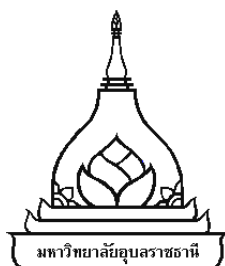


การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก
โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

วิเชียร ผิวบาง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



DESIGN AND CONSTRUCTION OF A THERMOELECTRIC GENERATOR
BY USING THERMAL SOLAR ENERGY

WICHEAN PIWBANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2018
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

ผู้วิจัย นายวิเชียร ผิวบาง

คณะกรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภควัฒน์ วงศ์วรรณวัฒนา	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(ดร.สมคิด เพ็ญขารีย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(รองศาสตราจารย์จินตนา เหล่าไพบูลย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชรีดา ปุกหุด)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2561

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และทุนเพื่อพัฒนาวิชาการ ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.สมคิด เพ็ญซารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ จินตนา เหล่าไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมและรองศาสตราจารย์ เรวัตน์ เหล่าไพบูลย์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาต่าง ๆ เกี่ยวกับการวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภควัฒน์ วงศ์วรรณวัฒนา ที่เสียสละเวลามาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ภรรยา รวมถึงสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่ช่วยสนับสนุน การศึกษาและคอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ขอขอบคุณคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ พี่ ๆ น้อง ๆ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ ช่วยให้คำแนะนำและคำปรึกษาในด้านต่าง ๆ ตลอดการวิจัย ข้าพเจ้าต้องขออภัยที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดในที่นี้

วิเชียร ผิวบาง

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

ผู้วิจัย : วิเชียร ผิวบาง

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา : ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.สมคิด เพ็ญขาริ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์ จินตนา เหล่าไพบูลย์

คำสำคัญ : เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก, พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์, จานรวมแสงแบบพาราโบลา

ได้ทำการออกแบบและทดสอบโมดูลผลิตไฟฟ้า 8 แบบ ที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกยี่ห้อ Hi-Z รุ่น HZ-9 เป็นอุปกรณ์ผันพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า จากการเปลี่ยนแปลงชนิดของระบบระบายความร้อนและจำนวนของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้เครื่องทำความร้อนที่มีระบบวัดและควบคุมอุณหภูมิเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ผลการทดสอบพบว่าโมดูลที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานคือ โมดูลที่ประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสองแผ่นต่ออนุกรมวางบนแผ่นกระจายความร้อนและใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งพบว่าให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 10.63 วัตต์ เมื่อทำการทดสอบให้ความร้อนที่ฝั่งด้านร้อน 300 องศาเซลเซียส

จากการนำโมดูลที่ออกแบบไว้ไปติดตั้งตรงตำแหน่งจุดรวมแสงของจานพาราโบลาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เมตร ความยาวโฟกัส 0.5 เมตร ที่มีกระจกเงาเป็นวัสดุสะท้อนแสงติดอยู่ที่ผิวด้านในของจาน นำไปใช้งานจริงบริเวณหาดฟ้าของอาคารฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. ผลการทดสอบพบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 13.049 วัตต์ มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 0.67 เปอร์เซนต์

ABSTRACT

TITLE : DESIGN AND CONSTRUCTION OF A THERMOELECTRIC GENERATOR BY
USING THERMAL SOLAR ENERGY

AUTHOR : WICHEAN PIWBANG

DEGREE : MASTER OF SCIENCE

MAJOR : PHYSICS

ADVISOR : SOMKID PENCHAREE, Ph.D.

CO-ADVISOR : ASSOC.PROF. JINTANA LAOPAIBOON

KEYWORDS : THERMOELECTRIC GENERATOR, THERMAL SOLAR ENERGY, PARABOLIC
DISH CONCENTRATION

8 types of electrical generator modules had been designed and tested. Hi-Z thermoelectric model HZ-9 was used as a device for converting heat energy to electricity. Types of the cooling system and the number of the thermoelectrics were variables. A heating system with a temperature control system had been used as a heat source. The results showed that the two thermoelectrics that were connected in series and cooled by water were selected. The maximum electrical power generated was 10.63 watts, while the controlled temperature on the heat plate remained 300 degrees Celsius.

The selected module was installed at the focal point of 1.5 diameters, 0.5 meters at the focal length of the parabolic dish. The reflective mirror glasses were mounted on the parabolic surface to act as a reflector. The thermoelectric generator was installed on the 5th floor of the physics building, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University. The system was tested from 8.00 am to 4.00 pm. The results showed that it could generate a maximum power of about 13.049 watts with the energy conversion efficiency of 0.67 percent.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลังงานไฟฟ้า	4
2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Electric generator)	7
2.3 พลังงานแสงอาทิตย์	9
2.4 การผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์	10
2.5 การผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์	11
2.6 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric effect)	15
2.7 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect)	17
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	21
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	21
บทที่ 4 ผล และวิเคราะห์ผลงานวิจัย	
4.1 การทดสอบโดยการจำลองแหล่งความร้อน	28
4.2 การทดสอบเครื่องผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน	42
4.3 การปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องผลิตไฟฟ้า	44
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลงานวิจัย	47
5.3 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ก ตารางแสดงข้อมูลผลการทดสอบ	53
ข ข้อมูลจำเพาะของเทอร์โมอิเล็กทริก HZ-9	71
ค วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	76
ประวัติผู้วิจัย	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ส่วนประกอบของโมดูลผลิตไฟฟ้า	28
5.1 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูลไฟฟ้าโดยการจำลองแหล่งพลังงานความร้อน	47
ก.1 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 1 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส	54
ก.2 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 1 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส	54
ก.3 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 2 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส	55
ก.4 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 2 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส	56
ก.5 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 3 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส	56
ก.6 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 3 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส	57
ก.7 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 4 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส	58
ก.8 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 4 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส	58
ก.9 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 4 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส	59
ก.10 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 5 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส	60
ก.11 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 5 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส	60
ก.12 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 5 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส	61
ก.13 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 6 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส	62
ก.14 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 6 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส	62
ก.15 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 6 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.16	ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 7 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส	64
ก.17	ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 8 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 300 องศาเซลเซียส	64
ก.18	ผลการทดสอบการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2559	66
ก.19	ผลการทดสอบการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2559	67
ก.20	ผลการทดสอบการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2559	68
ก.21	ผลการทดสอบการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2559	69
ก.22	ผลการทดสอบการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2559	70

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรง (ก) ลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรงแบบสมบูรณ์ หรือ แบบคงที่ (ข) ลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่เรียบ (ค) ลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่เรียบที่ได้จากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้า	5
2.2	แผนภาพแสดงลักษณะของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	6
2.3	ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.4	ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	8
2.5	ขนาดของความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อขดลวดหมุนไปยังตำแหน่งต่าง ๆ	8
2.6	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	10
2.7	โครงสร้างและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.8	เครื่องย่นต์สเตอริ่งผลิตไฟฟ้าโดยใช้การรวมแสงแบบจานพาราโบลา	12
2.9	ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา	13
2.10	หลักการผลิตไฟฟ้าจากหอคอยพลังงานแสงอาทิตย์	13
2.11	การเก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบหอคอยรวมแสง	14
2.12	หลักการทำงานของหอคอยผลิตไฟฟ้าแบบปล่องลมร้อน	14
2.13	หอคอยผลิตไฟฟ้าแบบปล่องลมร้อนใน Manzanares ประเทศสเปน	15
2.14	ภาพวาดอุปกรณ์ที่ใช้โดยโทมัสซีเบคเพื่อสังเกตการเบนของเข็มทิศ a ซึ่งเป็นผลจากการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อนที่จุดเชื่อมต่อของวัสดุ n และ o	15
2.15	การเกิดความต่างศักย์ซีเบค (ก) แสดงการกระจายตัวของอิเล็กตรอนในวัตถุที่มีอุณหภูมิเท่ากันตลอดวัตถุ (ข) แสดงการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนในวัตถุที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ	16
2.16	ส่วนประกอบของเทอร์โมคัปเปิล	16
2.17	ปรากฏการณ์เพลเทียร์	17
2.18	การไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้าของโลหะชนิด n	18
2.19	การไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้าของโลหะชนิด p	18
3.1	ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกยี่ห้อ Hi-Z รุ่น HZ-9	22
3.2	แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์ภายในชุดผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก	22
3.3	อุปกรณ์ถ่ายเทพลังงานความร้อน	23
3.4	อุปกรณ์สำหรับระบายความร้อนที่นำมอลดอุณหภูมิผิวด้านเย็น	23
3.5	อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและเครื่องทำความร้อน	23
3.6	แผนภาพแสดงการทดสอบการทำงานของเซลล์ไฟฟ้า	24
3.7	แผงความต้านทานอนุกรมขนาด 11 โอห์ม ใช้สำหรับทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า	24
3.8	ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ KYORITSU รุ่น KEW 1011 ใช้วัดสมบัติทางไฟฟ้าและอุณหภูมิ	24

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.9	ลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นผิวพาราโบลา	25
3.10	การติดตั้งแผ่นกระจกบนจานพาราโบลา	25
3.11	โครงสร้างของระบบรวบรวมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์	26
3.12	การติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าเพื่อทดสอบรับพลังงานแสงอาทิตย์	26
3.13	ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบเครื่องจากแผนที่ดาวเทียมของ Google	27
4.1	แผนภาพการจัดเรียงอุปกรณ์ประกอบเป็นโมดูลผลิตไฟฟ้า	28
4.2	การจัดวางโมดูล 1 บนเครื่องทำความร้อน	29
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 1 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส	29
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 1 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส	30
4.5	แผนภาพโมดูลผลิตไฟฟ้าเพิ่มพัดลมช่วยการไหลของอากาศ	31
4.6	การจัดวางโมดูล 2 บนเครื่องทำความร้อน	31
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 2 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส	32
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 2 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส	32
4.9	แผนภาพโมดูลผลิตไฟฟ้าที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ	33
4.10	การจัดวางโมดูล 3 บนเครื่องทำความร้อน	33
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 3 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส	34
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 3 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส	34
4.13	แผนภาพโมดูลผลิตไฟฟ้าที่ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 2 แผ่น	35

สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.25	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ของโมดูล 7	44
4.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 8 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 300 องศาเซลเซียส	45
4.26	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้า ณ เวลาต่าง ๆ ของวันที่ 1 2 และ 3 มีนาคม พ.ศ. 2559	45
4.27	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ของโมดูล 8	46
ค.1	เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ยี่ห้อ ISO TECH รุ่น ISM 400	77
ค.2	พัดลม DC 12 V ยี่ห้อ UNION รุ่น 27FAN012	77
ค.3	มีดตัดกระจกยี่ห้อ STAR เบอร์ 1	77
ค.4	ไดอะแฟรมปั๊มยี่ห้อ JUN รุ่น HX-2500	78
ค.5	ซิลิโคนคอมเปาว์ดยี่ห้อ COOLER MASTER	78
ค.6	กาว Epoxy ยี่ห้อ PATTEX	78

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หน่วย
I_{sun}	พลังงานการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
I_{st}	พลังงานการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ที่ตกบนพื้นที่ของอุปกรณ์รับแสง	วัตต์ (W)
T_h	อุณหภูมิที่ผิวด้านร้อน	องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
T_c	อุณหภูมิที่ผิวด้านเย็น	องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT	ความแตกต่างอุณหภูมิที่ผิว ของเทอร์โมอิเล็กทริก	องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
η_e	ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน	เปอร์เซ็นต์ (%)
V_L	ความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมโหลด	โวลต์ (V)
I_L	กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลด	แอมแปร์ (A)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ทุกวันนี้มีความจำเป็นจะต้องใช้พลังงานในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การติดต่อสื่อสาร การคมนาคมขนส่ง การทำอาหาร การสร้างความบันเทิงและพักผ่อน เป็นต้น ซึ่งพลังงานเหล่านั้นมาจากหลากหลายแหล่ง เช่น น้ำมัน ไฟฟ้า แสงอาทิตย์และพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ ในอนาคตพลังงานไฟฟ้าจะเป็นพลังงานที่สำคัญมากเป็นอันดับหนึ่งเนื่องจากแหล่งพลังงาน เช่น น้ำมัน มีการคาดการณ์ว่าจะมีราคาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และอีกไม่นานพลังงานเหล่านี้ก็จะหมดไปเนื่องจากการผลิตอุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่ใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

ไฟฟ้าในปัจจุบันถูกผลิตมาจากแหล่งเชื้อเพลิงที่หลากหลาย เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานน้ำ ลม ความร้อนใต้พิภพ นิวเคลียร์ แสงอาทิตย์และชีวมวล เป็นต้น เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่นำมาผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันล้วนแล้วแต่เป็นเชื้อเพลิงจากฟอสซิลซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและมีราคาค่อนข้างสูง นักวิจัยจึงพยายามหาและพัฒนาแหล่งพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น พลังงานจากน้ำ ลม ไฮโดรเจน คลื่น ชีวมวล ความร้อนใต้พิภพ และแสงอาทิตย์ แต่แหล่งพลังงานต่าง ๆ ก็มีข้อจำกัด เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำจำเป็นต้องสร้างเขื่อนทำให้เกิดน้ำท่วมในบริเวณเหนือเขื่อนซึ่งกินพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง พลังงานจากลมในภูมิประเทศที่ลมมีความเร็วต่ำและความเร็วไม่สม่ำเสมอไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้า และยังมีอีกหลาย ๆ ปัจจัยที่ต้องพิจารณาสำหรับแหล่งพลังงานต่าง ๆ หากจะนำมาใช้ในประเทศไทยสำหรับพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากธรรมชาติที่มีปริมาณมาก เป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม หากสามารถนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพก็เป็นอีกหนึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาวิกฤตพลังงานในอนาคต

การนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์มีด้วยกันหลากหลายวิธี เช่น ผลิตไฟฟ้า อบแห้ง ผลผลิตทางการเกษตรและการผลิตความร้อน เป็นต้น ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็นสองประเภทหลัก ๆ ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีโฟโตโวลตาอิกส์ (Solar photovoltaic) เป็นการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell หรือ Photovoltaic cell: PV) และการผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar thermal electricity) การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนนี้จะทำการรวมแสงอาทิตย์เข้ามาไว้ที่จุดใดจุดหนึ่งเพื่อเพิ่มความร้อนแล้วใช้ความร้อนนี้ไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงหรือเก็บไว้ในสารเคมีบางชนิด เช่น สารละลายเกลือ แล้วค่อยนำความร้อนที่เก็บไว้มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกครั้ง จากการศึกษาของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่า ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2554 [1] ในวันที่ท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆบดบังดวงอาทิตย์ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมรายวันเฉลี่ยต่อปีมีค่า $18 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ ความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยอยู่

ระหว่าง $16 - 20 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ บริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงคือบริเวณทางตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบางส่วนของภาคกลาง โดยครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัด นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี อุดรธานี สุพรรณบุรี ชัยนาท ออยุธยาและลพบุรี พื้นที่ดังกล่าวได้รับพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์รวมรายวันเฉลี่ย $19 - 20 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ จากข้อมูลนี้ถือว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง และเริ่มมีการส่งเสริมให้นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง

งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาวิธีการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้า โดยศึกษาและออกแบบระบบรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์ (Concentrating Solar Power) เพื่อเป็นอุปกรณ์รวบรวมความร้อนมาไว้ที่แผ่นรับความร้อน แล้วใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric generator: TEG) เป็นอุปกรณ์ผันพลังงานความร้อนที่ได้เป็นพลังงานไฟฟ้า และศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น กำลังไฟฟ้าเป้าหมายที่ต้องการจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตั้งเป้าหมายไว้ที่ประมาณ 5 วัตต์ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อชาร์ตแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

