บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากแนวคิดในการออกแบบเครื่องอบแห้งให้มีความสามารถผลิตกระไฟฟ้าได้ภายในเครื่องอบแห้ง แบ่งการดำเนินการวิจัยออกเป็น 7 ขั้นตอน คือ

1 การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, พลังงานที่ใช้และปริมาณความร้อนสูญเสีย

2 การทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กตริกที่เหมาะสม ทำการจำลองอุณหภูมิโดยใช้แผ่นทำความร้อน

3 การออกแบบและติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้า

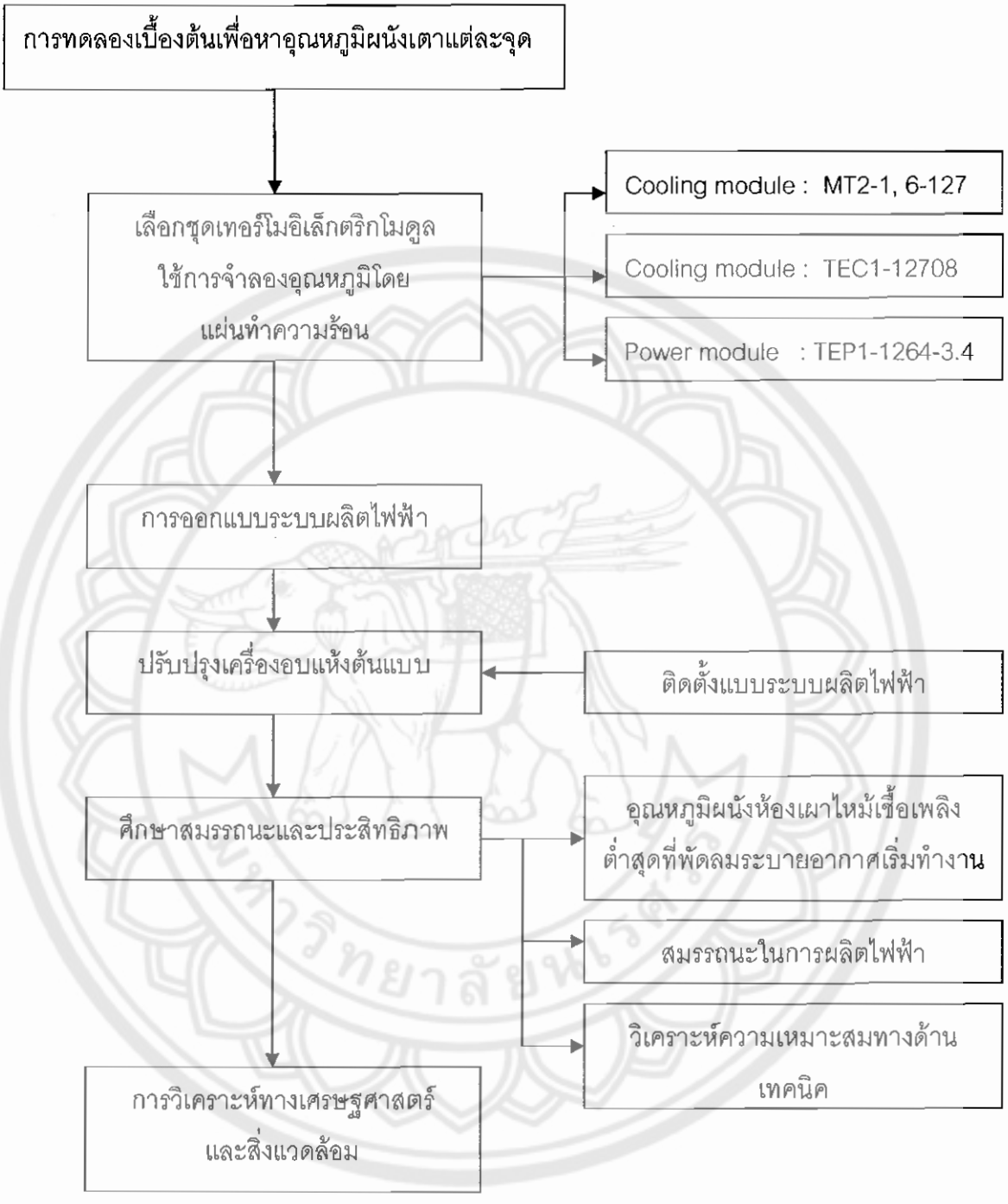
4 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า

5 การปรับปรุงเครื่องอบแห้งเพื่อลดการสูญเสียความร้อน

6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

7 ผลตอบแทนด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

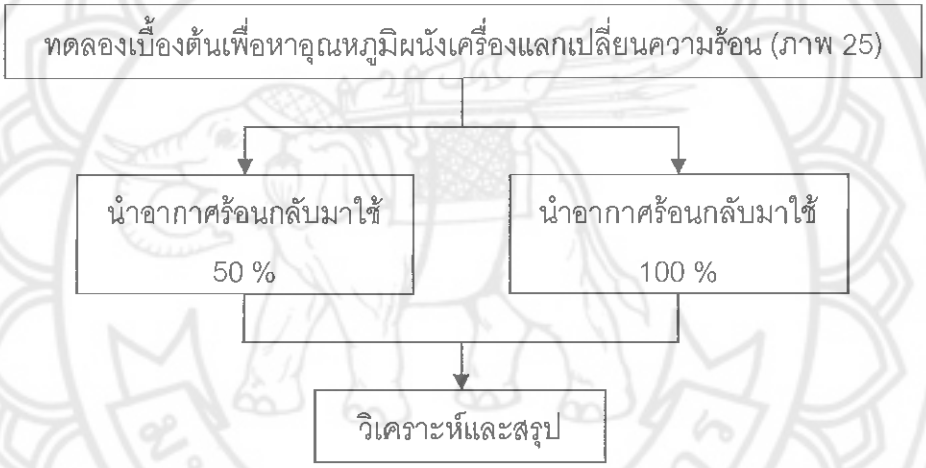
การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละจุดเพื่อทราบอุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า จากนั้นทำการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กตริกที่มีความเหมาะสมสำหรับผลิตไฟฟ้า โดยพิจารณาประสิทธิภาพและการผลิตไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อได้เทอร์โมอิเล็กตริกที่เหมาะสมจึงทำการออกแบบและติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้า จากนั้นทำการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาจุดคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงดังภาพ 23



ภาพ 23 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

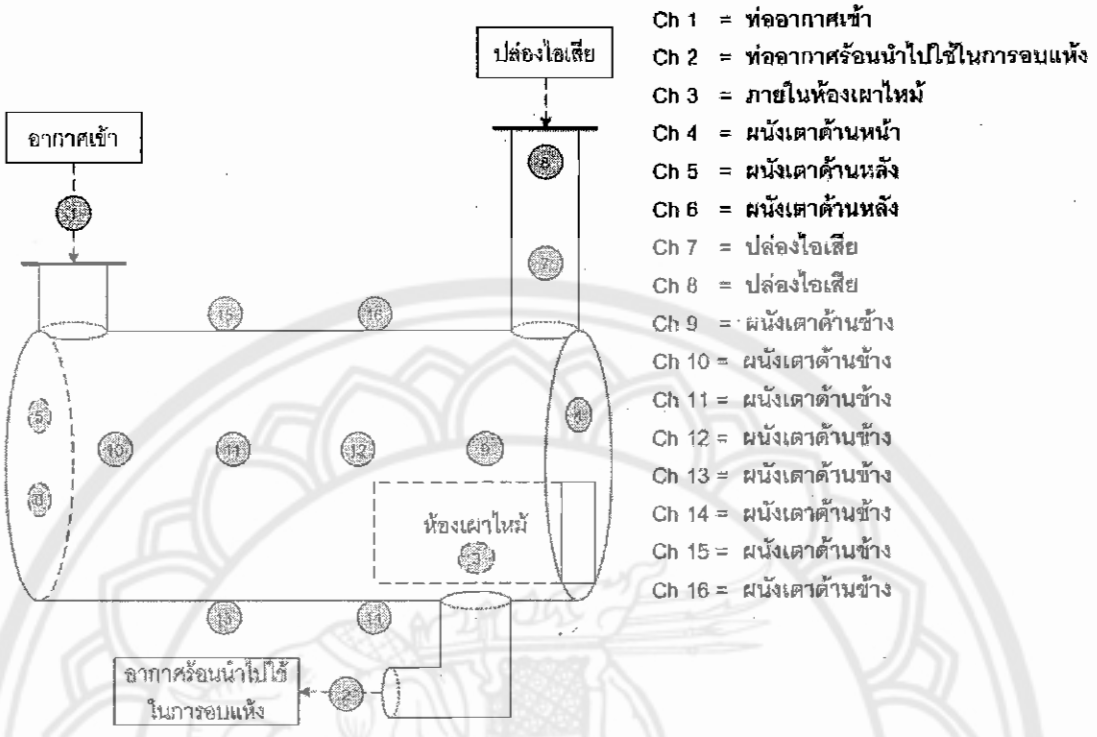
1 การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละจุด แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 และการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50 ทำการทดลองชุดละ 2 ครั้ง เพื่อทราบอุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้สำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้า เพื่อนำอุณหภูมิดังกล่าวมาใช้ในการจำลองความร้อนที่จะให้เทอร์โมอิเล็กตริก สำหรับขั้นตอนเลือกชนิดของเทอร์โมอิเล็กตริกที่เหมาะสม ใช้เวลาในการทดลองครั้งละ 2 ชั่วโมง เก็บข้อมูลทุก 1 นาที โดยมีขั้นตอนการทดลองแสดงดังภาพ 24



