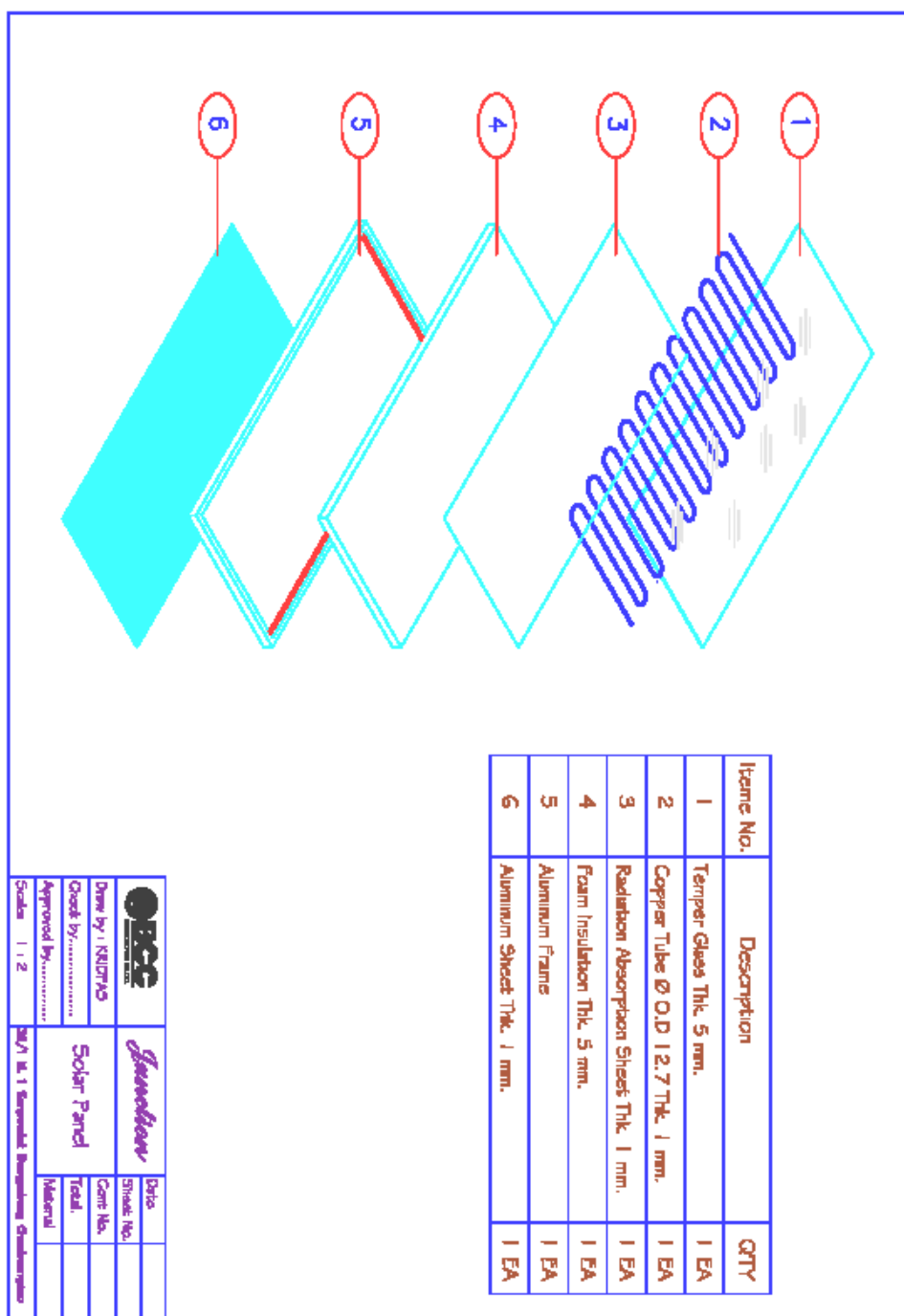
3 วางตำแหน่งวัดอุณหภูมิ 3 ตำแหน่ง คือ อุณหภูมิของน้ำตรงท่อน้ำเข้าแผง (T_{in})
อุณหภูมิของน้ำตรงท่อน้ำออกจากแผง (T_{out}) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_a)



ภาพ 22 ท่อทองแดงขนาด $\varnothing$ O.D 12.7 mm ของแผงรับแสง



ภาพ 23 การจัดวางแนวท่อทองแดงบนตัวแผงรับรังสีอาทิตย์



ภาพ 24 ส่วนประกอบของชุดทดลองเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์