

บทที่ 4

การดำเนินงานและผลการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยการปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายความร้อน การทดลองผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่พัฒนาขึ้น การทดสอบและการประเมินเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้นี้ใหม่กับงานวิจัยที่พัฒนาไว้เดิม ได้แก่ กำลังการผลิตไฟฟ้า ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย ประสิทธิภาพและต้นทุน เป็นต้น มีลำดับขั้นดังนี้

- ก. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า
- ข. การทดสอบระบบผลิตน้ำร้อน
- ค. การทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับผนังเซลล์ด้านร้อน
- ง. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยความร้อนที่พัฒนาขึ้น
- จ. การประเมินราคาไฟฟ้าต่อหน่วย ประสิทธิภาพและต้นทุน

4.1 การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

จากการศึกษาผลงานวิจัยเดิมพบว่าข้อจำกัดในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เป็นประเด็นหลัก คือ ส่วนของการระบายความร้อนจากพื้นผิวของแผ่นระบายความร้อนที่ผนังด้านเย็นของเซลล์ความร้อน ซึ่งเดิมใช้พัดลมช่วยในการบังคับให้อากาศพาความร้อนจากผิวครีบของแผ่นระบายความร้อนแต่ต้องการกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เปลี่ยนระบบระบายความร้อนมาใช้น้ำเป็นตัวพาความร้อน โดยในการศึกษาผลการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนเปรียบเทียบกับระหว่างการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเซลล์ความร้อนที่มีโครงสร้างเหมือนกันต่างกันที่ระบบระบายความร้อน โดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

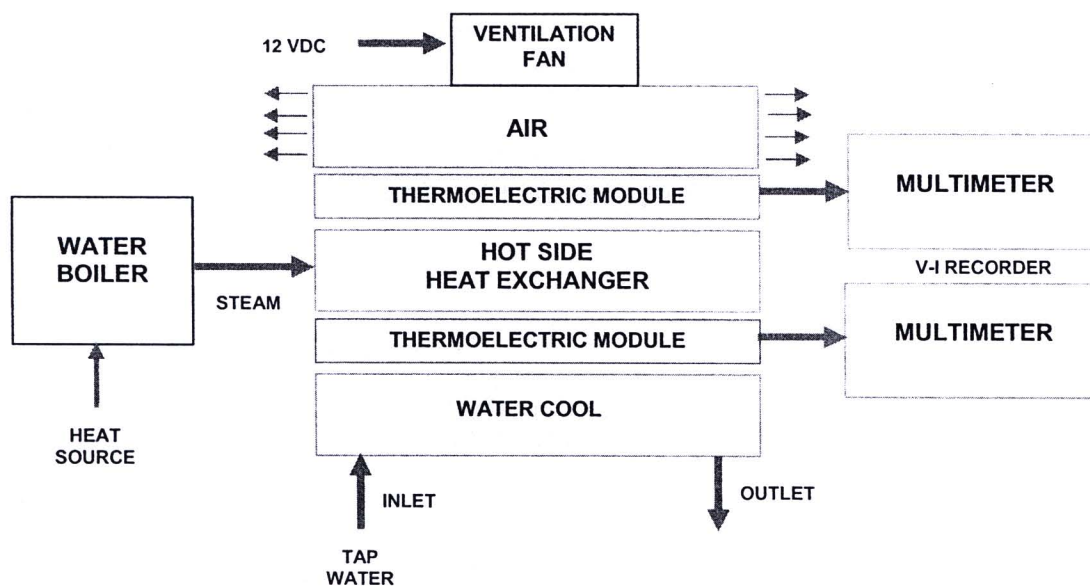
1. ชุดโมดูลเซลล์ความร้อนขนาด 24 cells ที่สร้างขึ้น 2 รูปแบบ
2. ชุดผลิตไอน้ำด้วยเตาไฟฟ้าขนาด 4,000 วัตต์ จำนวน 1 ชุด
3. เทอร์โมคัปเปิลแบบ Type k (Chromel – Alumel) จำนวน 4 ชุด
4. เครื่องวัดอุณหภูมิจำนวน ของ LINE SEIKI รุ่น TC - 1100 จำนวน 1 ชุด
5. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ของ OMEGA รุ่น OMEGAETTE HHM93 จำนวน 2 ตัว
6. หลอดไฟฟ้าแบบไส้ขนาดกำลังไฟฟ้าต่างๆ 1 ชุด