ภาพ 24 ขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

โดยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิโดยรอบทั้งระบบ 16 ตำแหน่ง คือ อุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยรอบ อุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าและออกจากห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ข้อมูลอุณหภูมิที่ได้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง ตลอดจนนำมาคำนวณหาปริมาณความร้อนที่สูญเสีย ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการนำความร้อนมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า [14] โดยตำแหน่งการเก็บข้อมูลสำหรับการทดลองหาอุณหภูมิผนังเตาแต่ละจุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังภาพ 25



ภาพ 25 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อหาอุณภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์การทดลองและวัดข้อมูล
2. ปรับท่อนำอากาศออกให้มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100
3. ชั่งน้ำหนักไม้ฟืนที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิง
4. เดินเครื่องพัดลมระบายอากาศและเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ
5. นำไม้ฟืนบรรจุในห้องเผาไหม้และเริ่มเผา โดยพยายามควบคุมอุณหภูมิห้องอบแห้งให้อยู่ที่ประมาณ 80 ^{o}C
6. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง หยุดเดินเครื่องพัดลมระบายอากาศและเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติทันที ดับไฟที่ไม้ฟืนแล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
7. รอจนผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่สภาวะปรกติแล้วจึงทดลองซ้ำ
8. ปรับท่อนำอากาศออกให้มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50 แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 – 7
9. วิเคราะห์และสรุป

2 การทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กตริกที่เหมาะสม

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสำหรับเลือกเทอร์โมอิเล็กตริกที่สามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ได้กำลังไฟมากที่สุด และวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Baht/Watts) รวมถึงการวิเคราะห์ผลของความต้านทานต่อการผลิตไฟฟ้า และขั้นตอนการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้า

2.1 ขั้นตอนสำหรับเลือกเทอร์โมอิเล็กตริกโมดูล

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบเทอร์โมอิเล็กตริกที่สามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดที่มีขายเชิงพาณิชย์จำนวน 3 ชนิด แบ่งเป็น

เทอร์โมอิเล็กตริกสำหรับทำความเย็น 2 ชนิด ได้แก่

2.1.1 Model A : MT2-1, 6-127

2.2.2 Model B : TEC1-12708

เทอร์โมอิเล็กตริกสำหรับผลิตไฟฟ้า 1 ชนิด ได้แก่

2.2.3 Model C : TEP1-1264-3.4

โดยมีรายละเอียดของเทอร์โมอิเล็กตริกแสดงดังตาราง 3

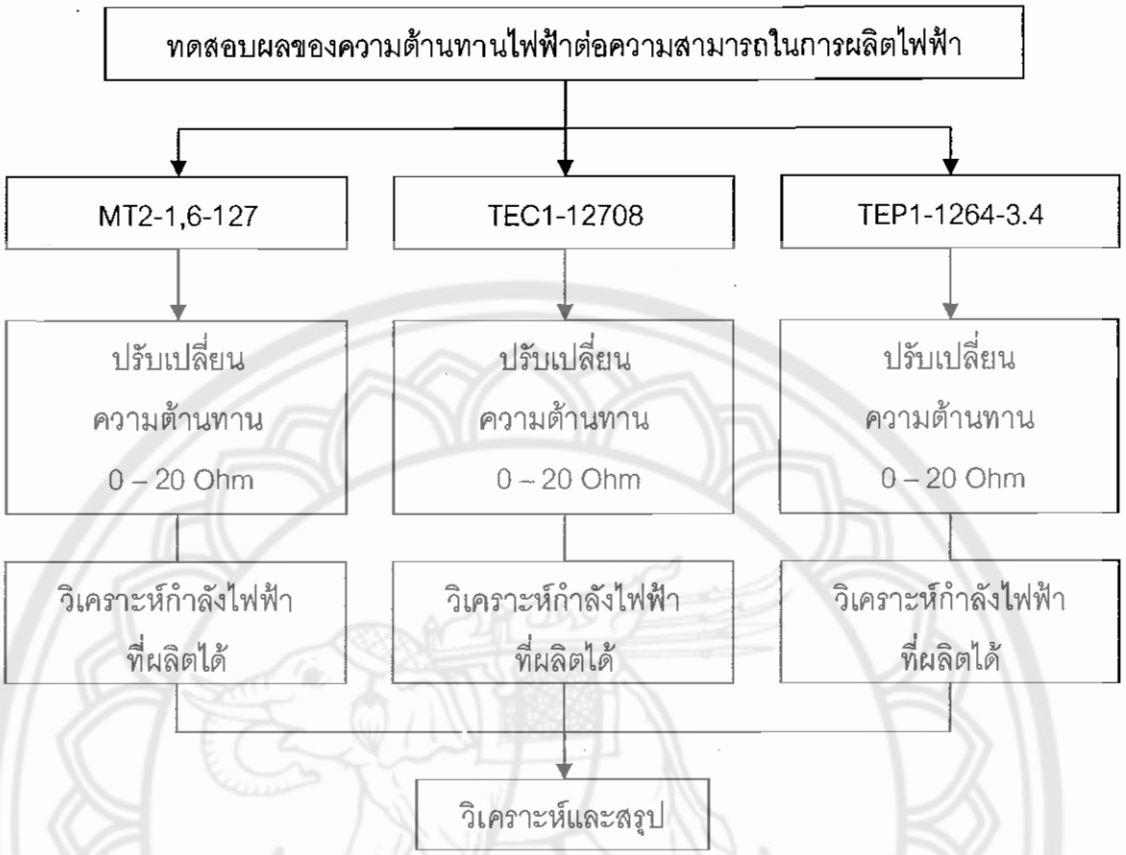
งานวิจัยนี้เลือกเทอร์โมอิเล็กตริกสำหรับทำความเย็นเพื่อทดลองผลิตไฟฟ้า เนื่องจากในการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการนำเทอร์โมอิเล็กตริกสำหรับทำความเย็นมาใช้สำหรับผลิตไฟฟ้า [7] ที่ช่วงอุณหภูมิ 100 - 300 ^{o}C และมีงานศึกษาที่พบว่าเทอร์โมอิเล็กตริกสำหรับทำความเย็นสามารถผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงกว่าเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้าที่ช่วงอุณหภูมิ 40 – 150 ^{o}C [15] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกเทอร์โมอิเล็กตริกสำหรับทำความเย็นที่มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าสูงจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการทดลองผลิตไฟฟ้าเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้าโดยตรงที่อุณหภูมิด้านร้อน 200 ^{o}C

เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กตริกสำหรับทำความเย็นมีราคาต่ำกว่าเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้า ดังนั้นเพื่อให้มูลค่าการลงทุนของระบบเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้ามีราคาต่ำ การพิจารณาเลือกเทอร์โมอิเล็กตริกที่เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้าจึงพิจารณาความสามารถในการผลิตไฟฟ้าและมูลค่าการลงทุนของระบบผลิตไฟฟ้าควบคู่กัน โดยมีรายละเอียดของเทอร์โมอิเล็กตริกแต่ละรุ่นแสดงดังตาราง 2