1.2.2 ศึกษา กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก Hi-Z รุ่น HZ-9

1.3.2 สร้างระบบรวบรวมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยจานพาราโบลาและใช้วัสดุสะท้อนแสงเป็นกระจกเงา

1.3.3 ทดสอบระบบระบายความร้อนที่เหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก โดยการระบายความร้อนด้วยฮีตซิงค์ พัดลมและน้ำ

1.3.4 ทดสอบกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่องานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จจะได้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นต้นกำเนิดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้จานพาราโบลาเป็นอุปกรณ์รวบรวมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีกำลังไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 5 วัตต์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตในยุคปัจจุบันของมนุษย์ คือ พลังงาน (Energy) [2] จากการศึกษาพลังงานถูกจำแนกออกเป็นหลายชนิด เช่น พลังงานเคมี (Chemical energy) พลังงานความร้อน (Heat energy/Thermal energy) พลังงานจลน์ (Kinetic energy) พลังงานศักย์ (Potential energy) พลังงานไฟฟ้า (Electric energy) พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic energy) พลังงานแม่เหล็ก (Magnetic energy) พลังงานนิวเคลียร์ (Nuclear energy) เป็นต้น พลังงานมีความสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งได้ ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่ใหญ่ที่สุดที่ให้พลังงานแก่พื้นโลกโดยการส่งผ่านพลังงานมาโดยการแผ่รังสี โลกดูดกลืนพลังงานความร้อนที่ได้รับเหล่านี้ทำให้เกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ เช่น การเกิดลม ฝน วัฏจักรน้ำ เป็นต้น แหล่งพลังงานต่าง ๆ ภายในโลกได้ถูกค้นพบและถูกนำมาใช้สามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งาน ได้แก่ แหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่น แหล่งพลังงานจากฟอสซิล (Fossil Fuel) ได้แก่ น้ำมันดิบ หินน้ำมัน ทหราน้ำมัน ถ่านหิน (Coal) และก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและใกล้หมด มนุษย์จึงหาแหล่งพลังงานใหม่ที่สามารถนำมาใช้ทดแทนแหล่งพลังงานจากฟอสซิลเหล่านี้ เรียกว่า พลังงานทดแทน (Alternative Energy) โดยจะเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy Resource) เป็นแหล่งพลังงานที่สามารถเกิดขึ้นมาทดแทนหลังจากใช้ไปแล้ว หรือ แหล่งพลังงานที่เกิดขึ้นรอบ ได้แก่ ชีวมวล แสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพ ลม แร่ดินน้ำและคลื่นน้ำ เป็นต้น

วัตถุดิบจากแหล่งพลังงานเหล่านี้ถูกนำมาผ่านกระบวนการที่หลากหลาย เพื่อให้เป็นแหล่งพลังงานที่พร้อมใช้งาน เช่น แหล่งพลังงานจากชีวมวลถูกนำมาแปรรูปใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้แก่โรงงานอุตสาหกรรม ถ่านหิน น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติถูกนำมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องผลิตไฟฟ้าและเครื่องยนต์แต่ละชนิด เป็นต้น กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ล้วนแล้วแต่ต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น แหล่งพลังงานที่จำเป็นลำดับต้น ๆ คือ แหล่งพลังงานที่ได้จากฟอสซิล วัตถุดิบพลังงานถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า การขนส่งและให้ความร้อนในอุตสาหกรรม การผลิตต่าง ๆ ปัจจุบันการใช้พลังงานจากวัตถุดิบต่าง ๆ เริ่มประสบปัญหาเนื่องจาก มีค่าใช้จ่ายมากขึ้นทั้งเรื่อง ราคาของวัตถุดิบ ค่าขนส่ง การบำรุงรักษาและมลพิษต่าง ๆ อุตสาหกรรมต่าง ๆ รวมทั้งภาคการขนส่งจึงเริ่มเปลี่ยนมาใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนกันมากขึ้น แนวโน้มการใช้พลังงานในปัจจุบันเริ่มมีการปรับเปลี่ยนให้อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ใช้พลังงานไฟฟ้ากันมากขึ้น [3] ทำให้เกิดความต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ปัจจุบันจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการหรือกระบวนการใหม่ ๆ ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการในการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและเพื่อเป็นการแก้ปัญหาการขาดแคลนไฟฟ้าในอนาคต

2.1 พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า คือ พลังงานรูปหนึ่งซึ่งเกี่ยวข้องกับการแยกตัวออกของประจุ หรือ การเคลื่อนที่ของประจุที่มีอยู่ภายในอะตอมของวัตถุ เช่น อิเล็กตรอน และ โปรตอน พลังงานไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปแบบอื่น เช่น พลังงานความร้อน พลังงานแสง พลังงานแม่เหล็กและพลังงานกล เป็นต้น ภายในวัตถุประกอบด้วยอะตอมจำนวนมาก แต่ละอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสและอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส ทั้งอิเล็กตรอนและโปรตอนเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า อิเล็กตรอนหมุนรอบนิวเคลียสเพราะมีแรงดึงดูดระหว่างไฟฟ้าบวกของโปรตอนและไฟฟ้าลบของอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่อยู่วงโคจรนอกสุดซึ่งห่างจากนิวเคลียสมากมีแรงดึงดูดน้อย เมื่อมีอิทธิพลจากภายนอกเข้ามารบกวน อิเล็กตรอนจึงหลุดพ้นจากวงโคจรและสามารถเคลื่อนไหวอย่างอิสระระหว่างอะตอมได้ เรียก อิเล็กตรอนอิสระ (Free electron) ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางไฟฟ้า วัตถุใดที่มีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมาก จะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า แต่ถ้ามีจำนวนน้อยจะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

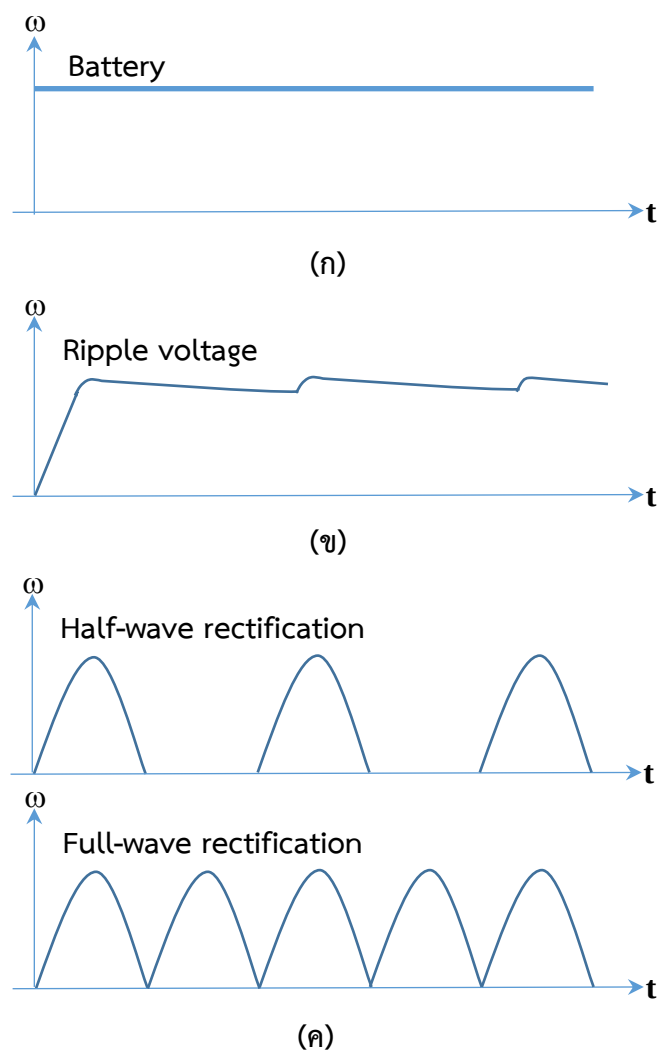
2.1.1 ไฟฟ้าสถิต (Static electricity)

เป็นปรากฏการณ์ที่ปริมาณประจุไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบบนผิววัสดุไม่เท่ากัน ทำให้เกิดแรงดึงดูดเมื่อวัสดุทั้งสองชิ้นมีประจุต่างชนิดกัน หรือ เกิดแรงผลักกันเมื่อวัสดุทั้งสองชิ้นมีประจุชนิดเดียวกัน ไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำ หรือ การเสียดสีของวัสดุสองชนิด โดยการนำวัสดุต่างชนิดมาถูกันอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรของสารทั้งสองอาจชนกันได้อาจทำให้สารชิ้นหนึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนไปให้กับสารอีกชนิดหนึ่ง แต่เนื่องจากว่าสารเหล่านี้ไม่ได้ต่อกับสารภายนอกอิเล็กตรอน ไม่มีโอกาสถ่ายเทได้จึงคงอยู่ที่สารนั้น จึงเรียกไฟฟ้าแบบนี้ว่าไฟฟ้าสถิต

2.1.2 ไฟฟ้ากระแส (Current electricity)

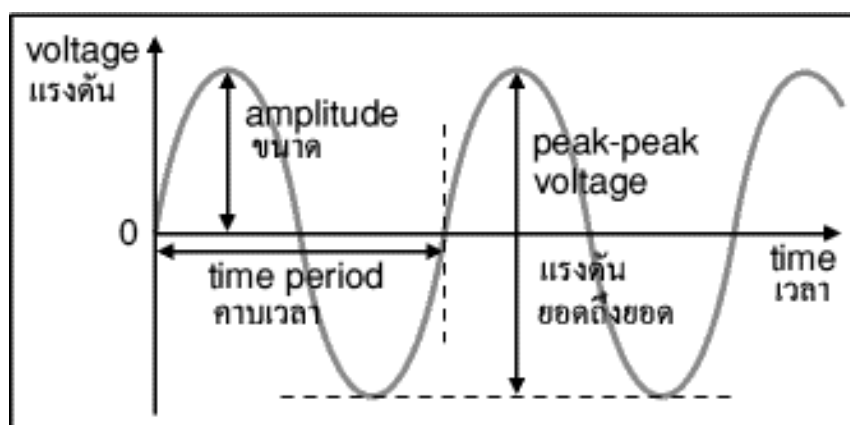
เป็นพลังงานที่เกิดจากการไหลของประจุไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิด โดยไหลผ่านวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าไปยังที่จุดที่มีศักย์ไฟฟ้าตรงข้ามกับประจุไฟฟ้า เช่น อิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าเป็นลบไหลไปหาศักย์ไฟฟ้าขั้วบวก หรือ โปรตอนมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกไหลไปหาศักย์ไฟฟ้าขั้วลบ ไฟฟ้ากระแสแบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้

2.1.2.1 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current: DC) เป็นกระแสไฟฟ้าที่มีการไหลของประจุในทิศทางเดียว สามารถมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก หรือ ลบอาจจะคงที่ตลอดเวลาหรือไม่คงที่ตลอดเวลา ไฟฟ้ากระแสตรงที่คงที่ตลอดเวลา เรียกว่า ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสมบูรณ์ หรือ แบบคงที่ เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดเวลา ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ก) ได้จากแบตเตอรี่ หรือ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่สามารถควบคุมระดับไฟฟ้าในอุดมคติได้ ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดเรียบ เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการเพิ่มหรือลดของกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าเล็กน้อยที่เรียกว่า ริปเปิล (Ripple voltage) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ข) ได้จากวงจรเรียงกระแสและมิกวงจรกรองกระแสไฟฟ้า ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่เรียบ เป็นไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงกระแสและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามาก ซึ่งได้จากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าซึ่งมีทั้งการเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half wave rectifier) และแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ค) [4]



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรง (ก) ลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรงแบบสมบูรณ์ หรือแบบคงที่ (ข) ลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่เรียบ (ค) ลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่เรียบที่ได้จากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้า

2.1.2.2 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current: AC) เป็นไฟฟ้าที่มีการไหลของกระแสไฟฟ้าเข้าและออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยความถี่คงที่ เมื่อวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเทียบกับจุดอ้างอิงพบว่าความต่างศักย์ไม่คงที่และมีค่าทั้งบวกและลบ เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนเป็นกราฟเทียบกับเวลาได้ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แผนภาพแสดงลักษณะของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

จากภาพที่ 2.2 เป็นกราฟแรงดัน-เวลาแสดงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของสัญญาณไฟฟ้า [5] ได้แก่ ขนาด (Amplitude) หรือ แรงดันยอด (Peak voltage: V_p) เป็นระยะจากจุดอ้างอิงไปถึงค่าแรงดันที่สูงที่สุด มีหน่วยเป็นโวลต์ (V) แรงดันยอดถึงยอด (Peak – Peak voltage: V_{p-p}) เป็นค่าความสูงที่วัดจากยอดคลื่นสูงที่สุดลงมาถึงยอดคลื่นล่างสุดมีค่าเป็นสองเท่าของขนาดหรือแรงดันยอด คาบเวลา (Time period: T) คือเวลาที่รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าครบหนึ่งรอบ มีหน่วยเป็นวินาที จากคาบเวลาสามารถคำนวณหาความถี่ (Frequency: f) ของไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยใช้สมการที่ (2.1) มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าแรงดันไฟฟ้าไม่คงที่ตลอดเวลาจึงได้มีการกำหนดค่าที่ใช้อ้างอิงเรียกว่า แรงดันรูทมีนสแควร์ หรือ แรงดันอาร์เอ็มเอส (RMS voltage : V_{RMS})

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} v^2 dt} \cong 0.707 \times V_p \quad (2.2)$$

ปัจจุบันกำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งเข้ามาในสายไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเนื่องจากการสูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อยมากเมื่อเทียบกับการส่งไฟฟ้ากระแสตรงกำลังไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$P = VI \quad (2.3)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็น (watt: W)

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็น (Volt: V)

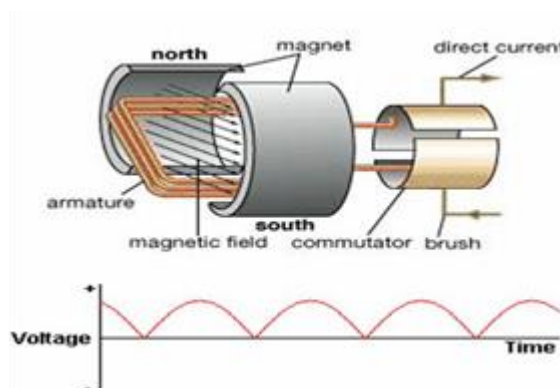
I คือ กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere: A)

2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Electric generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า [6] โดยอาศัยหลักการทำงานเมื่อสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวด หรือขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก มีแรงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในขดลวดเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่แรงจากสนามแม่เหล็กกระทำกับอิเล็กตรอน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วนคือ ส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็ก เรียกว่า ฟิลด์ (Field) และส่วนที่สร้างแรงดันไฟฟ้าเรียกว่า อาเมเจอร์ (Armature) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อาศัยหลักการการเคลื่อนที่ตัดกันของสนามแม่เหล็กและขดลวดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

2.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

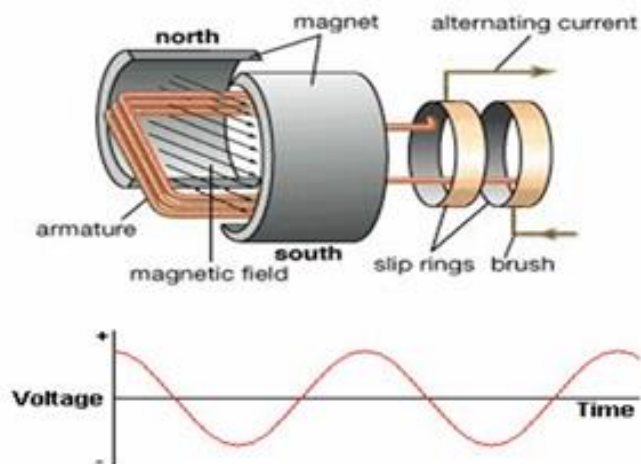
เมื่อมีแรงหมุนให้ขดลวดกับสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในภาพมีแหวนแยก (split ring) หรือ คอมมิวเตเตอร์ (commutator) เป็นส่วนที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (brushes) ทำหน้าที่เชื่อมต่อเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่วงจรไฟฟ้า ไฟฟ้าที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีแต่ด้านบวกอย่างเดียว หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