7. ถ้วยตวงปริมาตรน้ำขนาด 1 ลิตร

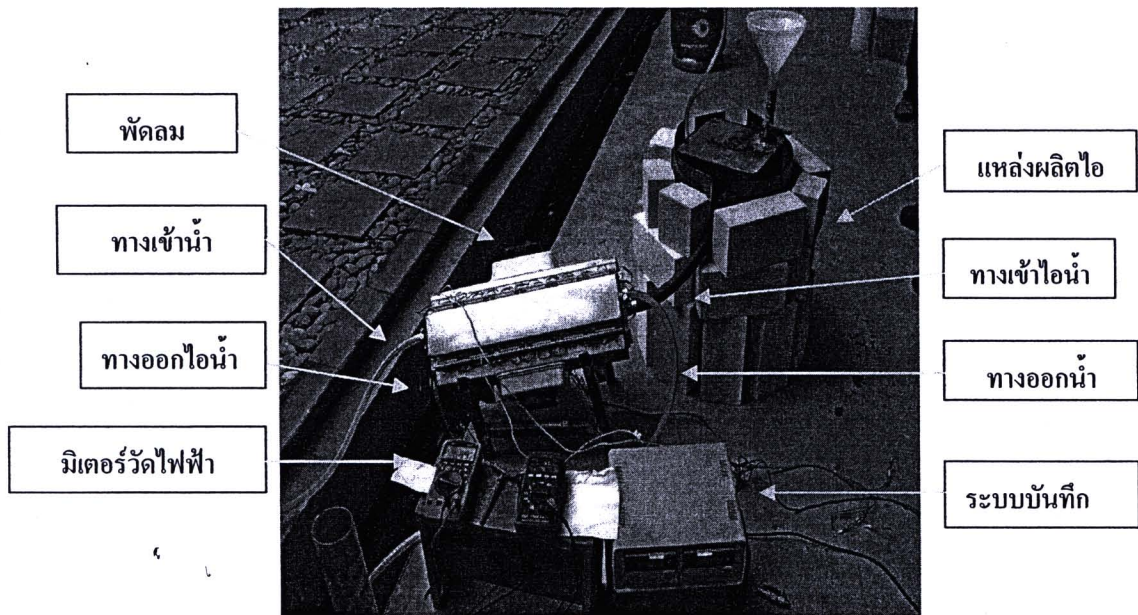
9. นาฬิกาจับเวลา 1 ตัว

4.1.2 การทดลองเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

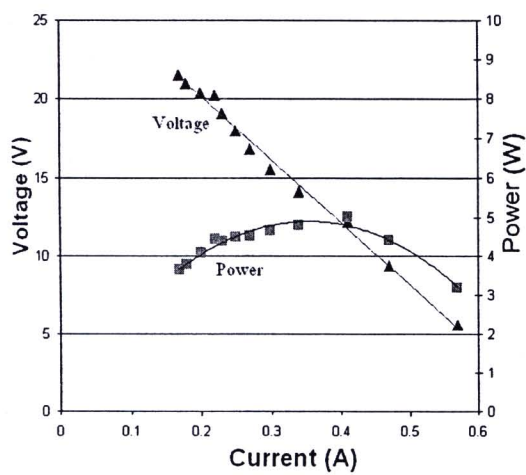
จัดระบบทดลองตามรูปที่ 4.1 โดยชุดโมดูลเซลล์ความร้อนดัดแปลงที่สร้างขึ้นใช้เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (Thermoelectric cooler) เบอร์ TEC 1-12710 ต่ออันดับกัน 24 ตัว บนพื้นที่ขนาด $50 \times 12 \text{ cm}^2$ จำนวน 2 ชุด ผลิตไฟฟ้าจากไอน้ำที่อุณหภูมิผนังเซลล์ด้านร้อน 96°C โดยชุดแรกระบายความร้อนออกจากแผ่นครีระบายความร้อนด้วยพัดลมขนาด 6 W เป่าผ่านร่องครีไปด้วยอัตราไหลอากาศ 10 l/s ทำให้น้ำด้านเย็นมีอุณหภูมิเฉลี่ย 70.7°C เปรียบเทียบกับชุดที่สองระบายความร้อนด้วยน้ำที่อัตราไหล 3 l/min และน้ำขาเข้าอุณหภูมิ 29°C ทำให้อุณหภูมิผนังด้านเย็นมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 30°C การจัดระบบทดลองแสดงในรูปที่ 4.2 ได้ผลการทดลองผลิตไฟฟ้านำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบคุณลักษณะ P-V-I ของชุดโมดูลเซลล์ความร้อนดัดแปลงที่ระบายความร้อนต่างกันได้ในรูปที่ 4.3 และได้รวบรวมผลการวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์เปรียบเทียบกันในตารางที่ 4.1



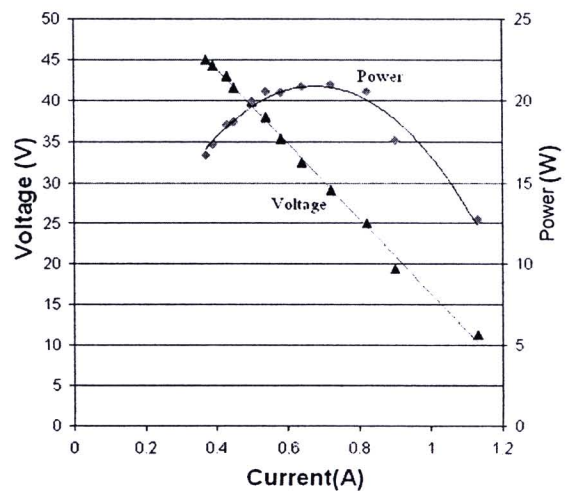
รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดระบบทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 การจัดระบบทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 กราฟคุณลักษณะ P-V-I ของโมดูลผลิตไฟฟ้า TEC 1-12710 จำนวน 24 เซลล์

(ก) ระบายความร้อนด้วยพัคลม (ข) ระบายความร้อนด้วยน้ำ

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของโมดูลเซลล์ความร้อนเมื่อระบายความร้อนด้วยพัดลมและระบายความร้อนด้วยน้ำ

Parameter (24 devices in series)	Air-force cool ($\Delta T = 96-70.7 = 25.3^{\circ}\text{C}$)	Water cool ($\Delta T = 96-30 = 66^{\circ}\text{C}$)
Maximum power (W)	4.90	21.10
Open circuit voltage (V)	27.42	62.64
Short circuit current (A)	0.71	1.36
Internal resistance (Ω)	42.25	43.40

จากผลการทดลองพบว่า การระบายความร้อนด้วยพัดลมช่วยให้ชุดเซลล์ความร้อนผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เพียง 4.9 วัตต์ ขณะที่การระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถช่วยให้ผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 21.1 วัตต์ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยน้ำสูงกว่าการระบายด้วยอากาศมากและช่วยให้ชุดเซลล์ความร้อนผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นมากกว่าประมาณ 4 เท่า