ตาราง 3 แสดงรายละเอียดเทอร์โมอิเล็กตริก

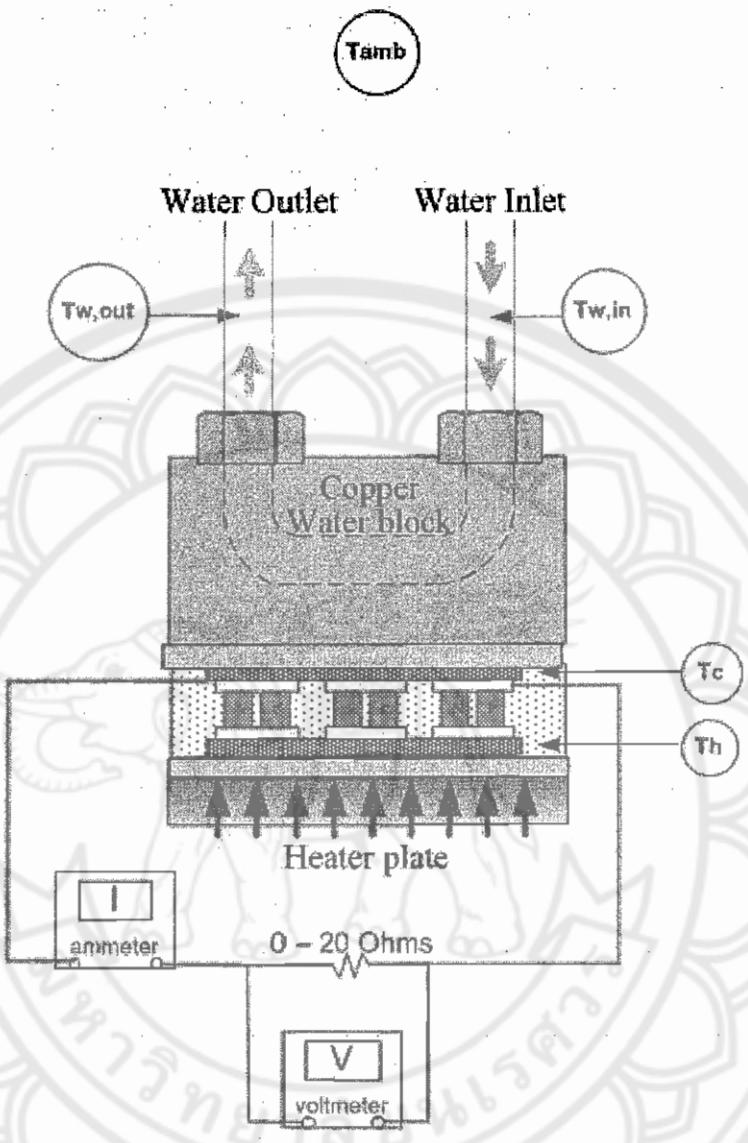
Parameter	Cooling modules		Power modules
	MT2-1,6-127	TEC1-12708	TEP1-1264-3.4
Size (mm)	40 x 40	40 x 40	40 x 40
Module hight (mm)	3.9	3.46	3.46
No. of couple (number)	127	127	126
Maximum voltage (volts)	15.4	15.0	4.3
Maximum current (amps)	6.0	8.5	0.6
Maximum power (watts)	92.4	127.5	2.6
Maximum hot side temperature (^{o}C)	140 - 150	160 - 170	225 - 250
Maximum different temperature (^{o}C)	69	68	180
Heat flow (watts/module)	53.0	68.1	60.0
Module cost (US$)	8.5	8	60

การทดสอบความสามารถในการผลิตไฟฟ้า แบ่งการทดสอบเป็น 5 ชุด ทำการทดลองชุดละ 3 ครั้งแล้วใช้การหาค่าเฉลี่ย โดยการปรับเปลี่ยนความต้านทานที่เพิ่มให้กับเทอร์โมอิเล็กตริกเป็น 0, 5, 10, 15 และ 20 Ohm ตามลำดับ ใช้เวลาในการทดลองครั้งละ 30 นาที เก็บข้อมูลทุก 1 นาที โดยมีขั้นตอนการทดลองแสดงดังภาพ 26 เพื่อหาเทอร์โมอิเล็กตริกที่สามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดในสภาวะที่กำหนด โดยการทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ สำหรับการคำนวณหาความสามารถในการผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้ในขั้นตอนการออกแบบระบบเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้า



ภาพ 26 ขั้นตอนการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กตริกที่เหมาะสม

โดยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ 7 ตำแหน่ง คือ อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก อุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าและออกจากทองแดงระบายความร้อน อุณหภูมิอากาศแวดล้อม แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กตริกแต่ละรุ่น ตลอดจนเทอร์โมอิเล็กตริกที่เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้า โดยตำแหน่งการเก็บข้อมูลสำหรับการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กตริกที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแสดงดังภาพ 27



ภาพ 27 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลการทดสอบผลิตไฟฟ้า

โดยที่

Th = อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กตริก

Tc = อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก

Tamb = อุณหภูมิแวดล้อมของระบบ

Tw,in = อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากทองแดงระบายความร้อน

Tw,out = อุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากทองแดงระบายความร้อน

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ผลิตได้

I = กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์การทดลองและวัดข้อมูล

2. ปรับแรงดันไฟฟ้าที่หม้อปรับแรงดันที่จ่ายให้กับแผ่นทำความร้อน เพื่อให้แผ่นทำความร้อนมีอุณหภูมิ 200 ^{o}C

3. เดินเครื่องหม้อแปลงปรับแรงดัน ปั๊มน้ำและเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ

4. เมื่อครบ 30 นาที หยุดเดินเครื่องหม้อแปลงปรับแรงดัน ปั๊มน้ำและเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติทันที

5. รอจนแผ่นทำความร้อนเข้าสู่สภาวะปรกติแล้วจึงทำการทดลองซ้ำ

6. เพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อกับเทอร์โมอิเล็กตริก 5 Ohm แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 – 5

7. เพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อกับเทอร์โมอิเล็กตริก 10 Ohm แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 – 5

8. เพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อกับเทอร์โมอิเล็กตริก 15 Ohm แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 – 5

9. เพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อกับเทอร์โมอิเล็กตริก 20 Ohm แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 – 5

10. วิเคราะห์และสรุป

2.2 ความสามารถในการพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน ในลักษณะของการแลกเปลี่ยนพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นความสามารถในการพาความร้อนของน้ำ คือปริมาณความร้อนที่น้ำสามารถพาออกจากด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กตริกไประบายออกทางด้านเย็น สามารถคำนวณได้จาก

$$Q = \dot{m}c_p(T_h - T_c) \quad (1)$$

โดยที่

Q = อัตราการถ่ายเทพลังงานของชุดทองแดงระบายความร้อน (W/m^2)

$\dot{m}$ = อัตราไหลเชิงมวลของน้ำระบายความร้อน (m^3/s)

Cp = ค่าความจุความร้อนของน้ำ ($kJ/kg\times^oC$)

T_h, T_c = อุณหภูมิด้านร้อนและเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก (^oC)

2.3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ หมายถึง ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเทอร์โมอิเล็กตริก หลังจากเทอร์โมอิเล็กตริกแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = IV \qquad (2)$$

โดยที่

P = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (W)

I = กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (A)

V = แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ (V)

2.4 ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าบ่งบอกถึงความสามารถของเทอร์โมอิเล็กตริกโมดูลในการผลิตไฟฟ้า โดยระบบที่ผลิตไฟฟ้าได้มากแสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นสิ่งที่เราต้องการ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta = \frac{P_o}{Q_h} \times 100\ \% \qquad (3)$$

โดยที่

η = ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กตริก (%)

P_o = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (W)

Q_h = อัตราการถ่ายเทพลังงาน (W/m^2)

2.5 ปริมาณความร้อนสูญเสีย

ปริมาณความร้อนสูญเสีย หมายถึง ปริมาณความร้อนที่แผ่ออกจากบริเวณพื้นผิวของเครื่องอบแห้งสู่สภาพแวดล้อม การติดตั้งฉนวนกันความร้อนในขั้นตอนการปรับปรุงเครื่องอบแห้งสามารถช่วยลดปริมาณความร้อนสูญเสีย เนื่องจากฉนวนกันความร้อนที่ติดตั้งมีค่าการนำความร้อนต่ำ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = (Q_m)(A) \quad (4)$$