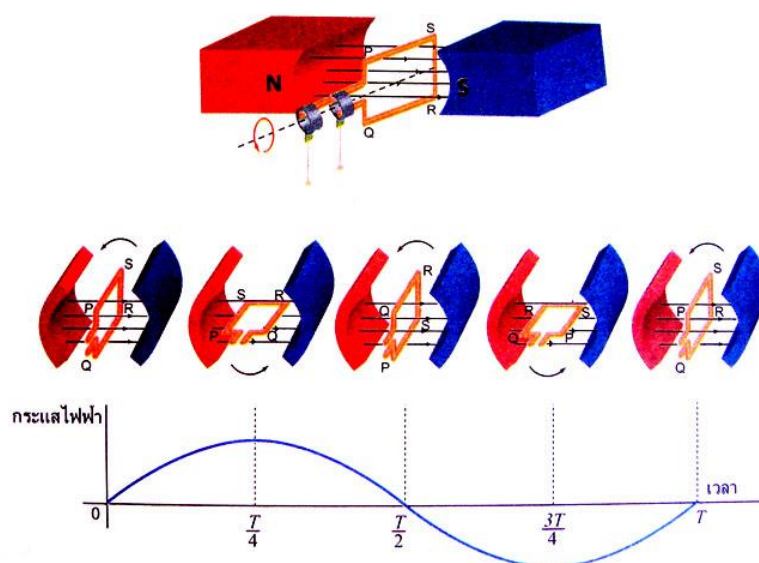
2.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะสามารถสร้างได้จากการผลัดให้ขดลวดหมุน หรือผลัดให้แม่เหล็กหมุนก็ได้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีวงแหวนลื่น (slip ring) มีลักษณะแยกเป็น 2 วงแหวน เชื่อมต่ออยู่กับปลายของขดลวดทั้ง 2 ด้านดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เมื่อขดลวดหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กจะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าไหลกลับไปกลับมาในวงจร จึงเรียกไฟฟ้าที่มีลักษณะเครื่องที่แบบดังกล่าวว่าไฟฟ้ากระแสสลับ



ภาพที่ 2.5 ขนาดของกระแสไฟฟ้าเมื่อขดลวดหมุนไปยังตำแหน่งต่าง ๆ

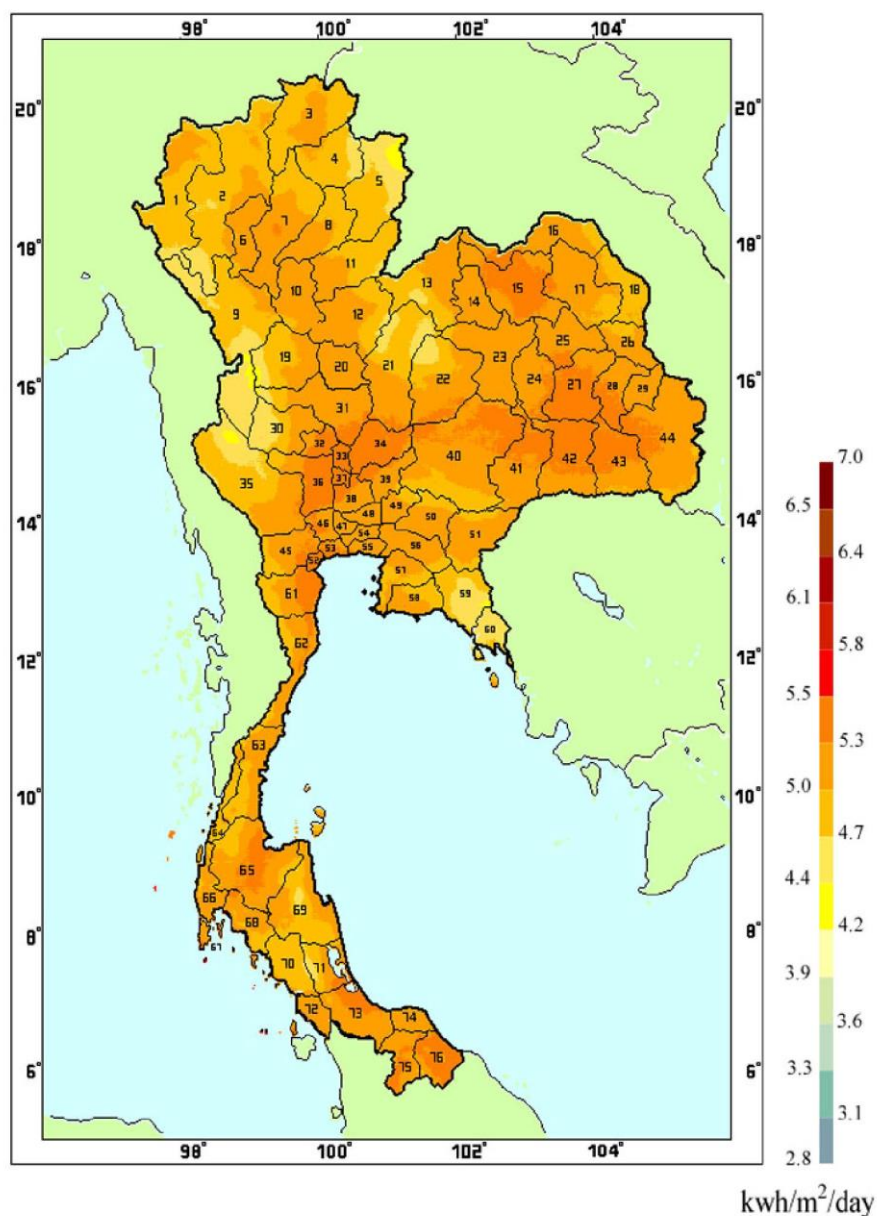
จากภาพที่ 2.5 ในช่วงเวลา 0 ถึง $T/2$ กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาของกระแสสลับจะเหมือนกับกระแสตรง แต่ในช่วงเวลา $T/2$ ถึง T กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะกลับทิศถ้าต่อตัวต้านทานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานกับเวลา และความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของตัวต้านทานกับเวลา จะเป็นดังนี้

เครื่องกำเนิดไฟฟ้านอกจากอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วยังมีอุปกรณ์ที่สามารถผันพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell หรือ Photovoltaic cell) และอุปกรณ์ที่ผันพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric module)

2.3 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่เกิดจากกระบวนการทางนิวเคลียร์ที่เรียกว่า นิวเคลียร์ฟิวชัน ซึ่งเป็นกระบวนการรวมตัวกันระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนแล้วได้อะตอมของฮีเลียมและมีมวลที่เป็นองค์ประกอบที่เหลืออยู่จากการรวมตัวกันเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานในรูปแบบพลังงานความร้อนและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วพลังงานถูกส่งออกมาจากดวงอาทิตย์ในลักษณะการแผ่รังสี เนื่องจากระยะห่างระหว่างโลกถึงดวงอาทิตย์ การดูดซับและการสะท้อนพลังงานของชั้นบรรยากาศของโลกทำให้พลังงานที่มาถึงกระทบพื้นโลกมีค่าเฉลี่ยประมาณ 961 – 1,191 วัตต์ต่อตารางเมตร [1] โดยพลังงานที่ดวงอาทิตย์แผ่มายังโลกนั้น กว่า 31.8% ถูกสะท้อนกลับสู่ชั้นบรรยากาศในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 68.2% ที่เหลือโลกสามารถดูดกลืนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ ได้แก่ การเกิดความร้อนบนพื้นโลก การระเหยของน้ำ การเกิดลม การเกิดฝน และพลังงานที่ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตบนโลก เช่น การสังเคราะห์แสงของพืชทำให้พืชเกิดการเจริญเติบโต เป็นต้น

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยถูกศึกษาโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานดังแสดงในภาพที่ 2.6 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลจากการตรวจวัดภาคพื้นดิน [1] พบว่าในปี พ.ศ. 2552 การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมที่พัดผ่านพื้นที่ในแต่ละช่วงเดือน พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 23 MJ/m²-day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีพบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีสูงสุดอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี อุตรดิตถ์ และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 MJ/m²-day จากการคำนวณรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยทั้งปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีความเท่ากับ 18 MJ/m²-day

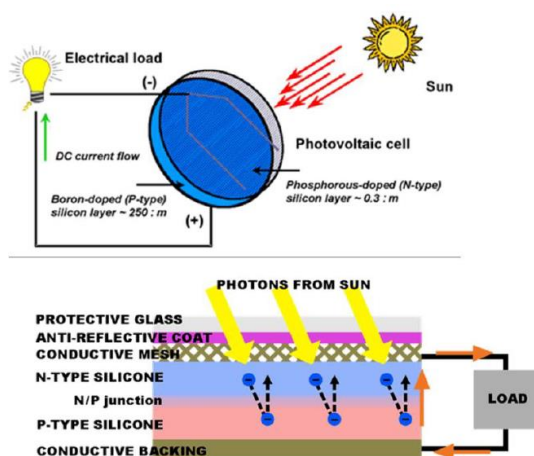


ภาพที่ 2.6 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย [1]

2.4 การผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

มนุษย์เราสามารถนำแสงอาทิตย์มาใช้ในหลายรูปแบบ ได้แก่ ใช้ในรูปแบบของแสงสว่าง เป็นแหล่งพลังงานความร้อน และผลิตไฟฟ้า เป็นต้น การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันมีการใช้งานอยู่ 2 รูปแบบ ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยตรงด้วยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของแสงอาทิตย์อาศัยการรวมแสงอาทิตย์ไว้ที่อุปกรณ์รับแสงโดยใช้วัสดุสะท้อนแสง เช่น กระจก วัสดุรับแสงเมื่อได้รับแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มข้นสูงจะเกิดความร้อนสะสมขึ้นที่ตัววัสดุแล้วนำความร้อนที่ได้จากการสะสมความร้อนไปใช้ผลิตไฟฟ้า

การผลิตไฟฟ้าโดยตรงจากแสงอาทิตย์อาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell: PV) หรือ โซลาร์เซลล์ (Solar cell) อุปกรณ์ชนิดนี้เมื่อได้รับแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานที่ได้รับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงในขั้นตอนเดียวโดยไม่มีการเคลื่อนไหวยของอุปกรณ์ ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าแปรผันกับความเข้มของแสงอาทิตย์และความร้อนที่ได้รับ เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นชนิดพี (P-type semiconductor) และชนิดเอ็น (N-type semiconductor) ต่อไว้ด้วยกันด้วยชั้นของสารที่มีสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้าเรียกชั้นนี้ว่ารอยต่อพีเอ็น (P-N junction) เมื่อมีแสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดการแยกตัวของพาหะทางไฟฟ้าเป็นประจุลบ คือ อิเล็กตรอนอิสระ (Free electron) และประจุบวก คือ โฮล (Hole) รอยต่อพีเอ็นทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะทางไฟฟ้าออกจากกันเป็นสาเหตุทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าขึ้นที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อมีการเชื่อมต่อขั้วไฟฟ้าเข้าที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อรักษาความสมดุลระหว่างผิวของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อขั้วต่อไฟฟ้าถูกต่อเข้ากับโหลดจะเกิดการไหลของพาหะทางไฟฟ้า ซึ่งการไหลของพาหะทางไฟฟ้า คือ กระแสไฟฟ้า ลักษณะการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [7]

2.5 การผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์

การผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ระบบรวมแสงอาทิตย์ (Solar concentration) ไว้ที่ตัวรับแสงเพื่อให้มีปริมาณความร้อนมากเพียงพอ โดยการใช้กระจกเงาหรือวัสดุสะท้อนแสงที่สามารถหมุนตามดวงอาทิตย์ได้ เพื่อสะท้อนและส่งแสงอาทิตย์ไปยังตัวรับแสง ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิสูง ความร้อนที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงกับชุดเครื่องยนต์หมุนเวียนพลังงานความร้อน (Cycle Heat Engine) ซึ่งติดตั้งอยู่บนตัวรับแสง หรือนำความร้อนที่ได้ไปทำให้อ่างความร้อนก่อนแล้วนำไปใช้กับเครื่องยนต์

การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานในปัจจุบัน ใช้ทั้งวิธีการสะท้อนแสงอาทิตย์มาใช้งานโดยตรงและการใช้โดยอ้อมโดยการใช้ไอน้ำหรือการใช้ความร้อนเพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) มีลักษณะต่าง ๆ กันดังนี้

2.5.1 แบบจานพาราโบลา (Parabolic dish)

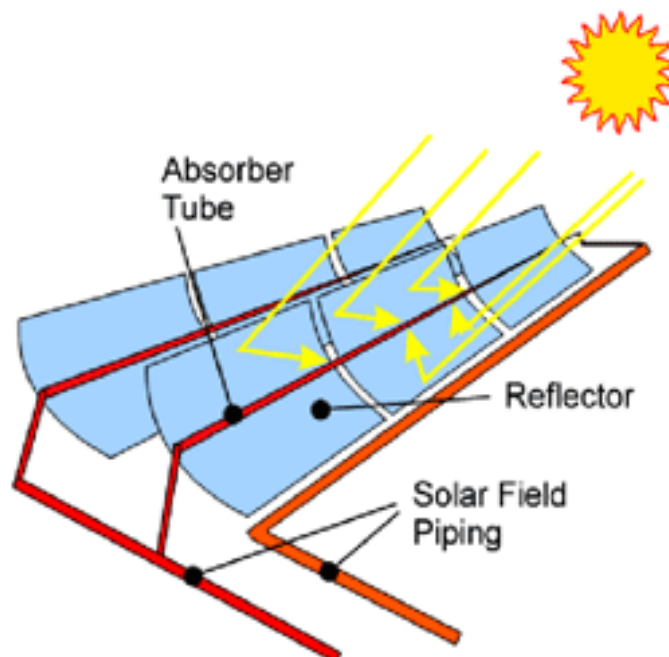
เป็นระบบรวมแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ความร้อนที่มากเพียงพอสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้ การเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับจุดศูนย์รวมของแสง ทำโดยใช้แผ่นสะท้อนแสงด้วยจานสะท้อนแสงรูปพาราโบลา เรียกว่า Solar parabolic dish ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ซึ่งจะได้ค่าพลังงานความร้อนสูงมากตรงบริเวณจุดโฟกัสของแผ่นจานสะท้อนแสง จะทำการหมุนรับแสงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตลอดเวลา การนำความร้อนมาใช้งานวิธีการที่สะดวกและนิยมใช้ คือ การใช้เครื่องยนต์ความร้อน (Sterling Engine) หมุนเจนเนอเรเตอร์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง



ภาพที่ 2.8 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงผลิตไฟฟ้าโดยใช้การรวมแสงแบบจานพาราโบลา [1]

2.5.2 แบบรางพาราโบลา (Parabolic trough)