4.2 การทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับผนังเซลล์ด้านร้อน

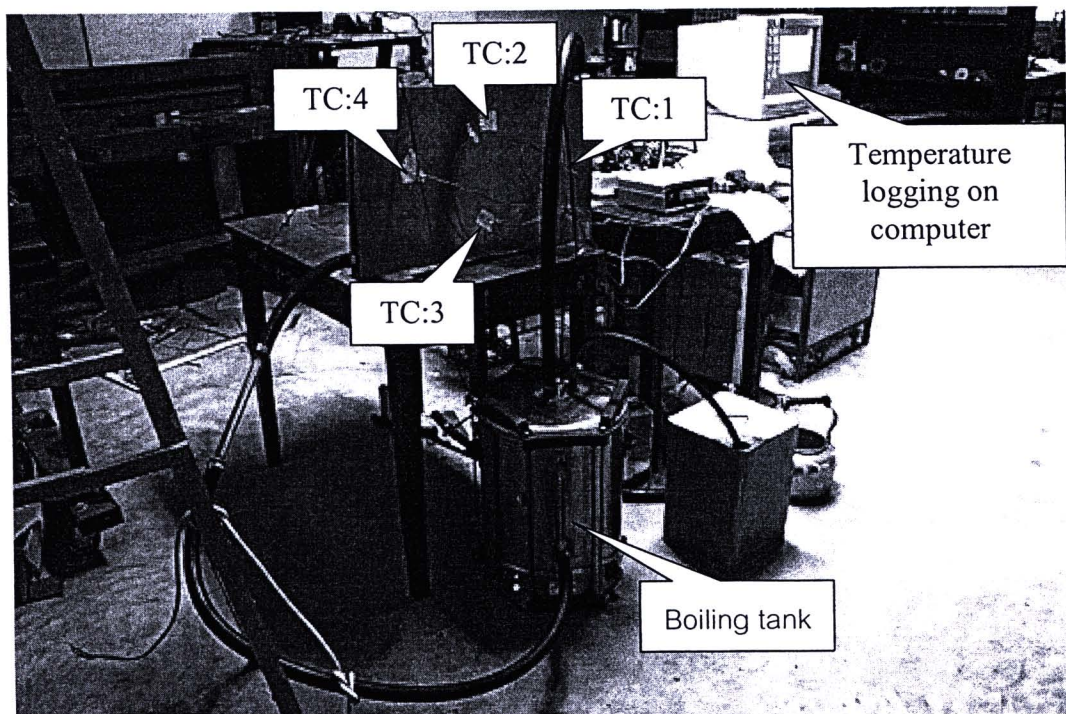
การทดสอบความสม่ำเสมอของอุณหภูมิผนังเซลล์ความร้อน เป็นการทดสอบหาลักษณะการกระจายความร้อนจากน้ำร้อนและไอน้ำที่บริเวณพื้นผิวผนังด้านนอกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อศึกษาผลของการกระจายความร้อนและประเมินความแตกต่างอุณหภูมิก่อนการระบายความร้อนของแหล่งความร้อนสำหรับทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบ

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อน

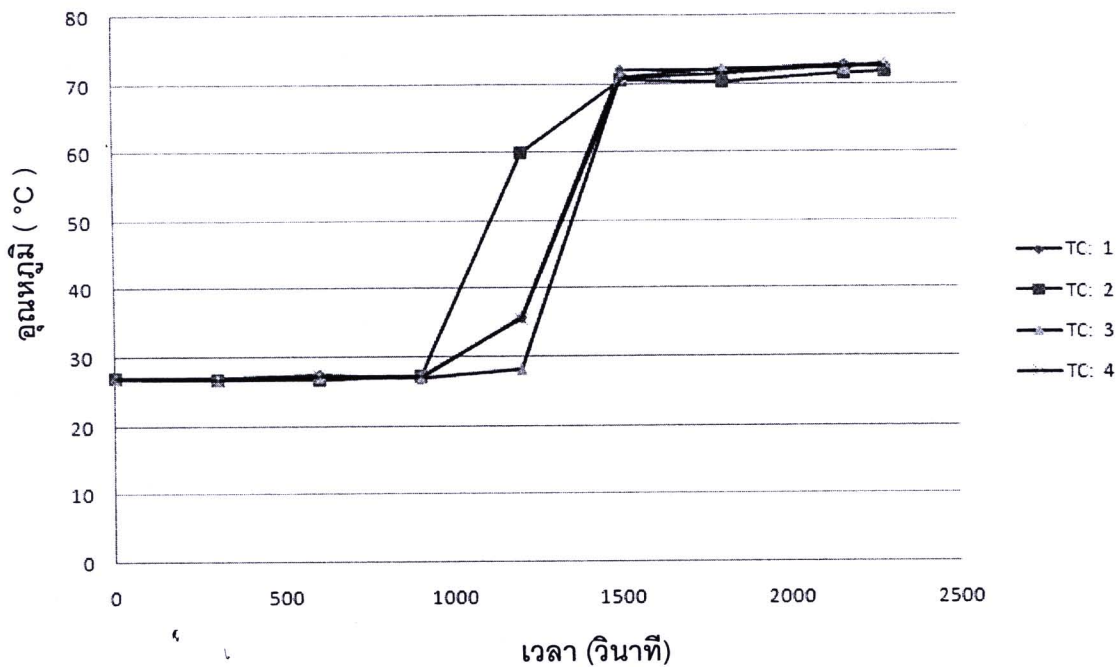
- 1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับผนังเซลล์ด้านร้อนที่พัฒนาขึ้น
- 2. ระบบผลิตน้ำร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนขนาด 6,000 วัตต์ ที่พัฒนาขึ้น
- 3. เทอร์โมคัปเปิลแบบ Type k (chromel – alumel) จำนวน 4 ชุด
- 4. เครื่องวัดอุณหภูมิจำนวน ของ LINE SEIKI รุ่น TC - 1100 จำนวน 1 ชุด

4.2.2 การทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับผนังด้านร้อน

จัดระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำร้อนให้ไหลเวียนตามธรรมชาติในรูปปิดสนิทที่ กำลังไฟฟ้า 3 kW และติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (TC) บนบริเวณผนังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 4 ตำแหน่ง คือ TC1, TC2, TC3, และ TC4 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 สัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลจะส่ง เข้าระบบวัดและประมวลด้วยโปรแกรมบันทึกข้อมูลต่อเนื่องโดยคอมพิวเตอร์ โดยเริ่มบันทึกข้อมูล ตั้งแต่เริ่มต้มน้ำในระบบผลิตน้ำร้อน จนกระทั่งเวลาผ่านไป 40 นาที ได้ผลทดลองดังตารางที่ ง.1 (ในภาคผนวก) ซึ่งนำมาสร้างกราฟการตอบสนองและการกระจายอุณหภูมิบนผนังด้านร้อนในรูป ที่ 4.5