เมื่อ

$$q_m = (h_m)(T_w - T_f) \quad (5)$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนสูญเสีย (W)

A = พื้นที่ผิววัสดุถ่ายเทความร้อน (m^2)

q_m = ค่า average heat flux (W/m^2)

h_m = ค่า heat transfer coefficient ($W/m^2 \times °C$)

T_w, T_f = อุณหภูมิผิวของเครื่องอบแห้งและอุณหภูมิอากาศ (°C)

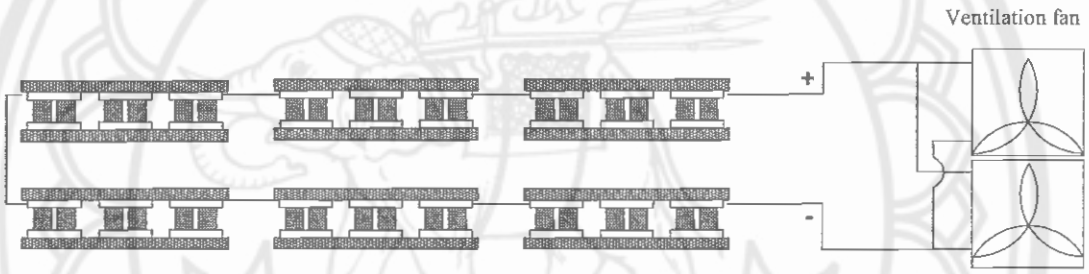
3 การออกแบบและติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้า

ในขั้นตอนนี้จะทำการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแก่เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวล เพื่อผลิตไฟฟ้าป้อนให้กับพัดลมระบายอากาศแทนการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า และเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาด 6 W

เนื่องจากมีการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศให้เหมาะกับระบบผลิตไฟฟ้า จากการศึกษาข้อมูลของพัดลมระบายอากาศพบว่าพัดลมระบายอากาศสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์มีอัตราการไหลของอากาศในปริมาณ 2.83 m^3/s ซึ่งต่ำกว่าพัดลมระบายอากาศเดิมซึ่งมีอัตราการไหลของอากาศในปริมาณ 9.56 m^3/s ดังนั้นระบบระบายอากาศที่ใช้พัดลมสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องใช้พัดลมจำนวน 4 ตัว และใช้เทอร์โมอิเล็กตริก 6 โมดูลต่อพัดลมสองตัวเพื่อผลิตไฟฟ้าป้อนให้แก่พัดลม เพื่อให้เครื่องอบแห้งชีวมวลมีอัตราการไหลของอากาศสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ในปริมาณเท่าเดิม โดยระบบหนึ่งชุดประกอบด้วย

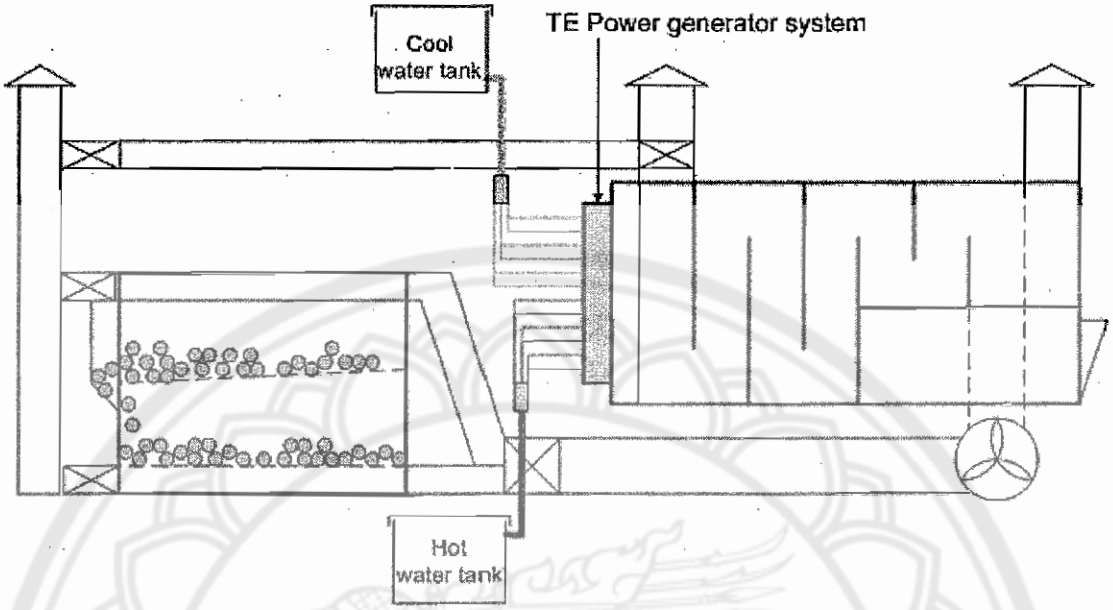
- เทอร์โมอิเล็กตริกโมดูล จำนวน 6 โมดูล
- ทองแดงระบายความร้อน จำนวน 6 ชุด
- พัดลมระบายอากาศ จำนวน 2 ตัว

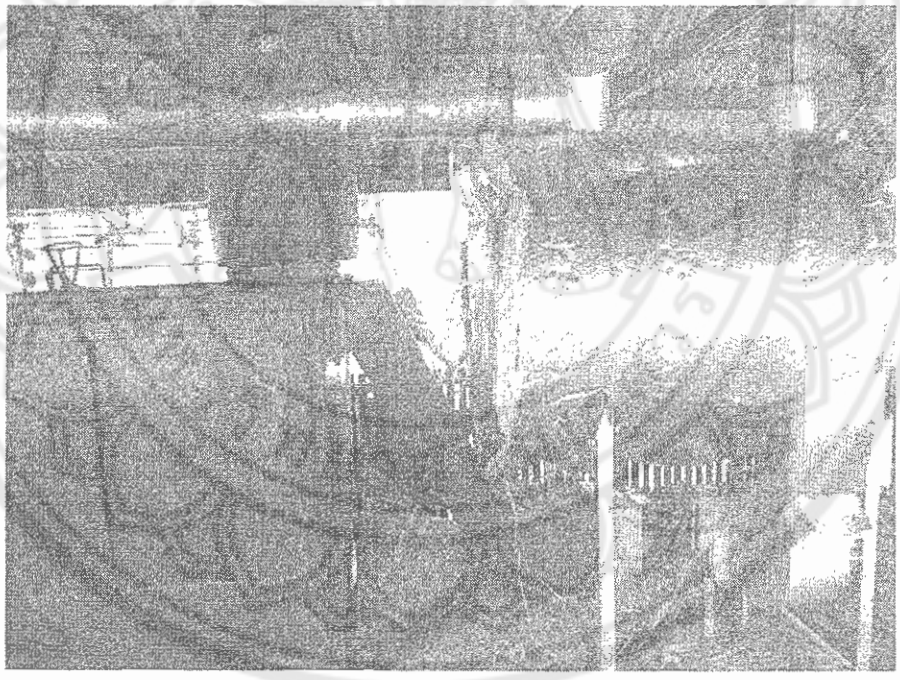
การออกแบบวงจรไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้า ใช้การเชื่อมต่อของเทอร์โมอิเล็กตริกในแบบอนุกรม เพื่อให้ได้แรงดันตามขนาดของพัดลมระบายอากาศที่ใช้ โดยการเชื่อมต่อพัดลมระบายอากาศในแบบขนานเนื่องจากไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กตริกผลิตได้มีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าความต้องการของพัดลมระบายอากาศ เพื่อลดค่ากระแสที่ไหลผ่านพัดลมระบายอากาศโดยไม่จำเป็นช่วยลดการสูญเสียไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ และเพื่อให้ได้ลมร้อนสำหรับอบแห้งเพียงพอต่อการอบแห้ง ดังนั้นจึงต้องทำการติดตั้งชุดระบายความร้อนจำนวน 2 ชุด แผนภาพวงจรไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าแสดงดังภาพ 28