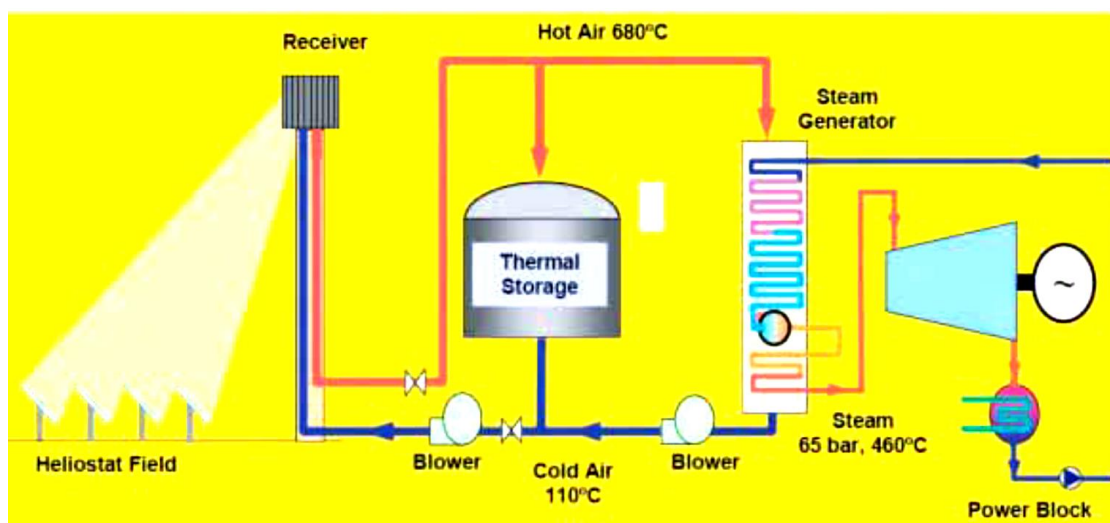
เป็นวิธีรวมแสงอาทิตย์ที่ออกแบบให้แผ่นสะท้อนแสงวางเป็นรางโค้งสะท้อนแสงอาทิตย์เข้าสู่แนวโฟกัสของส่วนโค้งแล้ววางท่อตรงแนวโฟกัสของรางสะท้อน การควบคุมการหมุนรางตามแสงอาทิตย์ทำได้สะดวกขึ้น มีการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนรางสะท้อนแสงต่ำกว่า เนื่องจากเป็นระบบขับเคลื่อนแบบ 1 แกน การนำพลังงานความร้อนออกมาใช้ก็จะสะดวกโดยการวางท่อน้ำร้อนไปตามแนวจุดโฟกัสของจาน ความร้อนที่ได้มีค่าความร้อนสูงมากจนน้ำร้อนกลายเป็นไอน้ำ (Steam) และมีความดันที่สูงมากสามารถนำไปหมุนกังหันไอน้ำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ไอน้ำที่ผ่านไพบัตแล้วอุณหภูมิจะลดลงกลั่นตัวเป็นน้ำร้อนที่สามารถปั๊มหมุนเวียนไปรับพลังงานความร้อนที่จานได้อีก ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น ส่วนประกอบและลักษณะการสะท้อนแสงของรางพาราโบลาดังแสดงในรูปที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิค [1]

2.5.3 ระบบหอคอยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Thermal Tower)

เป็นวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยวิธีรวมแสงอาทิตย์ดังแสดงในภาพที่ 2.10 ความร้อนที่ได้จากการสะท้อนของแผ่นสะท้อนแสง (Heliostat) หลาย ๆ แผ่นมารวมกันที่จุดรับแสงบนหอคอยสูง (Tower) แผ่นสะท้อนแสงแต่ละแผ่นก็จะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ท่ามกลางดวงอาทิตย์โดยให้มีการสะท้อนแสงมาตกกระทบบนจุดรับแสงบนหอคอยตลอดเวลา ซึ่งภายในหอคอยจะมีท่อน้ำร้อน ซึ่งเมื่อน้ำได้รับความร้อนก็จะเดือดกลายเป็นไอน้ำ (Steam) ที่มีความดันสูงมาก ไอน้ำจะถูกนำไปใช้เพื่อไปหมุนเครื่องยนต์ไอน้ำให้กำลังกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้



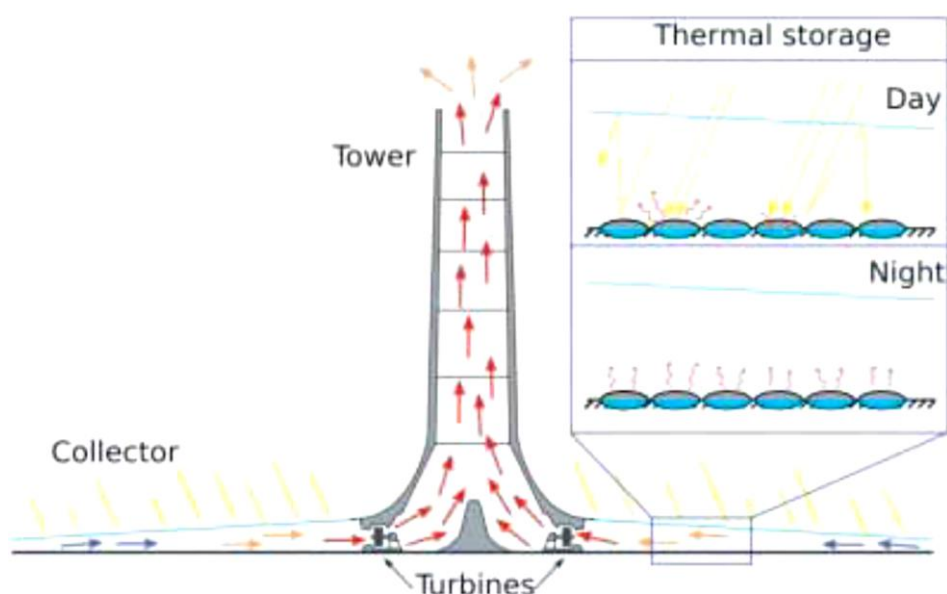
ภาพที่ 2.10 หลักการผลิตไฟฟ้าจากหอคอยพลังงานแสงอาทิตย์ [1]



ภาพที่ 2.11 การเก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบหอคอยรวมแสง [1]

2.5.4 ปล่องลมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Chimney Tower)

เป็นวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการหมุนของกังหันที่ติดตั้งอยู่ในปล่องท่อที่มีลมร้อนไหลผ่านตามหลักการเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศ เมื่ออากาศได้รับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) ที่อยู่รอบ ๆ ของฐานปล่องแล้ว อากาศร้อนจะไหลขึ้นที่สูง เมื่อมีพื้นที่รับแสงมาก ปริมาณอากาศที่ไหลเวียนก็จะมากขึ้น จะเกิดแรงดูดอากาศที่เย็นกว่าเข้ามาที่ฐาน อากาศที่ร้อนก็จะไหลรวมกันเข้าไปในปล่องดังแสดงในภาพที่ 2.12 และ 2.13



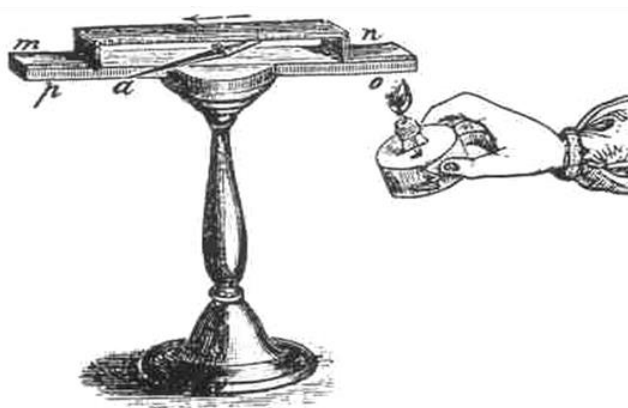
ภาพที่ 2.12 หลักการทำงานของหอคอยผลิตไฟฟ้าแบบปล่องลมร้อน [1]



ภาพที่ 2.13 หอคอยผลิตไฟฟ้าแบบปล่องลมร้อนใน Manzanares ประเทศสเปน [1]

2.6 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric effect)

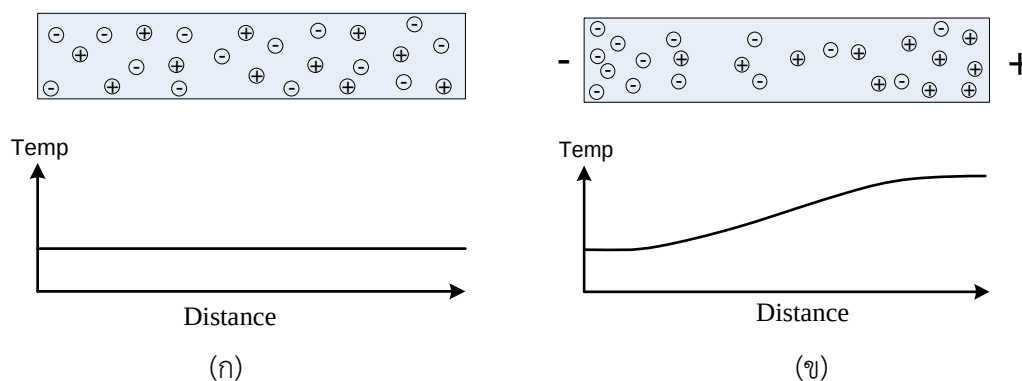
ใน ค.ศ. 1821 นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Thomas Johann Seebeck ได้ทำการทดลองแล้วค้นพบโดยบังเอิญว่า เมื่อมีวัสดุที่เป็นโลหะสองชนิดเชื่อมต่อปลายเข้าด้วยกันทั้งสองด้าน ถ้าให้ความร้อนที่รอยต่อของโลหะ 2 ชนิดนี้ข้างใดข้างหนึ่ง จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายโลหะทั้งสอง ดังภาพที่ 2.14 เนื่องจากกลุ่มอิเล็กตรอนในขั้วต่อโลหะด้านร้อนจะมีพลังงานจลน์สูงกว่าขั้วต่อโลหะด้านเย็นทำให้เคลื่อนที่เร็วกว่า จึงทำให้เกิดความแตกต่างของจำนวนอิเล็กตรอนที่ปลายโลหะดังกล่าว ได้สรุปว่าความแตกต่างอุณหภูมิมีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในโลหะ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) [8]



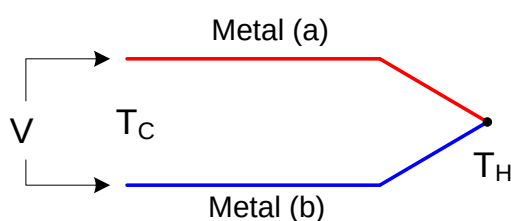
ภาพที่ 2.14 ภาพวาดอุปกรณ์ที่ใช้โดยโทมัสซีเบคเพื่อสังเกตการเบนของเข็มทิศ a ซึ่งเป็นผลจากการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อนที่จุดเชื่อมต่อของวัสดุ n และ o

ปรากฏการณ์ซีเบคเป็นปรากฏการณ์การผันพลังงานความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยปรากฏการณ์ของการบังคับแตกต่างของอุณหภูมิสม่ำเสมอให้ไหลไปตามตัวนำจำกัด ซึ่งเริ่มแรกตัวนำจะควบคุมการกระจายอย่างสม่ำเสมอของตัวพาประจุ แต่ภายใต้ความแตกต่างของอุณหภูมิ

พาหะอิสระต่าง ๆ ที่ปลายด้านร้อนจะมีพลังงานจลน์มากกว่าที่ปลายด้านเย็นและมีแนวโน้มที่จะแพร่ไปยังปลายด้านเย็น ดังภาพที่ 2.15 ซึ่งการเกิดขึ้นของประจุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (Back electromotive force หรือ Back e.m.f.) ซึ่งตรงข้ามกับการไหลของประจุ ความต่างศักย์วงจรเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหลที่เกิดขึ้น เรียกว่า ความต่างศักย์ซีเบค (Seebeck voltage) จากปรากฏการณ์ดังกล่าวนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ เรียกว่า เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)



ภาพที่ 2.15 การเกิดความต่างศักย์ซีเบค (ก) แสดงการกระจายตัวของอิเล็กตรอนในวัสดุที่มีอุณหภูมิเท่ากันตลอดวัตถุ (ข) แสดงการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนในวัสดุที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ



ภาพที่ 2.16 ส่วนประกอบของเทอร์โมคัปเปิล

ถ้ารอยต่อของวงจรจากตัวนำที่ต่างชนิดกันสองตัว a และ b แสดงดังภาพที่ 2.16 ต่อไว้ด้วยกัน เมื่ออุณหภูมิ T_H และ T_C มีค่าต่างกันโดย $T_H > T_C$ แล้วความต่างศักย์ไฟฟ้าของวงจรเปิดจะเกิดขึ้น และสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.3

$$V = S_{ab}(T_H - T_C) \quad (2.4)$$

เมื่อ V หมายถึง ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Volt)

S_{ab} หมายถึง สัมประสิทธิ์ซีเบค ($\mu V \cdot K^{-1}$) ของรอยต่อระหว่างวัสดุ a และ b

T_H หมายถึง อุณหภูมิด้านร้อน (K)

T_C หมายถึง อุณหภูมิด้านเย็น (K)

สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิน้อย ๆ ความสัมพันธ์ข้างต้นจะเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของรอยต่อระหว่างวัสดุ a และ b เท่ากับความแตกต่างระหว่างสัมประสิทธิ์ของสองวัสดุนั้น

$$S_{ab} = (S_a - S_b) \quad (2.5)$$

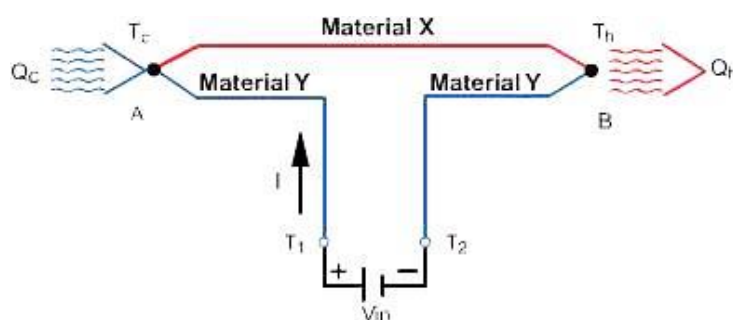
S_a หมายถึง สัมประสิทธิ์ซีเบคของวัสดุ a

S_b หมายถึง สัมประสิทธิ์ซีเบคของวัสดุ b

จากปรากฏการณ์ดังกล่าว ได้นำมาผลิตอุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เรียกว่า เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

2.7 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect)

หลังจากได้มีการค้นพบปรากฏการณ์ซีเบค ต่อมาใน ค.ศ. 1834 ยีน ชาร์เลส อะธานาส เพลเทียร์ (Jean Charles Athanase Peltier) ได้ทำการทดลองผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในโลหะทองแดงและบิสมัทที่เชื่อมต่อกัน ผลที่เกิดขึ้น คือ รอยต่อระหว่างทองแดงและบิสมัทข้างหนึ่งจะร้อนขึ้น ส่วนอีกข้างหนึ่งจะเย็นลง อันเป็นผลจากคุณสมบัติของโลหะแต่ละชนิดกลุ่มอิเล็กตรอนเคลื่อนผ่านโลหะด้านหนึ่งจะปลดปล่อยความร้อน (Heat evolved) แต่อีกด้านหนึ่งจะดูดกลืนความร้อน (Heat absorbed) ทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิ ดังภาพที่ 2.17 เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่าปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect)