รูปที่ 4.4 การจัดระบบการตอบสนองการกระจายอุณหภูมิมบนผนังด้านร้อน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการตอบสนองและการกระจายอุณหภูมิบนผนังด้านร้อน

ผลการทดลองพบว่าผนังด้านร้อนแต่ละบริเวณที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล มีการตอบสนอง และการกระจายของอุณหภูมิที่ต่างกัน โดยจะเห็นว่าจุด TC2 มีการตอบสนองของอุณหภูมิได้เร็วกว่า เพราะใกล้กับบริเวณที่น้ำร้อนเข้ามากที่สุดและ TC2 เป็นจุดที่อยู่สูงกว่าจุดอื่นๆ โดยธรรมชาติอุณหภูมิความร้อนจะลอยตัวขึ้นด้านบน ส่วน TC3 มีการตอบสนองของอุณหภูมิน้อยที่สุด เพราะเป็นจุดที่อยู่ต่ำสุด จุดที่ TC1 ตอบสนองต่ออุณหภูมิได้ดีกว่า TC4 เพียงเล็กน้อยเพราะอยู่ในระนาบเดียวกัน มีการกระจายของอุณหภูมิตั้งแต่ผิวความร้อนเฉลี่ย 74°C

ในการจัดระบบแลกเปลี่ยนความร้อนไหลเวียนตามธรรมชาติแบบปิดสนิทนี้ จะมีปัญหาเรื่องของฟองอากาศและการขยายตัวของน้ำที่คอยต้านการไหลของน้ำในระบบทำให้น้ำร้อนในระบบไหลเวียนไม่ต่อเนื่อง เป็นผลให้การกระจายของอุณหภูมิตั้งแต่ผนังด้านร้อนไม่สม่ำเสมอ ทำให้ระบบแบบนี้ไม่เสถียรและส่งผลให้มีแรงดัน (Pressure) สูงมากกว่า 10 psi เป็นปัญหาในเรื่องความปลอดภัยขณะใช้งาน การจัดระบบให้ไหลเวียนต่อเนื่องจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนที่ด้านทางออก

ดังนั้นจึงได้ทำการจัดระบบไหลเวียนของน้ำร้อนตามธรรมชาติในรูปแบบที่เปิดให้น้ำร้อนขยายตัวสามารถพักเก็บไว้ที่ถังสำรองน้ำ (Reservoir) มีลักษณะเป็นระบบไหลเวียนตามธรรมชาติแบบเทอร์โมไซฟอนรีบอยเลอร์ (Thermosyphon reboiler) เป็นผลให้ระบบไม่มีความดันในระบบต่ำกว่าระดับ 1-3 psi และน้ำร้อนในระบบสามารถหมุนเวียนได้อย่างต่อเนื่องอีกด้วย ระบบที่ปรับปรุงใหม่นี้จะทดสอบในข้อ 4.3 และใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น

4.3 การทดสอบระบบผลิตน้ำร้อน

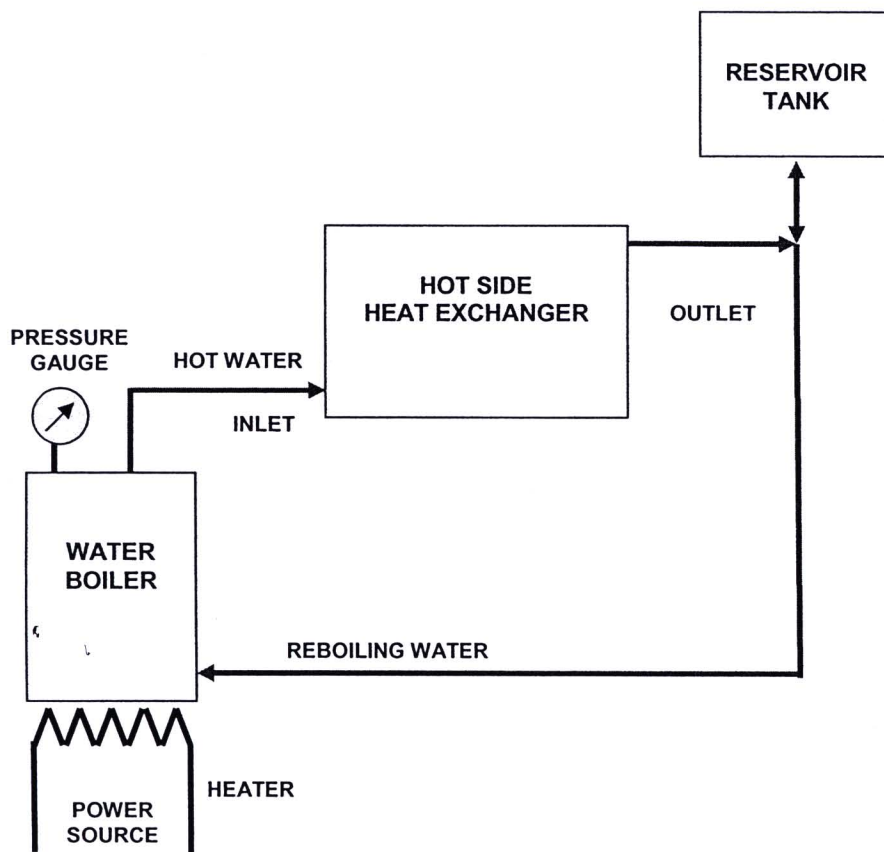
การทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนด้วยการไหลเวียนของน้ำร้อนตามธรรมชาติที่พัฒนาขึ้น เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาคุณลักษณะของระบบในการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้มน้ำและทิศทางการไหลเวียนของน้ำร้อน การขยายตัวของน้ำในถังสำรองและการถ่ายเทความร้อนให้ผนังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับผนังเซลล์ความร้อนด้านร้อน ตลอดจนพลังงานที่ใช้ในการทำงานของระบบเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบระบบผลิตน้ำร้อน