ภาพ 28 วงจรไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้า

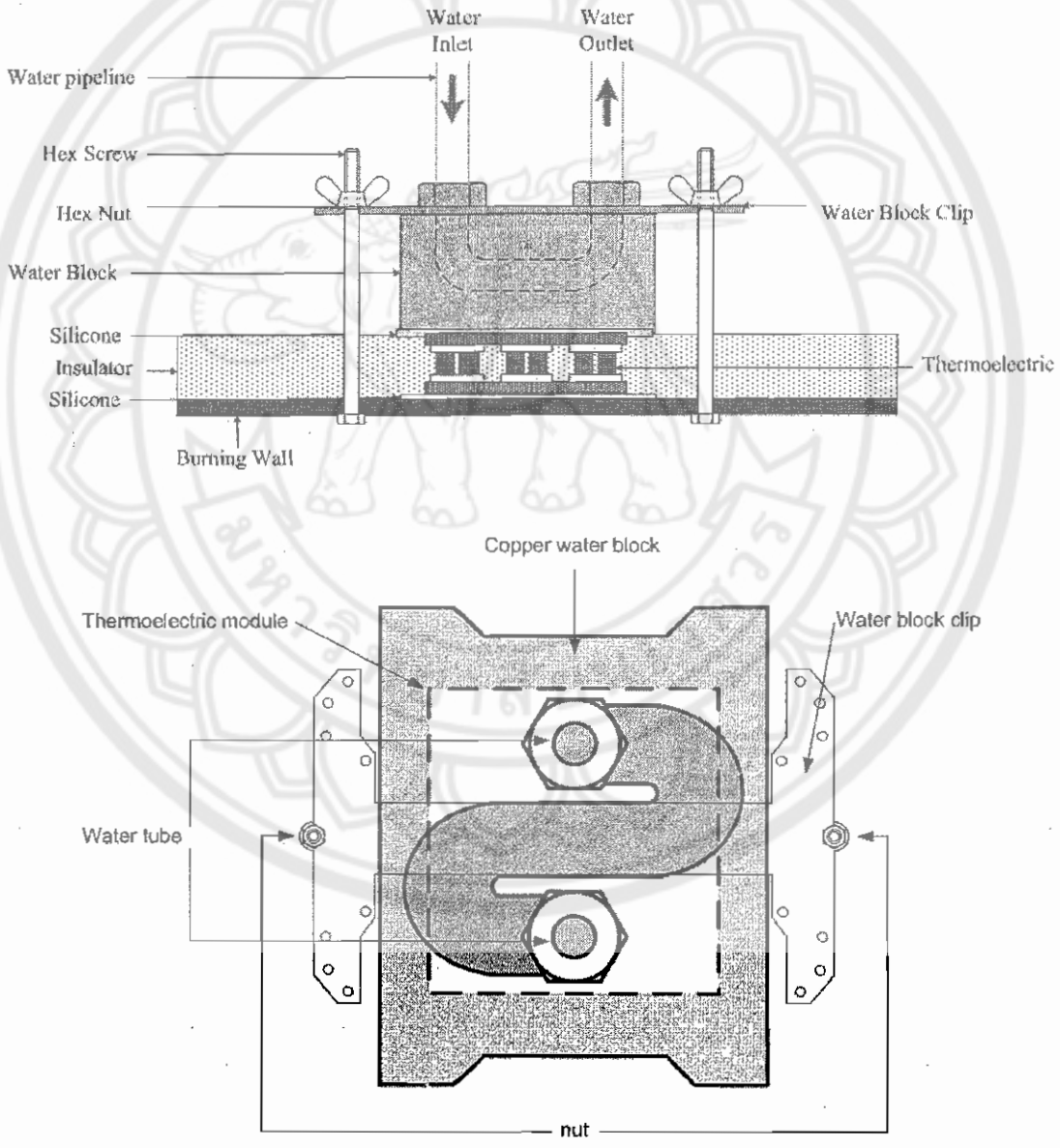
การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบ ได้ทำการติดตั้งไว้บริเวณผนังส่วนหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวสามารถติดตั้งได้ง่ายเนื่องจากมีพื้นผิวแบนราบและผนังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณดังกล่าวสามารถถอดออกเพื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าได้สะดวก โดยมีรูปแบบและตำแหน่งการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าและระบบระบายความร้อน ดังแสดงในภาพ 29





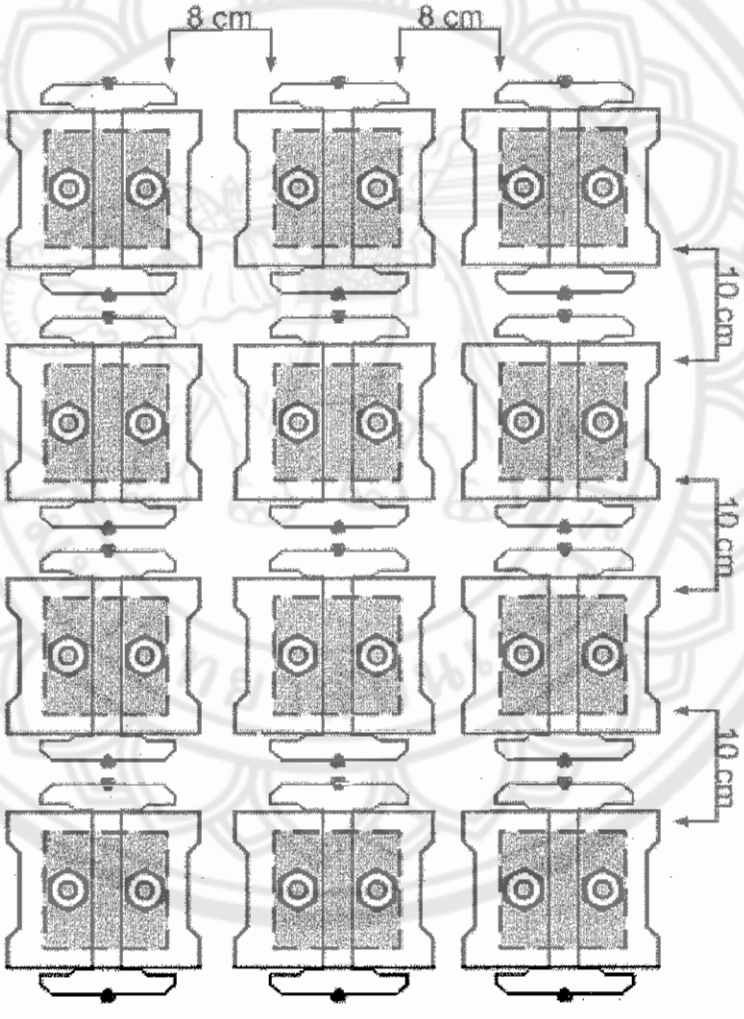
ภาพ 29 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าและระบบระบายความร้อน

ส่วนลักษณะการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อนจากด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก ใช้น๊อตและคลิปที่จำหน่ายมากับชุดทองแดงระบายความร้อนยึดติดเทอร์โมอิเล็กตริกไว้กับผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ใช้ซีลิโคนทาผิวสัมผัส (หนา 1 mm) ระหว่างเทอร์โมอิเล็กตริกและผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดช่องว่างของอากาศและช่วยให้การส่งผ่านความร้อนดีขึ้น และหุ้มฉนวนกันความร้อนจากด้านร้อนเพื่อลดการแผ่ความร้อนสู่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก แสดงแผนภาพการติดตั้งดังภาพ 30