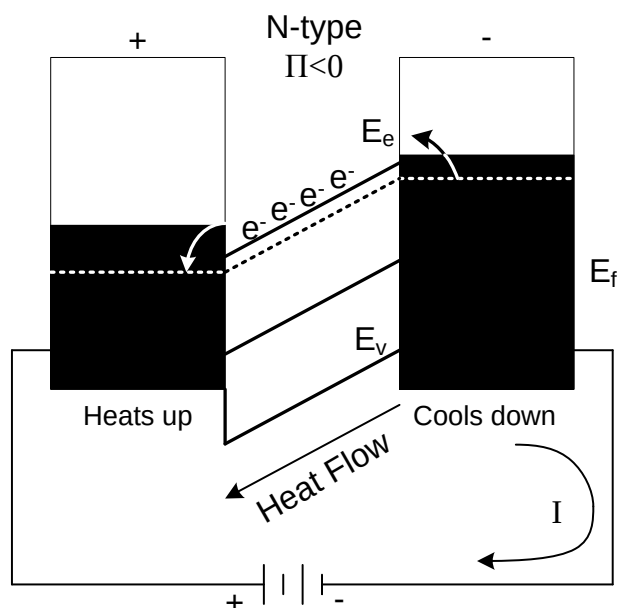


ภาพที่ 2.17 ปรากฏการณ์เพลเทียร์

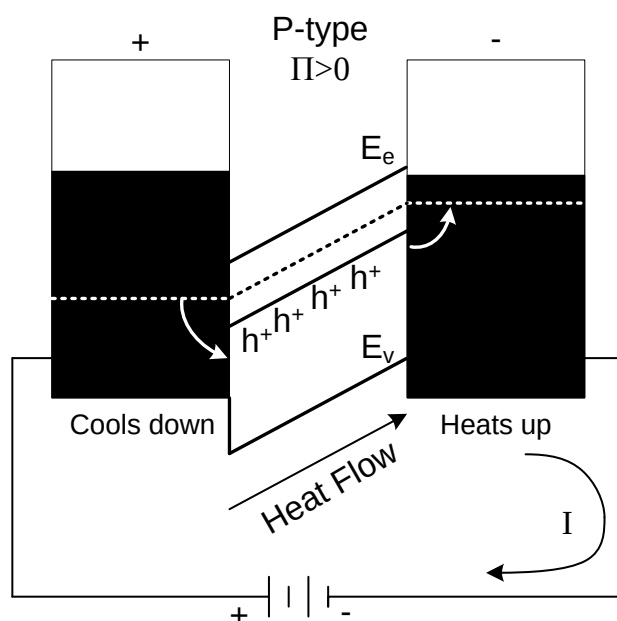
เพลเทียร์ได้ทำการศึกษาโดยให้กระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อน เกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำความร้อนจะเพิ่มหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้า และสามารถอธิบายได้ 2 แบบ

แบบที่ 1 $\Pi < 0$ ค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นลบ เมื่ออิเล็กตรอนของอะตอมได้รับพลังงานสูง จะมีการเคลื่อนย้ายจาก - ไป + การไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้า จะมีทิศทางตรงกันข้ามกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.18

แบบที่ 2 $\Pi > 0$ ค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นบวก โอลพลังงานสูงเคลื่อนย้ายจาก + ไป - การไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้าจะมีทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.18 การไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้าของโลหะชนิด n



ภาพที่ 2.19 การไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้าของโลหะชนิด p

ใน ค.ศ. 1838 Heinrich Lenz ได้แสดงให้เห็นว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรอยต่อของโลหะทั้งสอง เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อความร้อนสามารถเคลื่อนจากรอยต่อด้านหนึ่งไปสู่รอยต่ออีกด้าน โดยรอยต่อด้านที่สูญเสียความร้อนสามารถทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง เมื่อกลับขั้วไฟฟ้ารอยต่อเดิมสามารถร้อนขึ้นจนละลายน้ำแข็งให้เป็นน้ำได้เช่นเดิม การไหลของพลังงานความร้อนสามารถอธิบายได้ตามสมการ 2.6

$$Q = \Pi_{AB}I = (\Pi_B - \Pi_A) \cdot I \quad (2.6)$$

เมื่อ	Q	หมายถึง พลังงานความร้อน
	Π_{AB}	หมายถึง สัมประสิทธิ์เพลเทียร์ของโลหะ A และ B
	Π_A, Π_B	หมายถึง สัมประสิทธิ์เพลเทียร์ของโลหะ A และของโลหะ B
	I	หมายถึง กระแสไฟฟ้า

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพบว่าเมื่อ ค.ศ. 1994 J. C. Bass และคณะ [9] ได้ทำการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดกำลัง 1 กิโลวัตต์สำหรับเครื่องยนต์ของรถบรรทุกโดยได้รับทุนสนับสนุนจากกระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกาและคณะกรรมการพลังงานของแคลิฟอร์เนีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนการผลิตไฟฟ้าจากเพลลาซามาเป็นการใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากไอเสียของเครื่องยนต์มาเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกสร้างจากเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด Hi-Z 13 วัตต์ จำนวน 72 อัน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นได้ถูกนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์หลายชนิด จากรายงานพบว่าในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 1068 วัตต์

ค.ศ. 2014 G. Muthu และคณะ [10] จากประเทศอินเดีย ได้สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก โดยในงานวิจัยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า 4 แผ่นต่อขนานกัน ใช้จานพาราโบลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.56 เมตร ความยาวโฟกัส 1.11 เมตร วัสดุสะท้อนแสงทำจากแผ่นอะลูมิเนียม ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะสมความร้อนระหว่างการใช้กล่องออลิกลีกรอบแผ่นสะสมความร้อนและไม่ใช้กล่องครอบ พบว่าเมื่อมีกล่องครอบบนแผ่นสะสมความร้อนจะทำให้อุณหภูมิของแผ่นสะสมความร้อนเพิ่มสูงขึ้น วัดค่าอุณหภูมิสูงสุดได้ 383 เคลวิน เมื่อความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ 1050 W/m^2 และวัดค่าอุณหภูมิต่ำสุดได้ 326 เคลวิน เมื่อความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ 600 W/m^2 ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 3.7 วัตต์ ขณะที่ความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ 1050 W/m^2

ค.ศ. 2015 Ali Ekber Özdemir และคณะ [11] จากมหาวิทยาลัย Ordu ประเทศตุรกีได้ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก โดยในงานวิจัยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าโมเดล TEG1-12611-60 รวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นกระจกเงาโค้งรูปพาราโบลาเพื่อสะท้อนแสงสู่ท่อดูดซับความร้อนที่บรรจุน้ำ โดยวางท่อกับกระจกเงาทำมุม 37 องศากับแนวระดับ ซึ่งเป็นมุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรับแสงอาทิตย์ แล้วใช้หลักการไหลตามธรรมชาติของไอน้ำที่อุณหภูมิต่างกันเพื่อเป็นแหล่งความร้อนสำหรับชุดเทอร์โมอิเล็กทริกและทำการระบายความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยอาศัยการไหลของลมผ่านปล่องระบายความร้อน ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลในเวลา 8.30 – 16.00 น. พบว่าช่วงเวลาประมาณ 13.30 น. จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 0.83 วัตต์

การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกภายในประเทศไทย พ.ศ. 2549 สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และคณะ [12-13] จากภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เสนองานวิจัยเรื่อง พัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า

50 วัตต์ โดยใช้พลังงานความร้อนจากแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำ ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วยชุดเซลล์ความร้อน 4 ชุดต่ออนุกรมกัน 2 ชุดก่อนต่อขนานกัน แต่ละชุดใช้เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดทำความเย็น 96 ตัว ติดตั้งที่ผนังท่อถ่ายเทความร้อนที่ทำด้วยอลูมิเนียม ทรงกระบอกสี่เหลี่ยมกลวง ทดสอบโดยใช้ไอน้ำเดือดแทนความร้อนเหลือทิ้งจากระบบหล่อเย็น วัดอุณหภูมิด้านร้อนได้ 96 องศาเซลเซียส ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังด้านร้อนกับด้านเย็น ประมาณ 24 – 25 องศาเซลเซียส ระบายความร้อนให้กับชุดเซลล์ความร้อนด้วยพัดลม สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 250 โวลต์ กระแสลัดวงจร 1.2 แอมแปร์ แล้วแปลงผันพลังงานไฟฟ้าที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ จ่ายให้กับโหลดแบบตัวต้านทานได้มากกว่า 50 วัตต์ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า 0.418 เปอร์เซนต์

ใน พ.ศ. 2553 อธิวัฒน์ อุทาพงษ์ [14] จากภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำพร้อมระบบแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ โดยในงานวิจัยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดทำความเย็น 192 เซลล์ ต่ออนุกรมกันบนผนังโมดูล 2 ด้าน ด้านละ 96 เซลล์ แล้วจำลองการผลิตน้ำร้อนไหลวนตามธรรมชาติขึ้นแทนแหล่งความร้อนเหลือทิ้งวัดอุณหภูมิด้านเข้า 102 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิด้านออกจากโมดูล 98 องศาเซลเซียส ระบายความร้อนด้วยน้ำประปาอัตราการไหล 18 ลิตรต่อนาที วัดอุณหภูมิด้านเข้า 30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิด้านออกจากโมดูล 38 องศาเซลเซียส โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 335 โวลต์ กระแสไฟฟ้าวงจรปิด 0.75 แอมแปร์ จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 62 วัตต์ และสามารถแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ พร้อมปล่อยกระแสไฟฟ้าแบบไม่พึ่งพาแบตเตอรี่ในการกักเก็บพลังงาน ได้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบที่ใช้พัดลมระบายความร้อนประมาณ 2 เท่า

ใน พ.ศ. 2550 นพพร พืชประภคิต และคณะ [15] ได้นำเสนอผลงานวิจัยเรื่อง ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานเทอร์โมอิเล็กทริก ใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดทำความเย็นมาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกรุ่น TEC1-12710 ขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ 12 ตัว ต่ออนุกรมกัน 4 ตัว ได้ 3 ชุดแล้วใช้ เทอร์โมอิเล็กทริกทั้ง 3 ชุดมาต่อขนานกัน ระบายความร้อนด้วยพัดลมและฮีตซิงค์ ปรับแรงดันไฟฟ้าที่ได้ด้วยวงจรบูทคอนเวอร์เตอร์ นำไปทดสอบกับแหล่งกำเนิดความร้อน 2 ชนิด คือ แหล่งความร้อนจากคอนเดนเซอร์อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ได้ผลต่างอุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียส กำลังไฟฟ้าที่ได้ประมาณ 2.1 วัตต์ และแหล่งความร้อนจากฮีตเตอร์อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส ได้ผลต่างอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส กำลังไฟฟ้าที่ได้ประมาณ 4.05 วัตต์ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งความร้อนทั้ง 2 ชนิด สามารถนำไปอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ได้

พ.ศ. 2555 ชัยพล เฟ่งพิศ และคณะ [16] จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้ทำงานวิจัยและสร้างเซลล์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากกักตักไอน้ำโดยนำความร้อนเหลือใช้จากกักตักไอน้ำในอุตสาหกรรมมาเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเบอร์ CP1-12726 ที่ต่ออนุกรมกัน 4 แผ่น แล้วนำกระแสไฟฟ้าที่ได้เพิ่มแรงดันเป็น 12 โวลต์ ซึ่งสามารถกำเนิดพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ประมาณ 1 วัตต์ ที่ค่าผลต่างอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 40 องศาเซลเซียส และสามารถนำไปใช้กับหลอดไฟชนิด LED ขนาด 12 โวลต์ 1 วัตต์ ได้ 1 หลอด

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อาศัยต้นกำเนิดพลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้วทำการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยการผลิตไฟฟ้าของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (TEG) จำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อนำมาเป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าและจะต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในโครงการทั้งในการสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าและการทดสอบอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

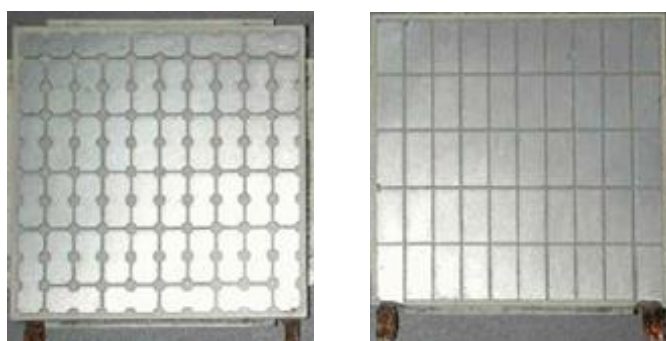
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ยี่ห้อ ISO TECH รุ่น ISM400	1	เครื่อง
ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ KYORITSU รุ่น KEW 1011	4	เครื่อง
เครื่องทำความร้อน 2000 วัตต์	1	เครื่อง
อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ	1	เครื่อง
จานรับสัญญาณดาวเทียมขนาด 6 ฟุต	1	ชุด
กระจกเงาความหนา 3 มิลลิเมตร ขนาด 60 x 60 เซนติเมตร	8	แผ่น
มิตดัดกระจก	1	ด้าม
กาว Epoxy	10	หลอด
แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก HZ-9	4	แผ่น
ซิลิโคนคอมเปาต์	4	หลอด
เทอร์โมคัปเปิล type K	2	เส้น
ตัวต้านทานขนาด 0.5 โอห์ม 10 วัตต์	2	ตัว
ตัวต้านทานขนาด 1 โอห์ม 10 วัตต์	10	ตัว
ไดอะแฟรมปั๊ม	1	เครื่อง
สายยาง	4	เมตร
แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 เซนติเมตร ขนาด 12 x 15 เซนติเมตร	2	แผ่น
แผ่นฮีตซิงค์ระบายความร้อน	2	แผ่น
สว่านไฟฟ้า	1	เครื่อง

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

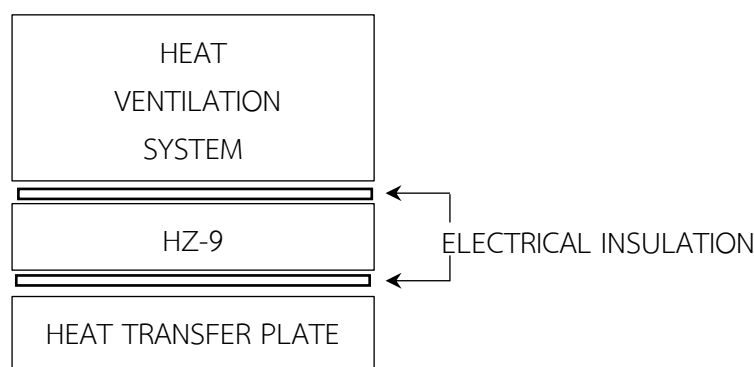
3.2.1 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าจากความร้อน การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกยี่ห้อ Hi-Z รุ่น HZ-9 ดังภาพที่ 3.1 มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานในช่วงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสไม่เกิน 400 องศาเซลเซียสคุณสมบัติ

ทางไฟฟ้าที่ทางบริษัทผู้ผลิตทดสอบไว้ ทดสอบที่สภาวะควบคุมอุณหภูมิผิวด้านเย็น 30 องศาเซลเซียส ผิวด้านร้อน 230 องศาเซลเซียส ได้แก่ กำลังไฟฟ้า 9 วัตต์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมโหลด 3.28 โวลต์ ความต่างศักย์วงจรเปิด 6.5 โวลต์ ความต้านทานภายใน 1.15 โอห์ม กระแสไฟฟ้า 2.9 แอมแปร์และประสิทธิภาพ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาคผนวก ข



ภาพที่ 3.1 ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกยี่ห้อ Hi-Z รุ่น HZ-9

หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก คือ เมื่อผิวทั้งสองด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ดังนั้น โครงสร้างของชุดผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ถูกออกแบบให้ประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ส่วน ดังภาพที่ 3.2 ได้แก่ อุปกรณ์ถ่ายเทพลังงานความร้อน (Heat transfer plate) ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้แก่ผิวด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก อุปกรณ์แปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า (Thermoelectric generator) และอุปกรณ์ระบายความร้อน (Heat ventilation system) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากผิวด้านเย็น อุปกรณ์ทั้ง 3 ส่วนถูกประกอบเข้าด้วยกันเป็นโมดูลผลิตไฟฟ้า