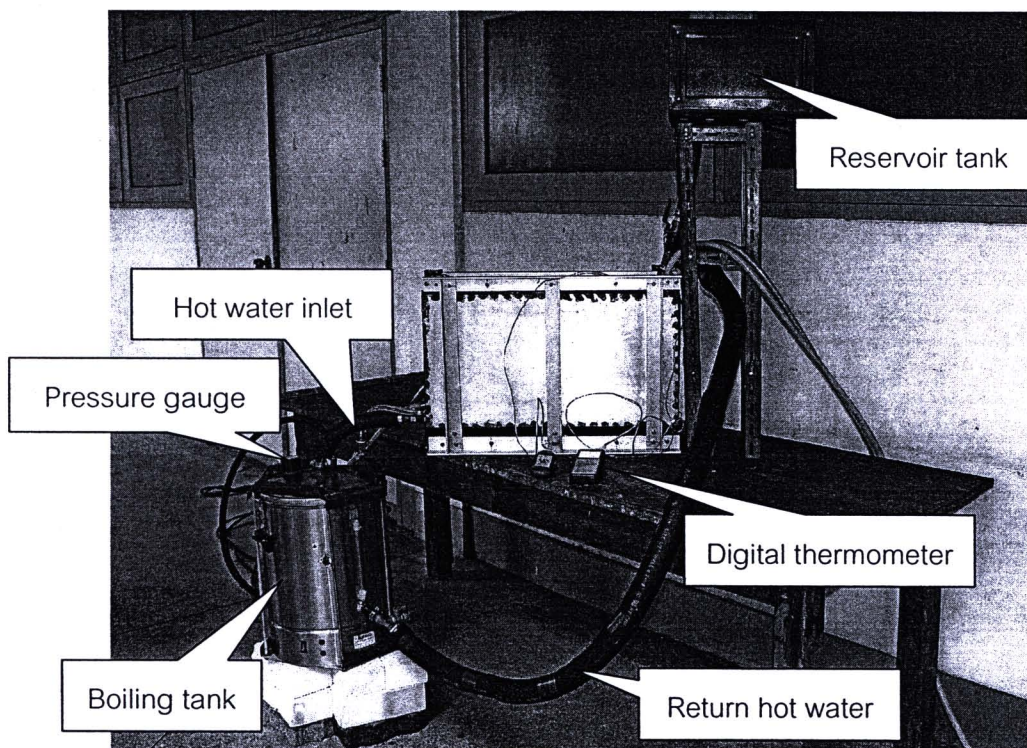
1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับผนังเซลล์ด้านร้อนที่พัฒนาขึ้น
2. ระบบผลิตน้ำร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอนขนาด 6,000 วัตต์ ที่พัฒนาขึ้น
3. เทอร์โมคัปเปิลแบบ Type k (Chromel – Alumel) จำนวน 5 ชุด
4. เครื่องวัดอุณหภูมิจำนวน ของ LINE SEIKI รุ่น TC - 1100 จำนวน 1 ชุด
5. มาตรวัดพลังงานไฟฟ้า (Kilowatt-hour meter)

4.3.2 วิธีการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อน

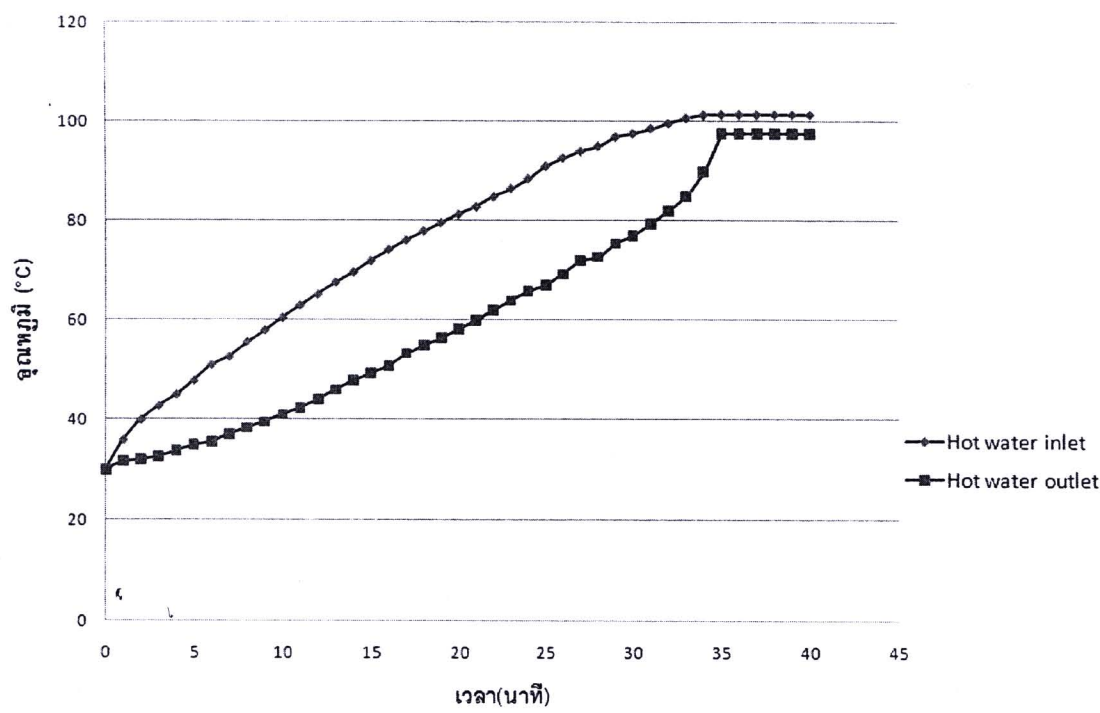
จัดระบบทดสอบตามรูปที่ 4.6 และเติมน้ำเข้าระบบด้วยการอัดน้ำเข้าทางด้านไหลกลับน้ำร้อนที่หม้อต้มน้ำ เพื่อไล่อากาศในระบบออกจนกระทั่งระดับน้ำเริ่มเห็นได้ที่ก้นถังสำรองน้ำ (Reservoir) ระบบไหลเวียนแบบปิดนี้จะเปิดปากถังสำรองเพื่อไม่ต้องการให้มีแรงดันในหม้อต้มสูงเกิน 10 psi จากนั้นจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเพื่อต้มน้ำพร้อมวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ บันทึกอุณหภูมิทางเข้าและออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ความดันในหม้อต้มและพารามิเตอร์อื่นๆ ได้ผลการทดลองได้ผลการเพิ่มอุณหภูมิดังตารางที่ ง.2 (ในภาคผนวก) ซึ่งนำมาสร้างเส้นกราฟอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ในรูปที่ 4.8 และผลสรุปการทดสอบพารามิเตอร์ในการผลิตน้ำร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนที่พัฒนาขึ้นในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.6 แผนภาพการจัดระบบเพื่อทดสอบผลิตน้ำร้อน