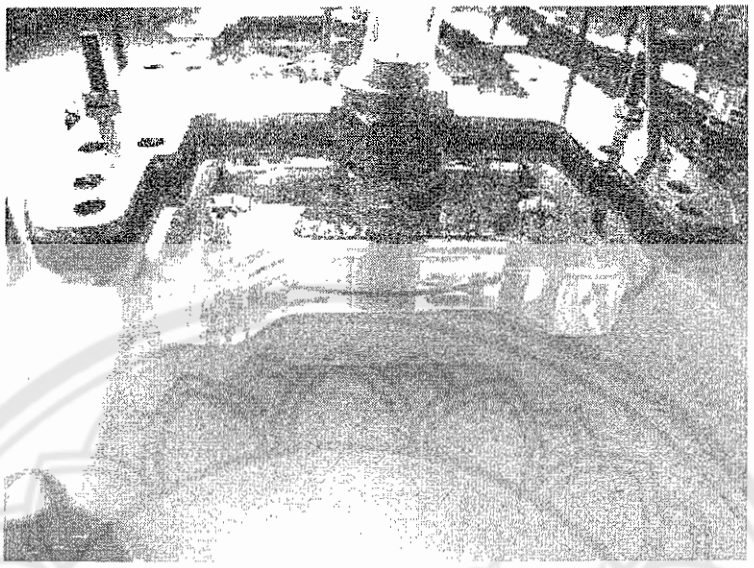


ภาพ 30 แผนภาพการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อน

สำหรับการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อน เนื่องจากพื้นที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้ามีขนาดจำกัด ดังนั้นการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อนจึงได้ทำการติดตั้งแบ่งเป็น 4 แถว แถวละ 3 ชุด โดยมีระยะห่างระหว่างเทอร์โมอิเล็กตริก 8 cm ภายในแถวและ10 cm ในแต่ละชุด แสดงแผนภาพด้านบน (top view) ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าดังภาพ 31



(ก) ภาพด้านบนการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อน

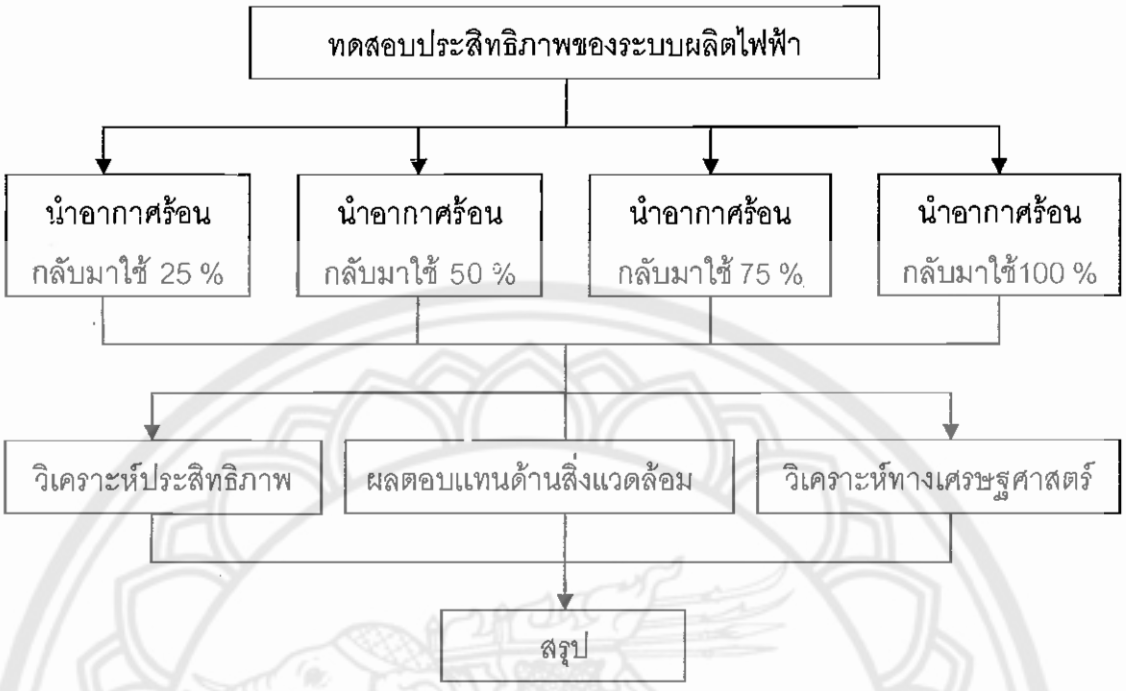


(ข) ภาพด้านข้างการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อน

ภาพ 31 การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อน

4 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้งแก่เครื่องอบแห้งชีวมวลที่ปรับปรุงแล้ว โดยการทดลองอบแห้งตู้เปล่า แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด ทดลองชุดละ 2 ครั้ง แบ่งเป็นมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100, 75, 50 และ 25 ทำการทดลองครั้งละ 2 ชั่วโมง เก็บข้อมูลทุก 1 นาที โดยมีขั้นตอนการทดลองแสดงดังภาพ 32



ภาพ 32 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์การทดลองและวัดข้อมูล
2. ปรับท่อนำอากาศออกให้มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100
3. ชั่งน้ำหนักไม้ฟืนที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิง
4. เดินเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติและก๊อกน้ำระบายความร้อน
5. นำไม้ฟืนบรรจุในห้องเผาไหม้และเริ่มเผา โดยพยายามควบคุมผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้อยู่ที่ประมาณ 200 ^{o}C
6. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง หยุดเดินเครื่องพัดลมระบายอากาศและเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติทันที ดับไฟที่ไม้ฟืนแล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
7. รอจนผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่สภาวะปรกติแล้วจึงทดลองซ้ำ
8. ปรับท่อนำอากาศออกให้มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 75 แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 – 7
9. ปรับท่อนำอากาศออกให้มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50 แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 – 7

10. ปรับท่อนำอากาศออกให้มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 25 แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 – 7

9. วิเคราะห์และสรุป

5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการประเมินอัตรามูลค่าเงินลงทุนรายปี ต่ออัตราผลตอบแทนรายปี เพื่อหาระยะเวลาคืนทุนของระบบ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้สมมติฐานเบื้องต้นในส่วนที่เป็นต้นทุนคงที่ ดังนี้ [3]

5.1 ค่าใช้จ่ายด้านระบบระบายอากาศ

- กำหนดอายุการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้า (L_m) 10 ปี
- กำหนดอายุการใช้งานของสายพานมอเตอร์ (L_b) 3 เดือน
- กำหนดอายุการใช้งานของเทอร์โมอิเล็กตริก (L_{TE}) 20 ปี [25]
- กำหนดอายุการใช้งานของพัดลมระบายอากาศ (L_f) 5 ปี
- กำหนดอัตราดอกเบี้ยตลอดอายุการใช้งาน (r) 7.50 บาท/ปี [16]

(อัตราดอกเบี้ยลูกค้ารายคน ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร)

5.2 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

- ค่าไฟฟ้า (C_e) 2.7 บาท/หน่วย [17]
- ราคาเชื้อเพลิง (C_f) 3 บาท/กิโลกรัม
- ระยะเวลาอบแห้งรายปี (Td) 450 ชั่วโมง/ปี

5.3 ค่าบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้า

- อุปกรณ์ไฟฟ้า (สายไฟ สวิทช์) (C_a) 50 บาท/ปี

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาเปรียบเทียบถึงจุดคุ้มทุนของระบบก่อนและหลังการติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้า

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตไฟฟ้า [18]

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาทั้งหมดที่โครงการจะให้กระแสเงินสดสุทธิรวมเท่ากับทุนที่จ่ายเมื่อเริ่มแรกพอดี ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตไฟฟ้า จึงหมายถึงระยะเวลาทั้งหมดที่การอบแห้งผลิตภัณฑ์จะให้ผลตอบแทนสุทธิเท่ากับเงินทุนที่จ่ายไปสำหรับสร้างระบบผลิตไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จาก

$$PBP = \frac{C_{TE}}{B_t} \quad (6)$$

โดยที่

PBP = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

C_{TE} = เงินลงทุนรายปีของระบบผลิตไฟฟ้า (บาท)

B_t = ผลตอบแทนสุทธิรายปี (บาท)

โดยผลตอบแทนสุทธิรายปีคำนวณได้จาก

$$B_t = C_m - C_{TE} \quad (7)$$

โดยที่

C_m = เงินลงทุนรายปีของระบบมอเตอร์ไฟฟ้า (บาท)

C_{TE} = เงินลงทุนรายปีของระบบผลิตไฟฟ้า (บาท)

ในการคำนวณหาเงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งรายปี สามารถหาได้จาก

$$FCA = (FC)(CRF) \quad (8)$$

โดยที่

FCA = First cost on Annual basis

= มูลค่าเงินลงทุนเบื้องต้นรายปี (บาท)

FC = First Cost

= มูลค่าเงินลงทุนเบื้องต้น (บาท)

CRF = Capital Recovery Factor

$= \frac{[i(1+i)]^n}{[(1+i)^n]-1}$ โดยที่ (i = อัตราดอกเบี้ย, %) และ (n = จำนวนปี)