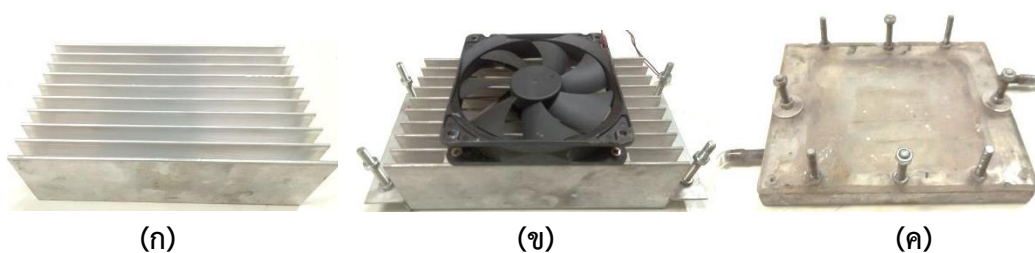
ภาพที่ 3.2 แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์ภายในชุดผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์ถ่ายเทพลังงานความร้อนทำจากแผ่นอลูมิเนียมขนาด $12 \times 15 \times 1$ เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ระบบระบายความร้อนของเซลล์ไฟฟ้าถูกออกแบบไว้ 3 แบบ คือ ระบายความร้อนด้วยแผ่นฮีตซิงค์ (Heat sink) ระบายความร้อนด้วยแผ่นฮีตซิงค์พร้อมพัดลมเพิ่มการไหลเวียนของ

อากาศและการระบายความร้อนโดยใช้น้ำไหลผ่าน อุปกรณ์ระบายความร้อนทั้ง 3 รูปแบบดังแสดงในภาพที่ 3.4 (ก) – 3.4 (ค)



ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ถ่ายเทพลังงานความร้อน



ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์สำหรับระบายความร้อนที่นำมาทดสอบหุ้มฉนวนด้านเย็น

(ก) แผ่นฮีตซิงค์

(ข) แผ่นฮีตซิงค์พร้อมพัดลม

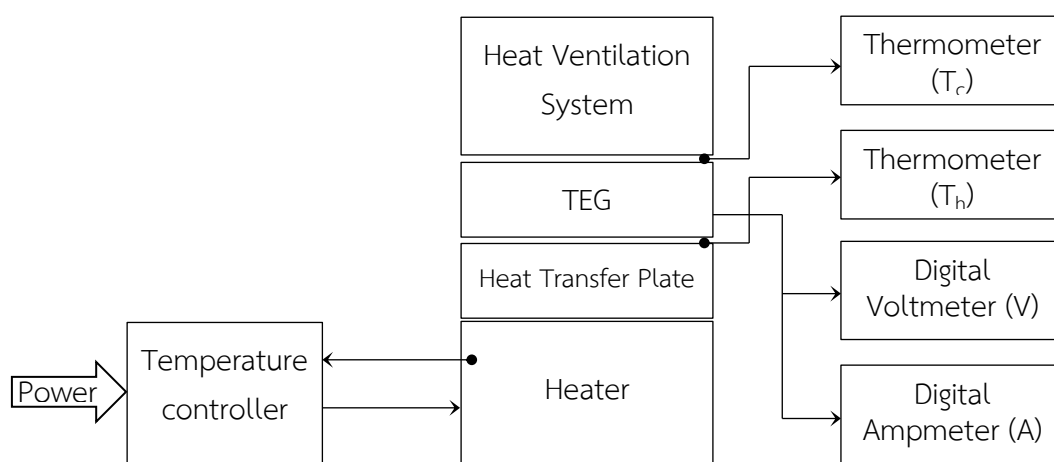
(ค) อุปกรณ์ระบายความร้อนโดยใช้น้ำไหลผ่าน

3.2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องมือทดสอบสมบัติอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้า หลังจากสร้างชุดผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจำเป็นต้องทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ด้วยการจำลองแหล่งพลังงานความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยใช้เครื่องทำความร้อนและกล่องควบคุมอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและเครื่องทำความร้อน

3.2.3 ทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า พร้อมทั้งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและเครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิผิวด้านร้อน เครื่องวัดอุณหภูมิผิวด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าและเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า โดยใช้แผนภาพทดสอบการทำงานดังแสดงในภาพที่ 3.6 ใช้แผงความต้านทานอนุกรมขนาด 11 โอห์มสำหรับทดสอบ เครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิและปริมาณทางไฟฟ้าใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ KYORITSU รุ่น KEW 1011 ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.6 แผนภาพแสดงการทดสอบการทำงานของเซลล์ไฟฟ้า

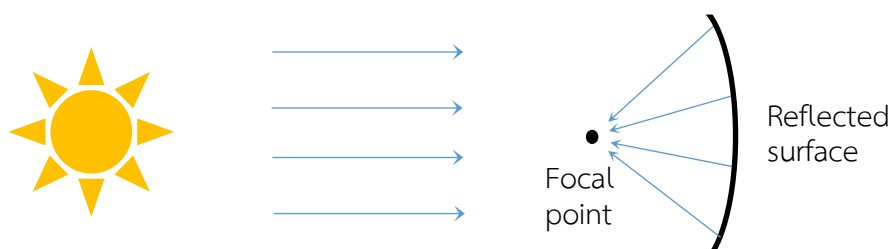


ภาพที่ 3.7 แผงความต้านทานอนุกรมขนาด 11 โอห์ม ใช้สำหรับทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า



ภาพที่ 3.8 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ KYORITSU รุ่น KEW 1011 ใช้วัดสมบัติทางไฟฟ้าและอุณหภูมิ

3.2.4 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์รวบรวมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ จากการศึกษาสมบัติของแสงอาทิตย์มีวิธีการรวบรวมพลังงานความร้อนได้หลายวิธี เช่น การวางวัสดุกลางแดดเพื่อสะสมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ การหักเหแสงผ่านเลนส์และการสะท้อนแสงไปรวมที่จุดเดียว ระดับพลังงานความร้อนที่ได้จากการหักเหผ่านเลนส์และการสะท้อนไปรวมที่จุดเดียวจะได้อุณหภูมิที่สูง ในงานวิจัยนี้เลือกการสะท้อนแสงไปรวมที่จุดเดียวเนื่องจากสามารถสร้างให้มีขนาดตามต้องการได้ การรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์โดยการสะท้อนแสงที่มีการใช้งานมีหลายลักษณะ ได้แก่ การรวมแสงแบบจานพาราโบลา การรวมแสงแบบรางพาราโบลาและแบบหอคอยรวมแสง การรวมแสงแบบจานพาราโบลาเป็นวิธีการรวมแสงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงได้เลือกลักษณะการรวมแสงแบบจานพาราโบลาใช้วัสดุสะท้อนแสงเป็นกระจกเงา

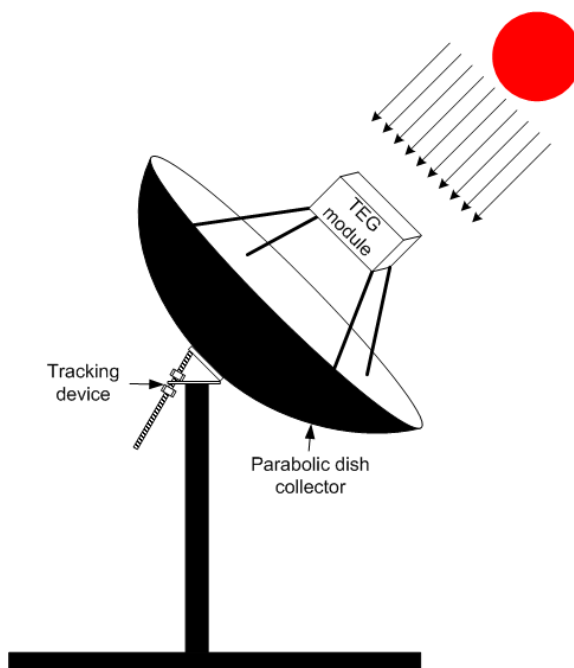


ภาพที่ 3.9 ลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นผิวพาราโบลา

วัสดุสำหรับสะท้อนแสงใช้กระจกเงาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 4×4 เซนติเมตร แล้วนำมาติดบนจานพาราโบลาโดยใช้กาวอีพ็อกซีดังแสดงในภาพที่ 3.10 และมีโครงสร้างฐานรองรับจานพาราโบลาเพื่อสามารถหมุนตามมุมของดวงอาทิตย์เพื่อให้จานพาราโบลาสามารถรับแสงอาทิตย์ได้โดยตรงดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.10 การติดตั้งแผ่นกระจกบนจานพาราโบลา

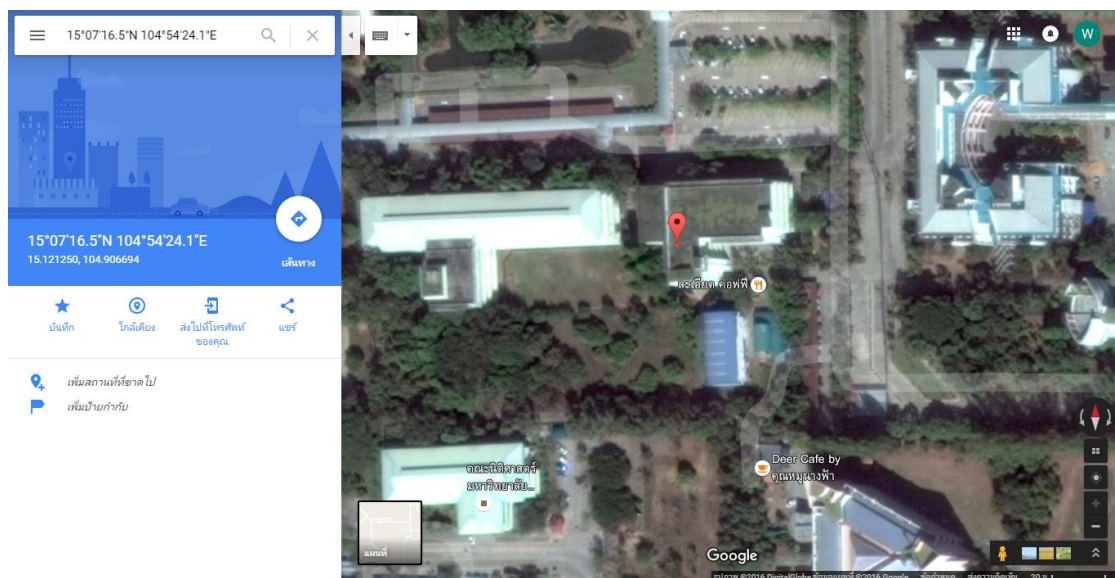


ภาพที่ 3.11 โครงสร้างของระบบรวบรวมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

3.2.5 ทดสอบการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ หลังจากทำการติดตั้งโมดูลผลิตไฟฟ้าบนอุปกรณ์สะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วทำการทดสอบการรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยติดตั้งเครื่องไว้นาฬิกาฟ้าของอาคารฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ดังแสดงในภาพที่ 3.12 ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบจากแผนที่ดาวเทียมของ Google ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.12 การติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าเพื่อทดสอบรับพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 3.13 ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบเครื่องจากแผนที่ดาวเทียมของ Google

บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผลงานวิจัย

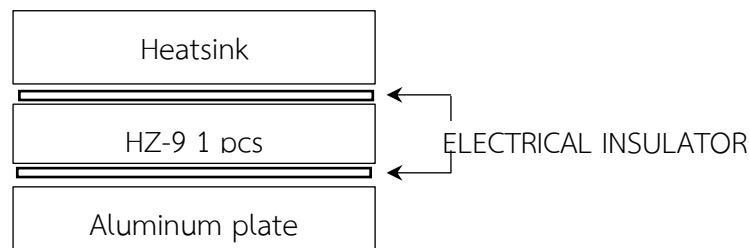
งานวิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกยี่ห้อ Hi-Z รุ่น HZ-9 โดยได้ทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของตัวระบายความร้อนรวมทั้งจำนวนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลผลิตไฟฟ้าที่ออกแบบและทดสอบมีทั้งหมด 8 แบบ ซึ่งแสดงส่วนประกอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบของโมดูลผลิตไฟฟ้า

ชื่อโมดูล	ชนิดของการระบายความร้อน	จำนวนเทอร์โมอิเล็กทริก (แผ่น)	ฉนวนไฟฟ้า
โมดูล 1	ฮีตซิงค์	1	สีทนความร้อน
โมดูล 2	ฮีตซิงค์พร้อมพัดลม	1	สีทนความร้อน
โมดูล 3	ระบายความร้อนด้วยน้ำ	1	สีทนความร้อน
โมดูล 4	ฮีตซิงค์	2	สีทนความร้อน
โมดูล 5	ฮีตซิงค์พร้อมพัดลม	2	สีทนความร้อน
โมดูล 6	ระบายความร้อนด้วยน้ำ	2	สีทนความร้อน
โมดูล 7	ฮีตซิงค์พร้อมพัดลม	4	สีทนความร้อน
โมดูล 8	ระบายความร้อนด้วยน้ำ	2	เซรามิก+แผ่นไมก้า

4.1 การทดสอบโดยการจำลองแหล่งความร้อน

โมดูลผลิตไฟฟ้าถูกออกแบบและจัดวางอุปกรณ์ดังภาพที่ 4.1 โดยใช้ชื่อเรียกโมดูลผลิตไฟฟ้าว่า **โมดูล 1** ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 1 แผ่น วางลงบนแผ่นอลูมิเนียมที่เคลือบด้วยสีทนความร้อน ผิวด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกใช้แผ่นฮีตซิงค์ที่เคลือบด้วยสีทนความร้อน สีทนความร้อนที่เคลือบผิวใช้แทนฉนวนไฟฟ้าแล้วทำการจัดวางบนเครื่องทำความร้อนดังภาพที่ 4.2 สำหรับทำการทดสอบการทำงานของโมดูลผลิตไฟฟ้า