รูปที่ 4.7 การจัดระบบทดสอบผลิตน้ำร้อน



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอุณหภูมิการผลิตน้ำร้อนไหลเวียนระบบปิด

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ในการผลิตน้ำร้อนของระบบผลิตน้ำร้อน

พารามิเตอร์	ข้อมูลจากการทดสอบ
เวลาในการต้มน้ำปริมาณ 36 ลิตร	35 min
พลังงานความร้อนที่โมดูลต้องการ	9.91 MJ
อุณหภูมิทางเข้า	100 -102 °C
อุณหภูมิทางออก	80 -98 °C
แรงดันในหม้อต้มน้ำ	2 - 3 psi
ปริมาณขยายตัวของน้ำ	8 liters
สถานะของน้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	Liquid/vapor

ผลการทดลองพบว่าการผลิตน้ำร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนเป็นไปตามเทคนิคการไหลเวียนของน้ำร้อนตามธรรมชาติ สิ่งสำคัญคือการจัดสมดุลของระดับอุณหภูมิ โดยระยะเวลาในการต้มน้ำที่อุณหภูมิแวดล้อมถึงอุณหภูมิน้ำทางเข้า 102 °C และอุณหภูมิทางออก 98 °C ใช้เวลา 30 นาที เป็นผลให้มีอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่ 100°C มีแรงดันในหม้อต้มน้ำประมาณ 2-3 psi ความร้อนที่ได้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับผนังเซลล์ด้านร้อนมีสถานะเป็นน้ำและไอน้ำ

4.4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยความร้อนที่พัฒนาขึ้น

การทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยความร้อนที่พัฒนาขึ้น เพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ทางความร้อนและทางไฟฟ้า ในการทดสอบทางไฟฟ้าจะทดสอบทั้งไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้และไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตผ่านระบบแปลงผันไฟฟ้า (Inverter) โดยเริ่มบันทึกข้อมูลหลังระบบผลิตน้ำร้อนเสถียร มีรายละเอียดการทดลองดังนี้

4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะของเครื่อง

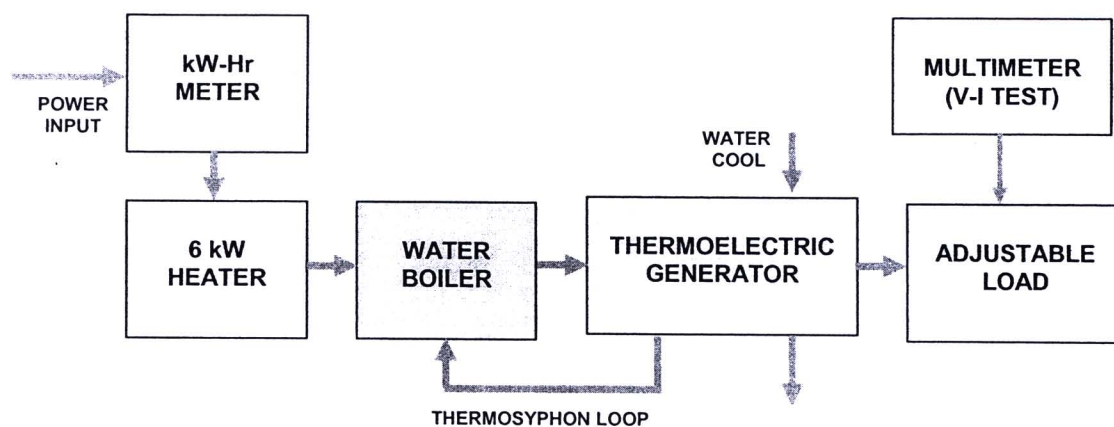
1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยความร้อนที่พัฒนาขึ้น
2. ระบบผลิตน้ำร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนขนาด 6,000 วัตต์ ที่พัฒนาขึ้น
3. เทอร์โมคัปเปิลแบบ Type k (chromel – alumel) จำนวน 4 ชุด
4. เครื่องวัดอุณหภูมิจำนวน ของ LINE SEIKI รุ่น TC - 1100 จำนวน 1 ชุด
5. ดิจิตอลมิเตอร์ ของ OMEGA รุ่น OMEGAETTE HHM93 จำนวน 1 ตัว
6. หลอดไฟฟ้าแบบไส้ขนาดกำลังไฟฟ้าต่างๆ 1 ชุด
7. มาตรวัดพลังงานไฟฟ้า (Kilowatt-hour meter)