1.6 ผลตอบแทนด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้ใช้การศึกษาถึงการลดปริมาณการใช้พลังงานในการอบแห้ง การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจากปริมาณการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลและการใช้พลังงานไฟฟ้าในการอบแห้งที่ลดลง เพื่อศึกษาผลตอบแทนทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับพื้นที่ป่าไม้รายปีที่สามารถลดการถูกทำลายทั่วประเทศ และการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้สมมติฐานเบื้องต้น จากผลการวิเคราะห์โดยใช้สมการที่ (4) พบว่าการใช้พลังงานความร้อนของเครื่องอบแห้งชีวมวล สามารถสรุปได้ดังนี้

- พลังงานความร้อนที่ใช้ก่อนการปรับปรุง 60,249.6 kJ / hr
- พลังงานความร้อนที่ใช้หลังการปรับปรุง 28,116.45 kJ / hr
- ระยะเวลาอบแห้งรายปี 450 hr / year

สมการที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักไม้ยูคาลิปตัสรายปีที่ประหยัดได้ทั่วประเทศ

พลังงานความร้อนจากไม้ยูคาลิปตัสที่ประหยัดได้หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้งและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า สำหรับการอบแห้งรายปีของเครื่องอบแห้งชีวมวลทั่วประเทศ สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{น้ำหนักไม้ยูคาลิปตัส (kg)} = \frac{\text{พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ทั่วประเทศ (kJ)}}{\text{ค่าความจุความร้อนของไม้ยูคาลิปตัส (kJ/kg)}} \qquad (9)$$

พื้นที่ป่าไม้รายปีที่สามารถลดการถูกทำลายได้ทั่วประเทศ

การพิจารณาผลตอบแทนด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่าจากน้ำหนักไม้ยูคาลิปตัสรายปีที่ประหยัดได้ทั่วประเทศ สามารถคำนวณหาพื้นที่ป่าไม้รายปีที่สามารถลดการถูกทำลายได้ทั่วประเทศได้จากสมการ

$$\text{พื้นที่ป่าไม้(ไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักไม้(kg)}}{\text{ผลผลิตต่อไร่}(m^3/\text{ไร่}) \times \text{ความหนาแน่นของเนื้อไม้}(kg/m^3)} \qquad (10)$$

การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วประเทศ

จากการศึกษาถึงการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเนื่องจากการลดใช้พลังงานจากไม้ฟืนและการยกเลิกการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าในกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ ในการสร้างเนื้อไม้ 1 ตัน จะต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 1.81 ตัน ในขณะเดียวกันต้นไม้ก็จะคายก๊าซออกซิเจนกลับคืนสู่ธรรมชาติ 1.30 ตัน ดังนั้นถ้ามีการปลูกไม้ยูคาลิปตัสและดูแลอย่างดีในพื้นที่ 1 ไร่ นอกจากจะได้ผลผลิตเป็นเนื้อไม้น้ำหนักประมาณ 15,000 กิโลกรัม (ที่อายุ 5 ปี) ก็เท่ากับว่าสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ประมาณ 27,000 กิโลกรัม และต้นยูคาลิปตัสจะคายก๊าซออกซิเจนคืนสู่ธรรมชาติถึง 19,500 กิโลกรัม [19]

ในขณะที่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยจากรายงานการใช้พลังงานของประเทศไทย ของกรมพัฒนาและอนุรักษ์พลังงาน [20] สามารถคำนวณได้จากค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าหารด้วยปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้

การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปีจากการปรับปรุงเครื่องอบแห้งชีวมวลและติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้า สามารถหาได้จาก

$$CO_{2,save} = CO_{2,before} - CO_{2,after} \quad (11)$$

โดยที่

$CO_{2,save}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 ที่ลดลงจากการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

$CO_{2,before}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 ก่อนการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

$CO_{2,after}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

หรือสามารถคิดเป็นร้อยละได้จาก

$$CO_2 = \frac{CO_{2,after}}{CO_{2,before}} \times 100 \quad (12)$$

โดยที่

CO_2 = สัดส่วนการปล่อย CO_2 ที่ลดลง

$CO_{2,before}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 ก่อนการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

$CO_{2,after}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

การประมวลผลข้อมูล

ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้มีขั้นตอนที่จำเป็นต้องเก็บผลการทดลองในลักษณะของข้อมูลตัวเลขในขั้นตอนดังนี้ การทดลองอบแห้งเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กตริกที่เหมาะสมกับระบบเทอร์โมอิเล็กตริกผลิตไฟฟ้า และการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้า ข้อมูลจากการทดลองที่ได้นำไปใช้ในการสรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผล สำหรับงานวิจัยนี้ใช้การวัดค่ากลางของข้อมูลโดยการหาค่ามัธยฐาน (median) ซึ่งเป็นการหาค่าโดยอาศัยข้อมูลที่อยู่ตรงกลางของข้อมูลหลังจากที่เรียงลำดับข้อมูล สามารถหาได้จาก

- ถ้าจำนวนข้อมูล (N) เป็นจำนวนคี่

$$\text{มัธยฐาน} = \text{ค่าของข้อมูลตัวที่}\frac{N+1}{2} \tag{13}$$

- ถ้าจำนวนข้อมูล (N) เป็นจำนวนคู่

$$\text{มัธยฐาน} = \frac{\left[\text{ค่าของข้อมูลตัวที่}\frac{N}{2} + \text{ค่าของข้อมูลตัวที่}\left(\frac{N}{2}+1\right)\right]}{2} \tag{14}$$

โดยข้อมูลจากการทดลองที่มาใช้ในการสรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลในงานวิจัยนี้ใช้การหาค่ามัธยฐานจากกลุ่มข้อมูลเดียวกันจากการทดลองสำหรับการวิเคราะห์ผล เพื่อความเหมาะสมและความสะดวกในการแสดงผล ดังนั้นผลการทดลองที่แสดงในงานวิจัยนี้เป็นค่าที่ได้จากการหาค่ามัธยฐานของผลการทดลองในแต่ละขั้นตอน

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็นอุปกรณ์สำหรับทดลองและเครื่องมือสำหรับบันทึกข้อมูล ได้แก่

1 อุปกรณ์สำหรับทดลอง

อุปกรณ์สำหรับทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

1.1 เทอร์โมอิเล็กตริกโมดูล

สำหรับทดสอบความสามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ได้กำลังไฟมากที่สุด ในงานวิจัยนี้ใช้ชุดเทอร์โมอิเล็กตริกโมดูลที่มีขายตามท้องตลาดจำนวน 3 ชนิด แบ่งเป็น