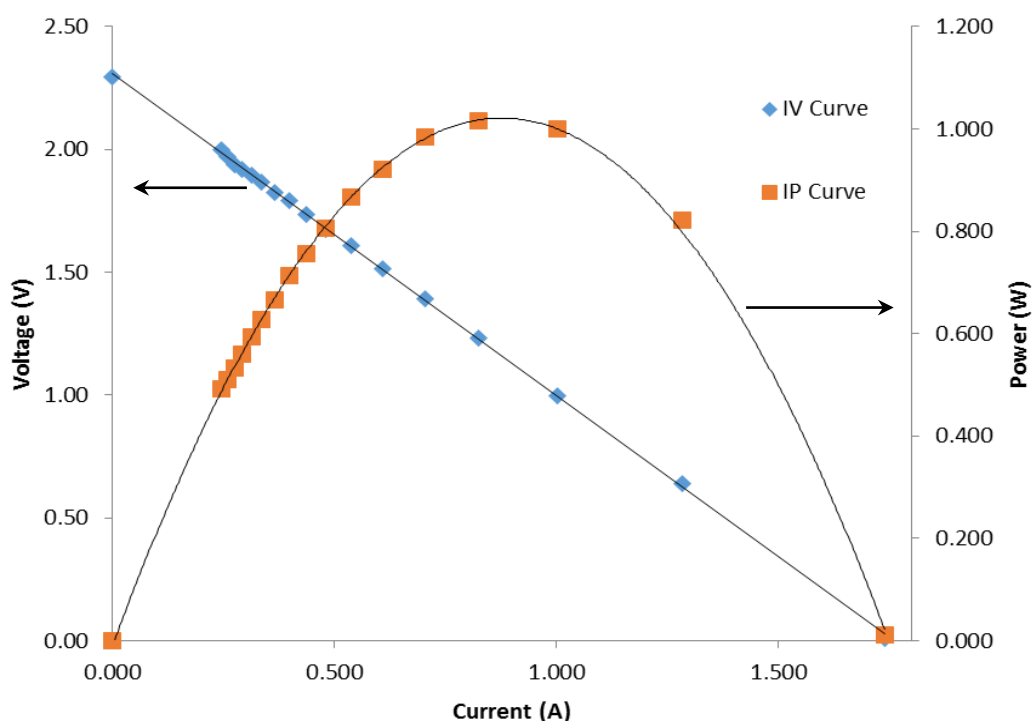


ภาพที่ 4.1 แผนภาพการจัดเรียงอุปกรณ์ประกอบเป็นโมดูลผลิตไฟฟ้า



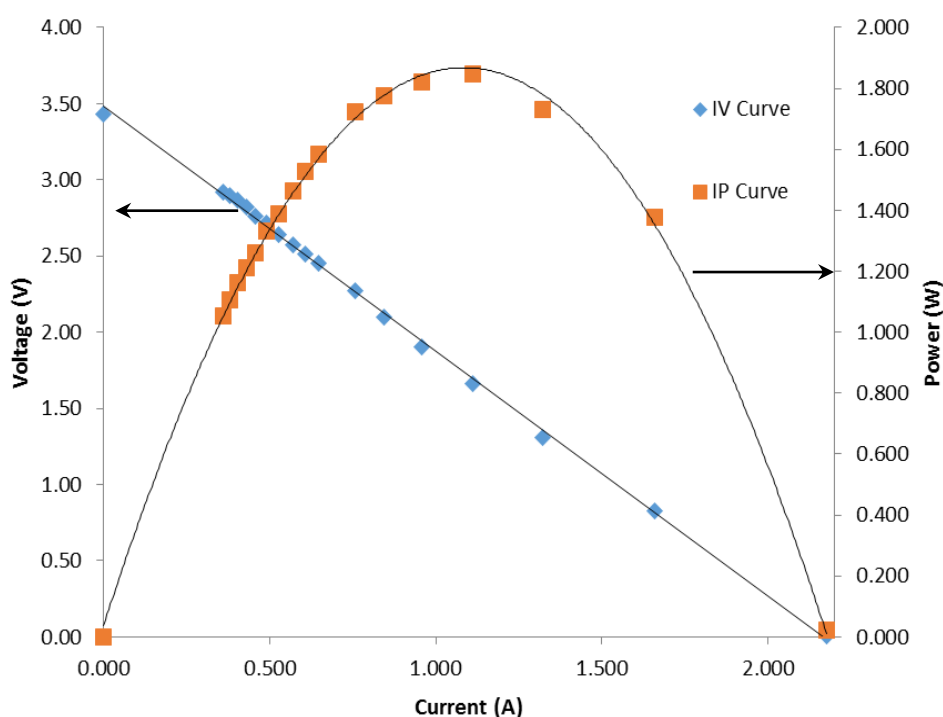
ภาพที่ 4.2 การจัดวางโมดูล 1 บนเครื่องทำความร้อน

หลังจากการสร้างเครื่องมือได้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องมือโดยทำการทดสอบในห้องควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศ 26 องศาเซลเซียส ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 250 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 139 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 111 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 2.30 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลदनำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าตามสมการที่ 2.3 สามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 1 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

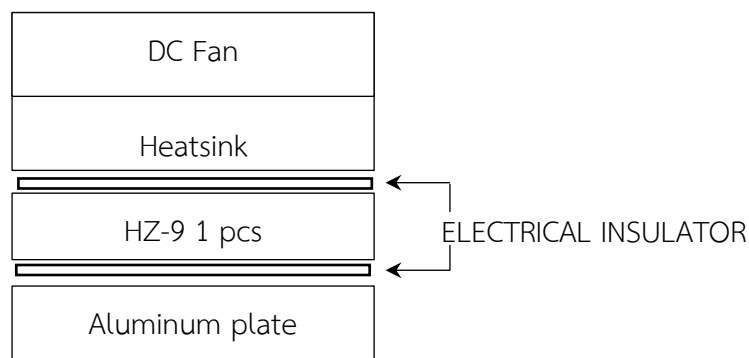
ทำการเพิ่มอุณหภูมิเครื่องควบคุมความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 320 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 156 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 164 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 3.43 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้ววัดค่าทางไฟฟ้า ได้ผลการทดสอบดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ที่ทดสอบได้จากโมดูล 1 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบของโมดูล 1 พบว่า เมื่อควบคุมอุณหภูมิฝั่งร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โมดูลสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 1.016 วัตต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 320 องศาเซลเซียส สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 1.846 วัตต์

หลังจากที่มีการทดสอบการทำงานของโมดูล 1 พบว่า เมื่อใช้แผ่นฮีตซิงค์ระบายความร้อนอย่างเดียว ฝั่งด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิสูงมาก จึงได้ออกแบบเพิ่มพัดลมช่วยการไหลเวียนของอากาศไว้ด้านบนของแผ่นอลูมิเนียมระบายความร้อนดังแสดงในภาพที่ 4.5 โดยเรียกโมดูลผลิตไฟฟ้านี้ว่า **โมดูล 2** หลังจากเพิ่มพัดลมระบายอากาศแล้วจัดวางโมดูล 2 ตามภาพที่ 4.6 เพื่อทำการทดสอบการทำงานของโมดูลผลิตไฟฟ้า

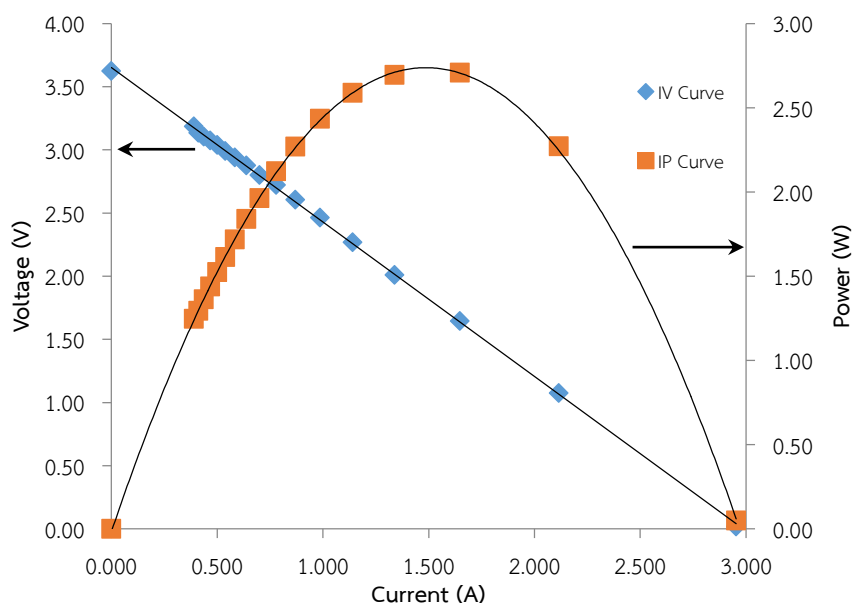


ภาพที่ 4.5 แผนภาพโมดูลผลิตไฟฟ้าเพิ่มพัดลมช่วยการไหลของอากาศ



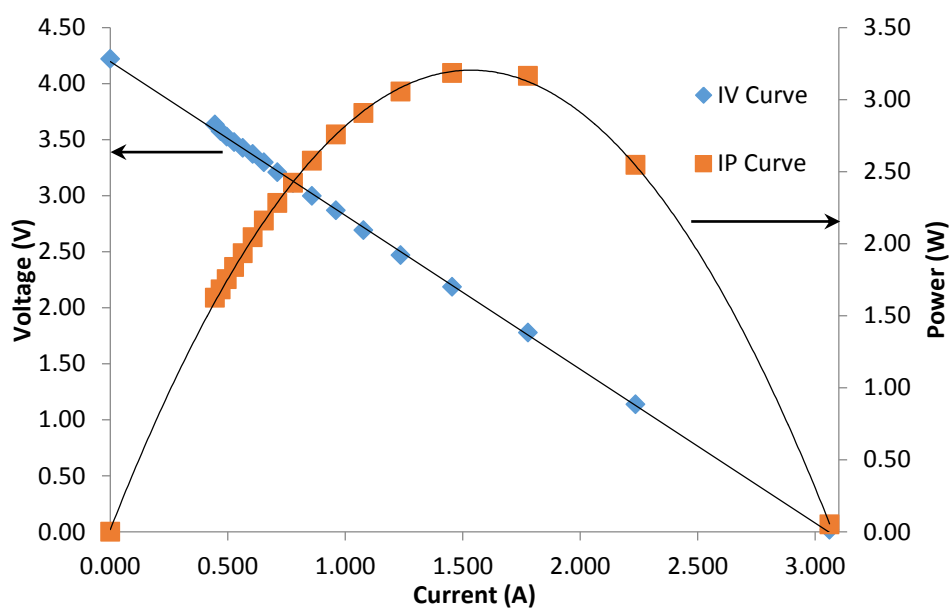
ภาพที่ 4.6 การจัดวางโมดูล 2 บนเครื่องทำความร้อน

ทำการทดสอบโมดูล 2 ในห้องควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศ 26 องศาเซลเซียส ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 250 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 87 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 163 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 3.62 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนําคำนวณกำลังไฟฟ้าตามสมการที่ 2.3 สามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 2 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

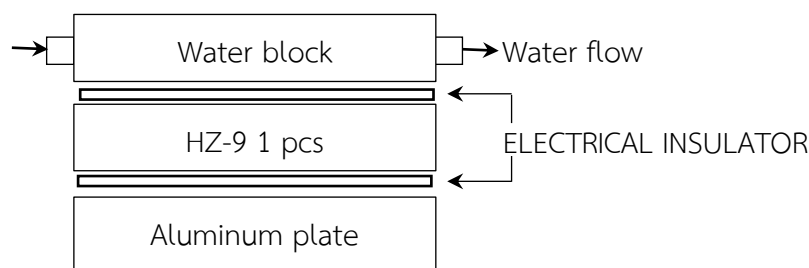
ทำการเพิ่มอุณหภูมิเครื่องควบคุมความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 320 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 93 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 164 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 4.22 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้ววัดค่าทางไฟฟ้า ได้ผลการทดสอบดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 2 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบของโมดูล 2 พบว่า เมื่อควบคุมอุณหภูมิฝั่งร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โมดูลสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 2.694 วัตต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 320 องศาเซลเซียส สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 3.183 วัตต์

หลังจากที่มีการทดสอบการทำงานของโมดูล 2 พบว่า อุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิสูง จึงได้ออกแบบโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมเซาะร่องลึก 0.5 เซนติเมตร ทำเป็นร่องสำหรับน้ำไหลผ่านดังแสดงในภาพที่ 4.9 โดยเรียกโมดูลผลิตไฟฟ้านี้ว่า **โมดูล 3** หลังจากนั้นจัดวางโมดูล 3 ตามภาพที่ 4.10 เพื่อทำการทดสอบการทำงานของโมดูลผลิตไฟฟ้า

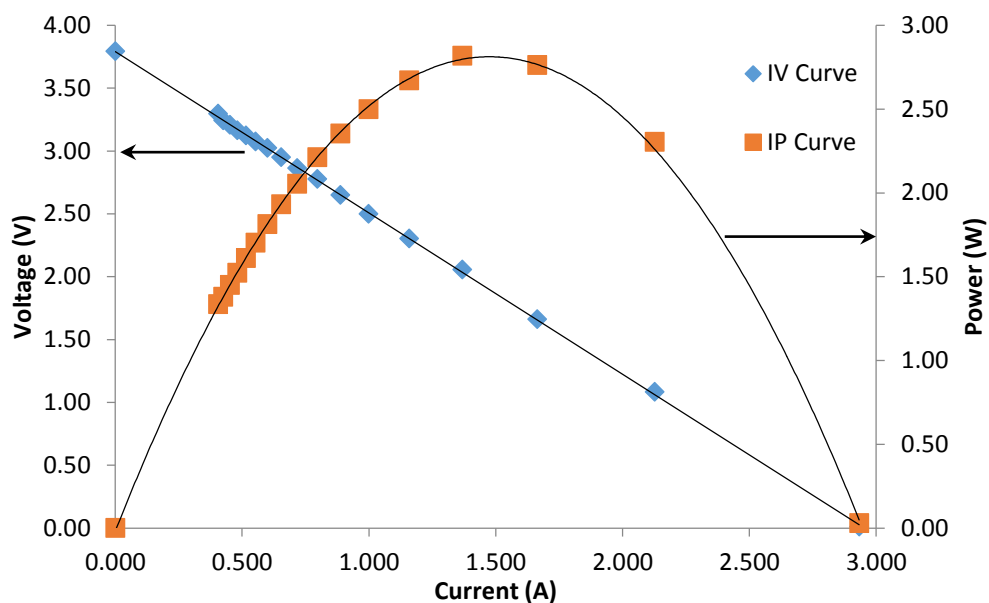


ภาพที่ 4.9 แผนภาพโมดูลผลิตไฟฟ้าที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ



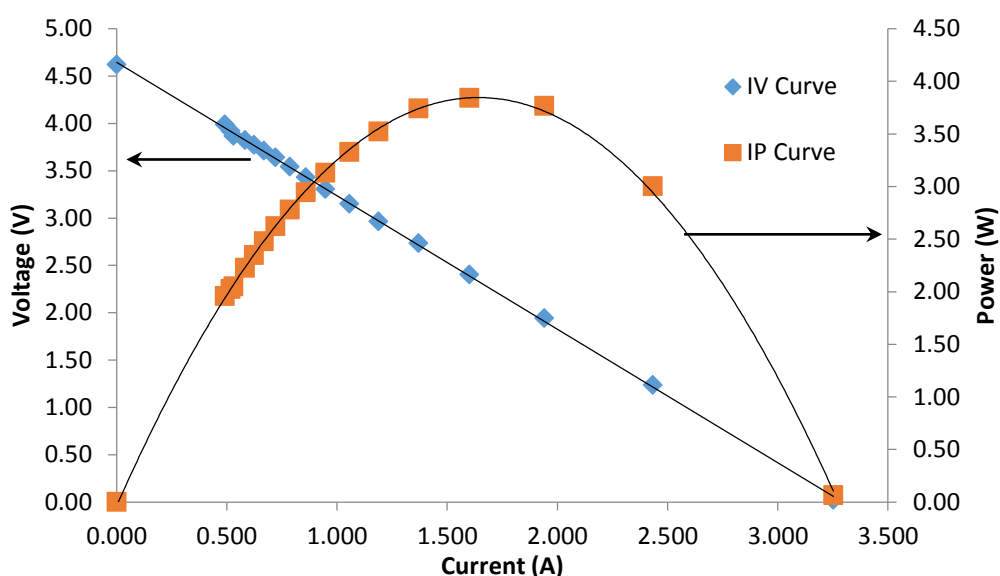
ภาพที่ 4.10 การจัดวางโมดูล 3 บนเครื่องทำความร้อน

ทำการทดสอบโมดูล 3 ในห้องควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศ 26 องศาเซลเซียส ใช้ปั๊มไดอะแฟรมปัมน้ำไหลผ่านด้วยอัตราการไหลของน้ำ 0.45 ลิตรต่อนาที ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 250 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 64 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 186 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 3.79 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ที่ทดสอบได้จากโมดูล 3 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