4.4.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่อง

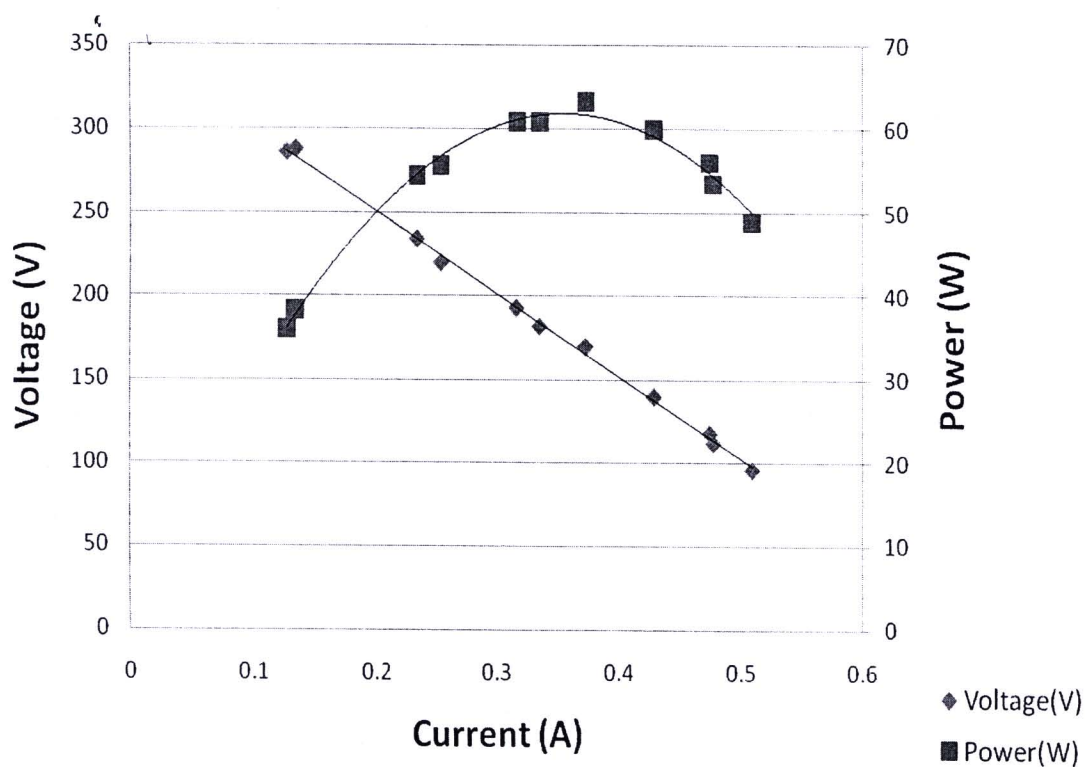
จัดระบบทดสอบตามรูปที่ 4.9 ป้อนน้ำร้อนเข้าระบบและรอให้ระบบเสถียรเป็นเวลา 30 – 35 นาที บันทึกค่าคุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันวงจรเปิดและกระแสไฟฟ้าลัดวงจร รวมทั้งค่าความต้านทานภายในของเซลล์ความร้อน เป็นต้น จากนั้นแปรเปลี่ยนค่าต้านทานโหลด และบันทึกความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าใน 2 กรณี

ก. การทดสอบผลทางไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้เป็นไปตามข้อมูลความสัมพันธ์ดังตารางที่ 3 ในภาคผนวก ง. และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 4.10 อ่านค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเส้นกราฟ ได้ข้อมูลสรุปในตารางที่ 4.3

ข. การทดสอบผลทางไฟฟ้าในการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตผ่านระบบแปลงผันไฟฟ้า (Inverter) ได้ผลการทดสอบการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดตามตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.9 แผนภาพการจัดระบบทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์ความร้อนที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของโมดูลเซลล์ความร้อนที่พัฒนาขึ้น

พารามิเตอร์	ข้อมูลจากการทดสอบ
ผลต่างอุณหภูมิ ΔT ระหว่างผนังด้านร้อนและผนังด้านเย็น ($^{\circ}\text{C}$)	50
กำลังไฟฟ้าสูงสุดของโมดูล (W)	62
แรงดันไฟฟ้าที่กําลังไฟฟ้าสูงสุด (V)	163
กระแสไฟฟ้าที่กําลังไฟฟ้าสูงสุด (A)	0.376
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงวงจรเปิด (V)	335
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (A)	0.75
ความต้านทานภายในของโมดูล (Ω)	420

ตารางที่ 4.4 ผลการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมระบบแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ

โหลดทางไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า กระแสตรง (Vdc)	แรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ (Vac)
5	290	199
10	280	203
25	273	205
50	170	211
60	131	201
> 60	< 130	fault alarm

ผลการทดสอบสรุปเบื้องต้นได้ดังนี้

1. ผลการผลิตไฟฟ้ากระแสตรงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยความร้อนที่พัฒนาขึ้น พบว่าสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 62 W ซึ่งน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ คือ 100 W เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิผนังเซลล์ความร้อนต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ ได้ความแตกต่างเพียง 50 $^{\circ}\text{C}$
2. ผลการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับผ่านระบบแปลงผันไฟฟ้า พบว่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในย่านที่ระบบสวิตชิงจะสามารถปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทางออกให้คงที่ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ใช้งาน ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งจากผลการทดสอบระบบสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 220 V $\pm$ 10 % โดยสามารถขับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับได้ สูงสุด 50 W เมื่อดำเนินการประสิทธิภาพของชุดแปลงผันไฟฟ้าที่ประกอบขึ้นจะได้

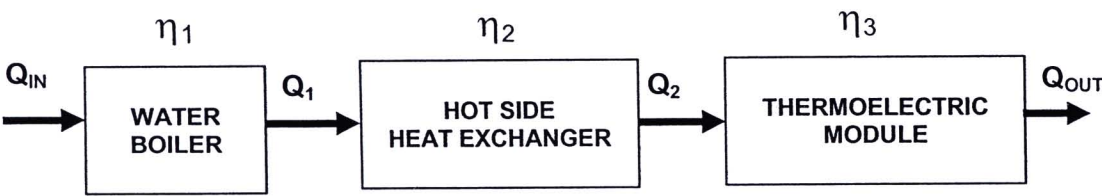
ประสิทธิภาพชุดแปลงผันไฟฟ้า = $\frac{\text{กำลังไฟฟ้าทางออก}}{\text{กำลังไฟฟ้าทางเข้า}} = \frac{50W_{ac}}{62W_{dc}} \times 100\% = 80\%$