ชุดเทอร์โมอิเล็กตริกโมดูลสำหรับทำความเย็น 2 ชนิด ได้แก่

1.1.1 Model A : MT2-1, 6-127

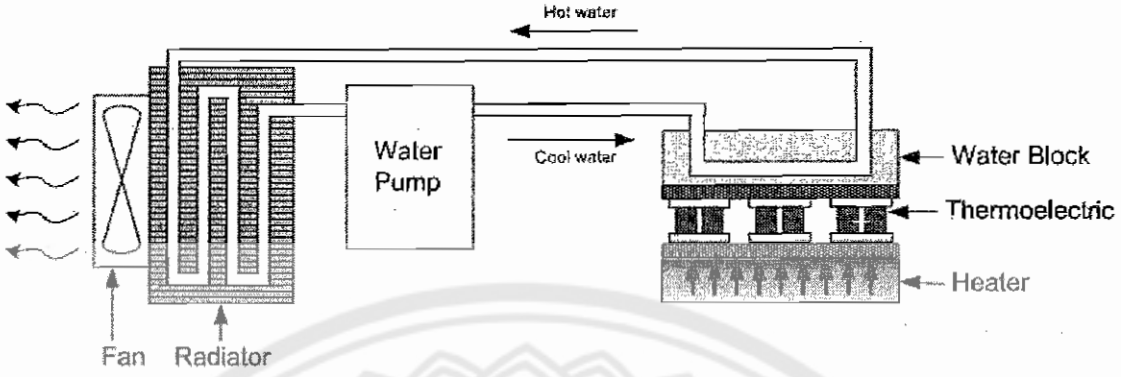
1.1.2 Model B : TEC1-12708

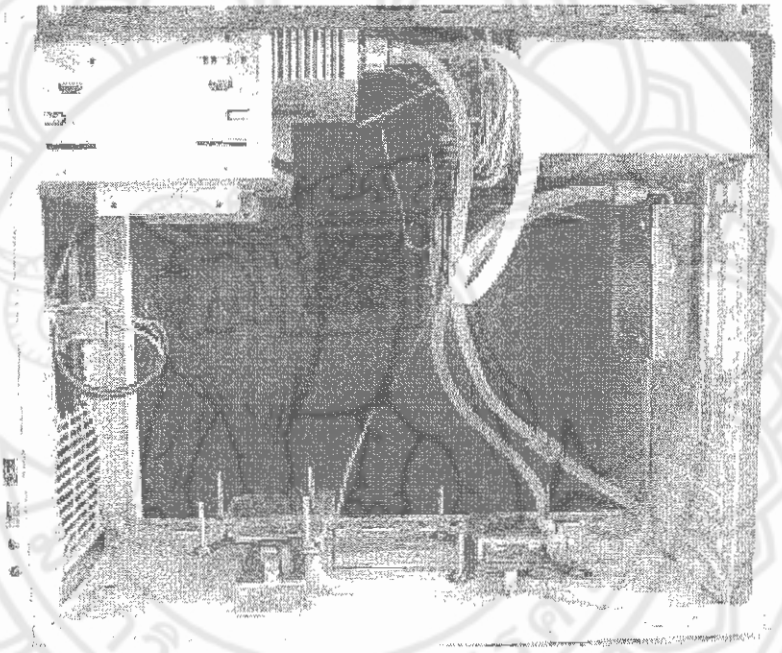
ชุดเทอร์โมอิเล็กตริกโมดูลสำหรับผลิตไฟฟ้า 1 ชนิด ได้แก่

1.1.3 Model C : TEP1-1264-3.4

1.2 ชุดทดสอบการผลิตไฟฟ้า

สำหรับทดสอบความสามารถผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กตริกโมดูล โดยจำลองการผลิตไฟฟ้าจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ประกอบด้วยแผ่นความร้อน ชุดทองแดงระบายความร้อน รังผึ้งและพัดลมระบายความร้อน และปั๊มน้ำ ดังภาพ 33



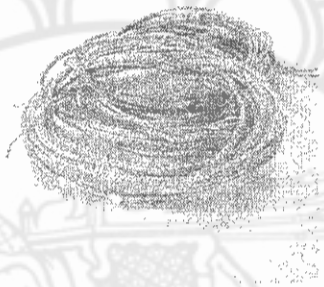


ภาพ 33 ชุดทดสอบการผลิตไฟฟ้า

2 เครื่องมือสำหรับบันทึกข้อมูล

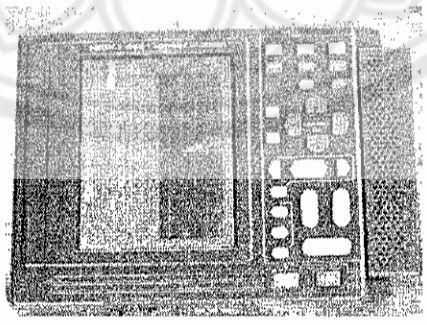
เครื่องมือสำหรับบันทึกข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

2.1 สายเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) สำหรับการวัดอุณหภูมิในการทดลอง แสดงผลเป็นองศาเซลเซียส (°C) อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิลแบบเค (thermocouple type K) ดังภาพ 34 วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -200 °C ถึง 1,370 °C ต่อเข้ากับช่องสัญญาณของเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger)



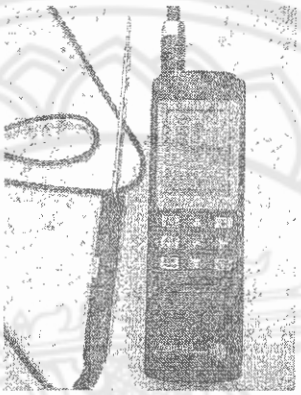
ภาพ 34 สายเทอร์โมคัปเปิลแบบเค

2.2 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) เป็นเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้หลายรูปแบบ เช่น อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า ฯ มีช่องสัญญาณจำนวน 32 ช่องสัญญาณ (HIOKI 8422-51) ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก อุณหภูมิน้ำระบายความร้อน แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กตริกผลิตได้ แสดงดังภาพ 35



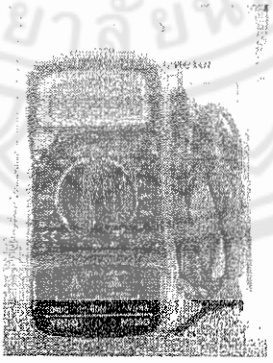
ภาพ 35 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

2.3 เครื่องวัดความเร็วลม (air velocity meter) เป็นเครื่องวัดความเร็วอากาศแบบ hot wire ซึ่งสามารถวัดได้หลายรูปแบบ คือ ความเร็วลม อัตราการไหลอากาศ และอุณหภูมิ (Testo 445) ค่าความผิดพลาด ±0.015 เมตรต่อวินาที ใช้สำหรับวัดความเร็วของลมจากพัดลมระบายอากาศที่ไหลจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไปยังห้องอบแห้ง แสดงดังภาพ 36



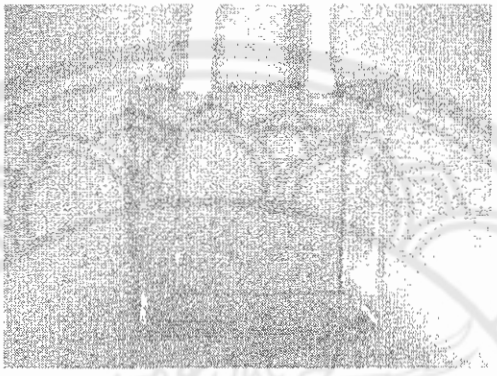
ภาพ 36 เครื่องวัดความเร็วลม

2.4 เครื่องวัดมัลติมิเตอร์ (digital multimeter) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าทางไฟฟ้า ใช้สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า ในขั้นตอนการทดลองสำหรับเลือกเทอร์โมอิเล็กตริก แสดงดังภาพ 37



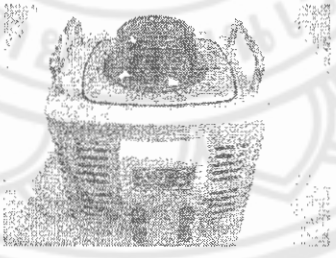
ภาพ 37 เครื่องวัดมัลติมิเตอร์

2.5 แผ่นทำความร้อน (heater) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน สำหรับจำลองความร้อนให้แก่เทอร์โมอิเล็กตริกในการทดสอบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กตริก ขนาด 200 Watts ทำความร้อนสูงสุด 260 °C ดังภาพ 38



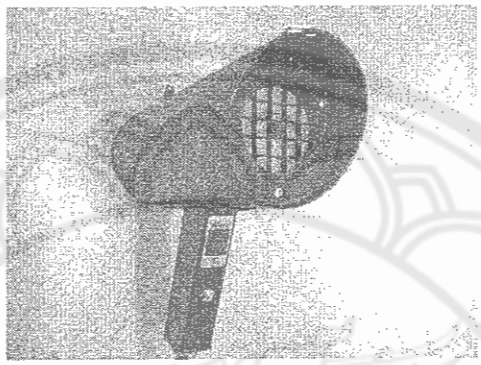
ภาพ 38 แผ่นทำความร้อน

2.6 หม้อแปลงปรับแรงดัน (Variac) เป็นเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าแก่แผ่นทำความร้อนเพื่อทำความร้อนในการทดสอบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กตริก สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 0 - 350 Volts ดังภาพ 39



ภาพ 39 หม้อแปลงปรับแรงดัน

2.7 เครื่องวัดความร้อนสูญเสีย (heat flowmeter) เป็นเครื่องวัดปริมาณความร้อนที่แผ่ออกจากผิววัสดุ ใช้วัดความร้อนที่สูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเปรียบเทียบความร้อนที่สูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนและหลังการปรับปรุง ดังภาพ 40



ภาพ 40 เครื่องวัดความร้อนสูญเสีย