4.5 ประเมินราคาไฟฟ้าต่อหน่วย ประสิทธิภาพและต้นทุน

ในการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างงานวิจัยที่พัฒนาไว้เดิมที่กำลังผลิต 50 W และที่พัฒนาขึ้นใหม่ที่กำลังผลิต 100 W จะใช้ข้อมูลที่ทดลองได้ใหม่ในการประเมิน กำลังการผลิตไฟฟ้า ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย ประสิทธิภาพและต้นทุน เป็นต้น โดยมีรายละเอียดการประเมินดังนี้

4.5.1 การคำนวณประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้า

ประเมินจากขั้นตอนการป้อนปริมาณความร้อนเข้าระบบตามแผนรูปที่ 4.11 ด้วยการใช้อัตราประสิทธิภาพของอุปกรณ์และกระบวนการถ่ายเทความร้อนประกอบการวิเคราะห์ ดังนี้



รูปที่ 4.11 แผนภาพแสดงการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ประสิทธิภาพของระบบ $(\eta_{total}) = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3$

η_1 = ประสิทธิภาพการผลิตน้ำร้อน

η_2 = ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

η_3 = ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

การผลิตน้ำร้อนจากการต้มน้ำจำนวน 36 ลิตร จากอุณหภูมิ 30 °C ให้มีอุณหภูมิ เป็น 101.4 °C (T_{in}) ใช้เวลาต้มน้ำ 30 นาที ปริมาณความร้อนของชุดเซลล์ความร้อนทั้งหมด (Q_1) 5,504.53 W_{th} (จากข้อที่ 3.2.3) ใช้กำลังไฟฟ้า 6,000 W_e (Q_{in})

- จะได้ประสิทธิภาพการผลิตความร้อนด้วยไฟฟ้าคิดเป็น 91.74 %

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนจากน้ำร้อนภายในโมดูลเฉลี่ยประมาณ 100°C (ผลการทดลองที่ 4.2) และเมื่อความร้อนถูกถ่ายเทผ่านผนังแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิความร้อนเหลือประมาณ 90°C คิดเป็น 90% ของความร้อนที่ได้รับ

- จะได้การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพ 90%
- ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของชุดเซลล์ความร้อน (จากข้อ 3.2.3) เท่ากับ 1.53 %

ดังนั้น ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าทั้งระบบจะเท่ากับ

$$(0.917 \times 0.9 \times 0.0153) \times 100 = 1.26 \%$$

จากผลการวัดจริง กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้เท่ากับ 62 W และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับระบบผลิตความร้อน 6 kW

ดังนั้น ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบ เท่ากับ 1.03 %

4.5.2 การคำนวณต้นทุนต่อวัตต์

วัสดุและอุปกรณ์	จำนวน	จำนวนเงิน
เทอร์โมอิเล็กทริกคูเลอร์	192 แผ่น	57,600.00 บาท
อลูมิเนียมสำหรับสร้างโมดูลความร้อน	1 แผ่น	4,151.60 บาท
อลูมิเนียมสำหรับสร้างโมดูลระบายความร้อน	2 แผ่น	9,900.00 บาท
ฝาปิดโมดูลระบายความร้อน	2 แผ่น	2,100.00 บาท
โครงอลูมิเนียมสำหรับยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1 เส้น	770.00 บาท
ชุดสกรูสำหรับประกอบโครงอลูมิเนียม	1 ชุด	150.00 บาท
สกรูหัวจมนเทเปอร์ SUS 5x40 ยึดโมดูลความร้อน	38 ตัว	228.00 บาท
สกรูเตนเลส JF 3x10 ยึดฝาครอบ	66 ตัว	33.00 บาท
สกรูเตนเลสยึด Fixer plate	192 ตัว	96 บาท
กาวปะเก็น	3 หลอด	270.00 บาท
ซิลิโคนประสานผิวถ่ายเทความร้อน	2 หลอด	813.20 บาท
ท่อยางทนความร้อน	1 เส้น	200.00 บาท
บอลล์วาล์วคัท 1/2	1 ตัว	256.50 บาท
ชุดข้อต่อทองเหลือง	1 ชุด	1,100.03 บาท
เข็มขัดรัดท่อ	1 ชุด	100.00 บาท
สายยางพลาสติกใส	20 เมตร	535.00 บาท



รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 77,313.33 บาท

$$\text{ต้นทุนการผลิตโมดูล} = \frac{77,313.33}{62} = 1,289 \text{ บาทต่อวัตต์}$$

4.5.3 การคำนวณราคาไฟฟ้าต่อหน่วย

จะประเมินจากต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยโมดูลเซลล์ความร้อนโดยไม่คิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ผลิตความร้อน เนื่องจากแหล่งความร้อนในสภาพใช้งานจริงเป็นแหล่งความร้อนเหลือทิ้งคิดระยะเวลาคัมทุน ตลอดอายุการใช้งานของเซลล์ความร้อนสูงสุดที่ 200,000 ชั่วโมง ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งเป็นดังนี้

หากทำงานต่อเนื่อง 200,000 ชั่วโมง

$$\text{ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWhr)} = \frac{\text{cost}}{\text{time}} = \frac{1,289}{200,000} = 6.44 \text{ บาท/kWhr}$$

สรุปผลจากข้อมูลการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถประเมินผลเปรียบเทียบผลการพัฒนาดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการประเมินราคาไฟฟ้าต่อหน่วย ประสิทธิภาพและต้นทุน

รายการข้อมูล	ระบบที่พัฒนาเดิม [11]	ระบบที่พัฒนาใหม่
กำลังไฟฟ้า	50 W	62 W
จำนวนเซลล์ความร้อน	384 cells	192 cells
แหล่งความร้อน	ไอน้ำ	น้ำร้อน
การระบายความร้อน	พัดลม	น้ำ
ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า	0.47 %	1.03 %
ขนาด (กว้างxยาวxสูง) (1โมดูล)	20cm x 48cm x 20cm	12cm x 65cm x 45cm
จำนวนโมดูล	4	1
น้ำหนัก	120 kg	60 kg
ต้นทุนต่อวัตต์	2,500 บาท	1,289 บาท
ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย (ที่ 2 แสนชั่วโมง)	12.50 บาท/kWhr	6.44 บาท/kWhr