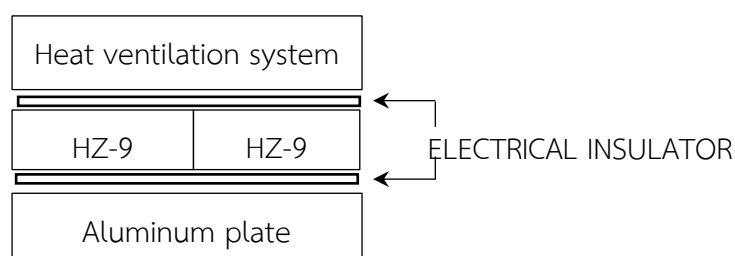
หลังจากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิเครื่องควบคุมความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 320 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 65 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 255 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 4.62 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้ววัดค่าทางไฟฟ้า ได้ผลการทดสอบดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ที่ทดสอบได้จากโมดูล 3 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบของโมดูล 3 พบว่า เมื่อควบคุมอุณหภูมิฝั่งร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โมดูลสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 2.861 วัตต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 320 องศาเซลเซียส สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 3.843 วัตต์

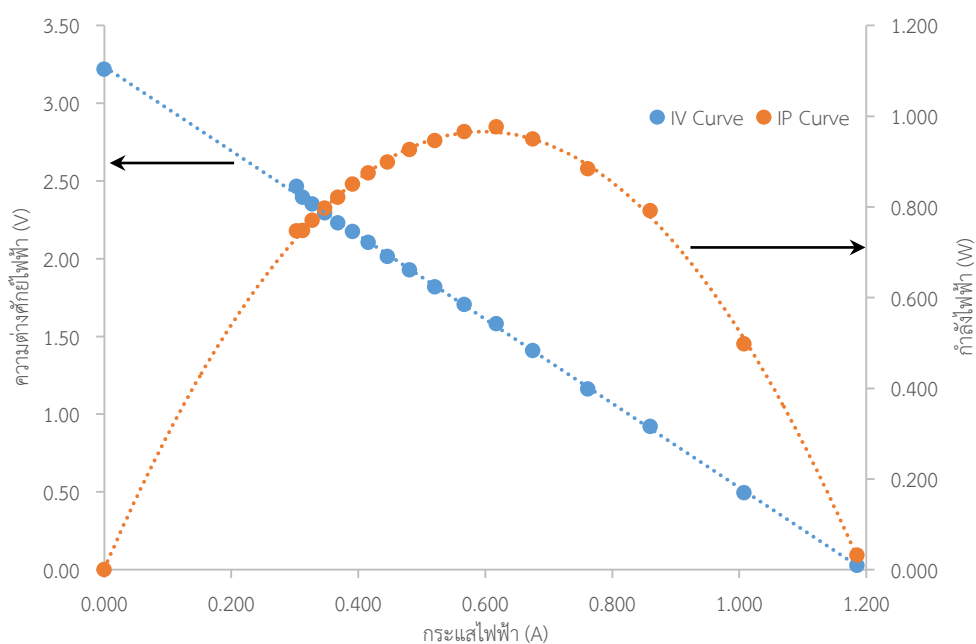
จากการทดสอบโมดูลผลิตไฟฟ้าทั้ง 3 โมดูล พบว่าเมื่อใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 1 แผ่น ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ถึง 5 วัตต์ ตามที่ตั้งเป้าหมายไว้จึงทำการเพิ่มจำนวนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็น 2 แผ่นดังแสดงในภาพที่ 4.13 นำมาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นแล้วได้ทำการทดสอบกับระบบระบายความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ คือ ใช้แผ่นฮีตซิงค์ระบายความร้อนให้ชื่อเรียกว่า **โมดูล 4** ใช้แผ่นฮีตซิงค์ร่วมกับพัดลมช่วยในการไหลเวียนของอากาศให้ชื่อเรียกว่า **โมดูล 5** และใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำให้ชื่อเรียกว่า **โมดูล 6**



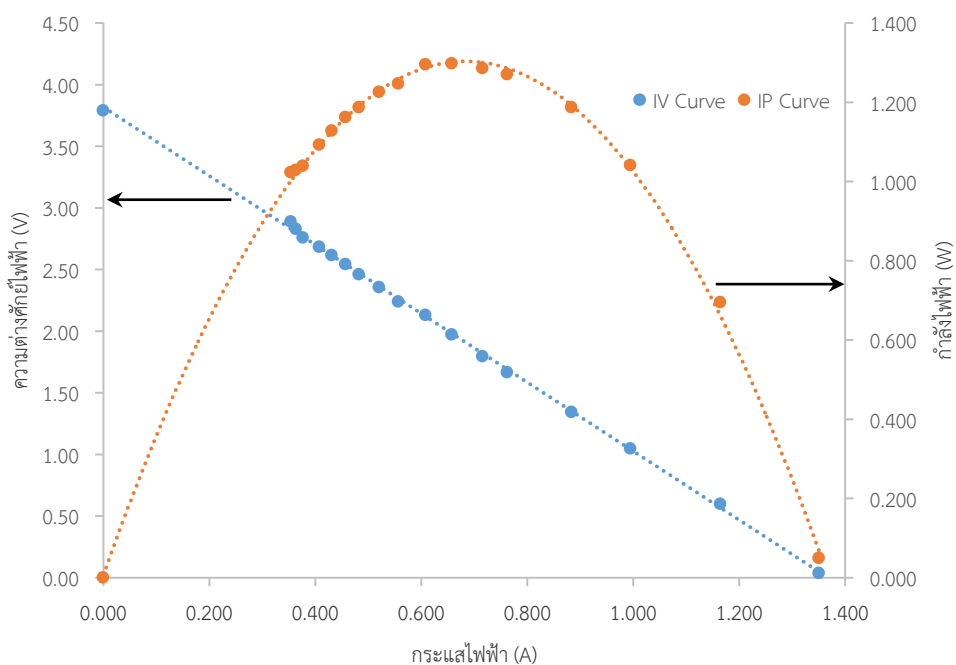
ภาพที่ 4.13 แผนภาพโมดูลผลิตไฟฟ้าที่ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 2 แผ่น

ทำการทดสอบโมดูล 4 ในห้องควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศ 26 องศาเซลเซียส ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 250 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 145 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 105 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 3.22 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.14

ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 280 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 151 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 129 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 3.79 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.15

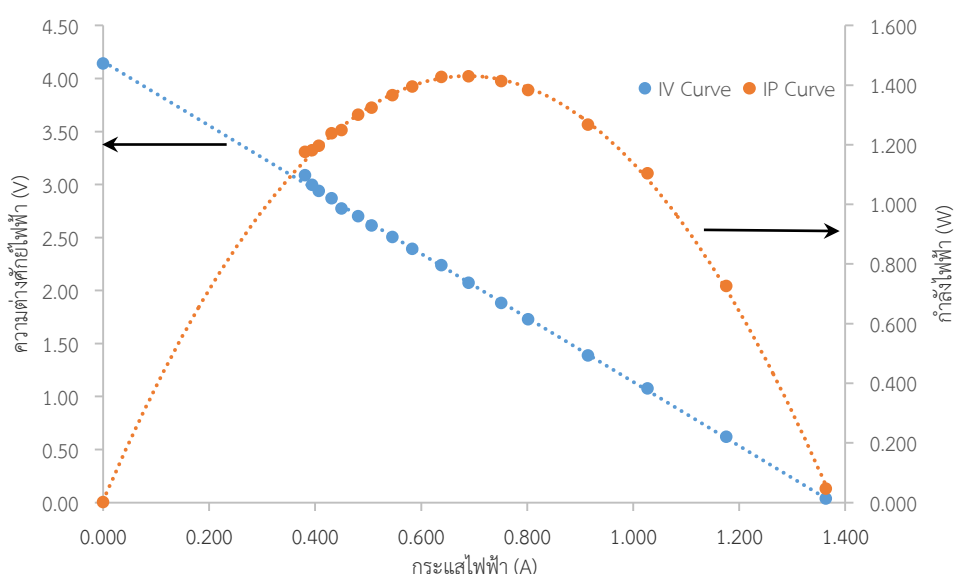


ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า
ที่ทดสอบได้จากโมดูล 4 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า
ที่ทดสอบได้จากโมดูล 4 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส

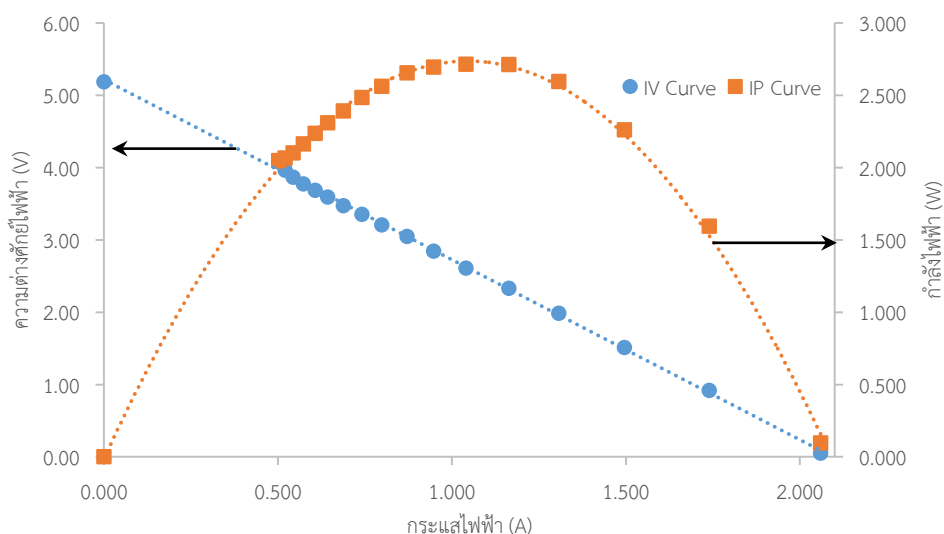
ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 320 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 177 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 143 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 4.14 โวลต์ จากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ที่ทดสอบได้จากโมดูล 4 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

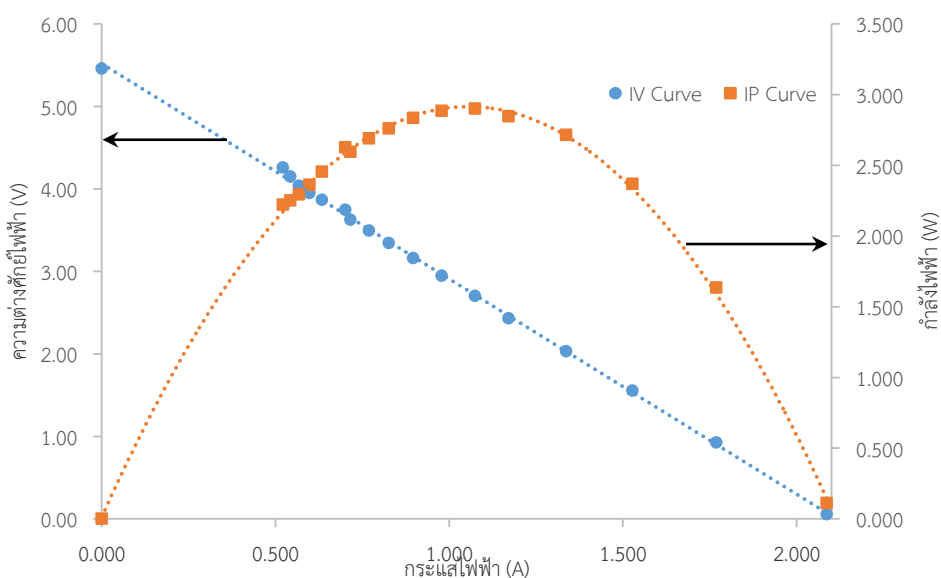
ผลการทดสอบของโมดูล 4 พบว่า เมื่อควบคุมอุณหภูมิฝั่งร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โมดูลสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 0.976 วัตต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 280 องศาเซลเซียส สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 1.298 วัตต์ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 320 องศาเซลเซียส สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 1.428 วัตต์

ทำการทดสอบโมดูล 5 ในห้องควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศ 26 องศาเซลเซียส ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 250 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 83 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 167 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 5.19 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.17



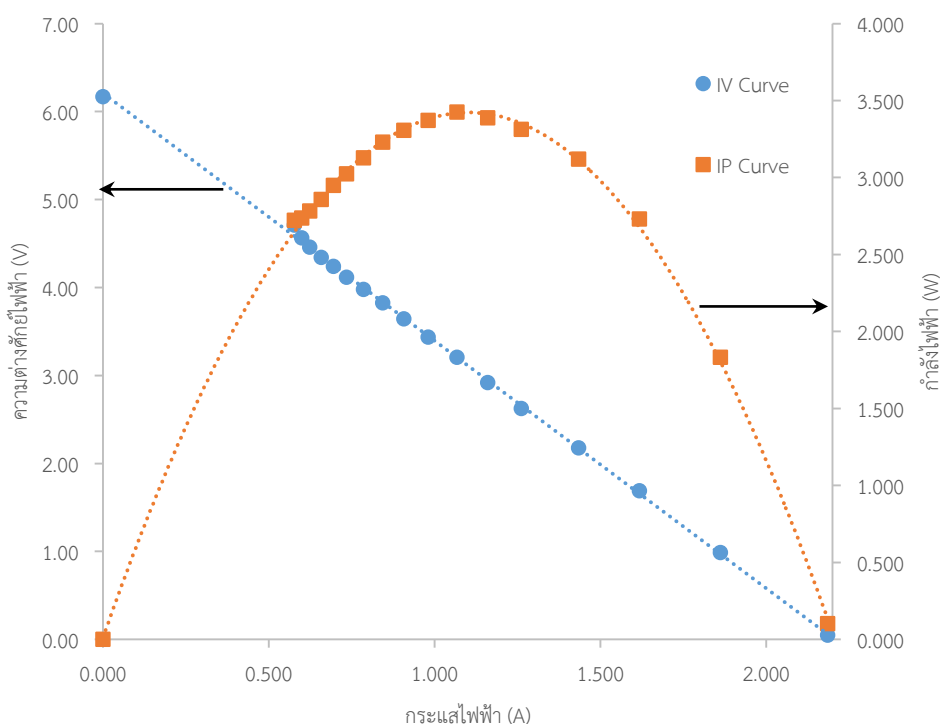
ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ที่ทดสอบได้จากโมดูล 5 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 280 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 93 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 187 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 5.46 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนําคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ที่ทดสอบได้จากโมดูล 5 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส

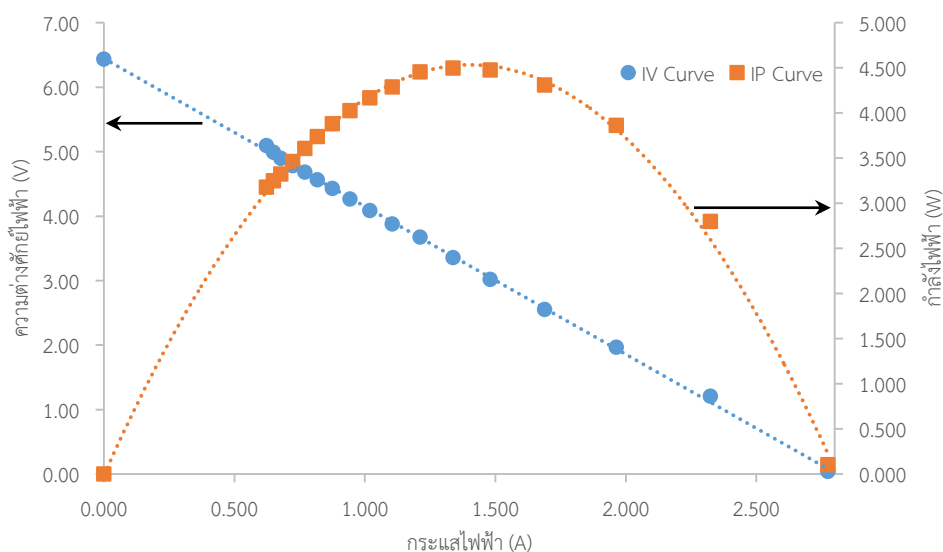
ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 320 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 104 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 216 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 6.17 โวลต์ จากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 5 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

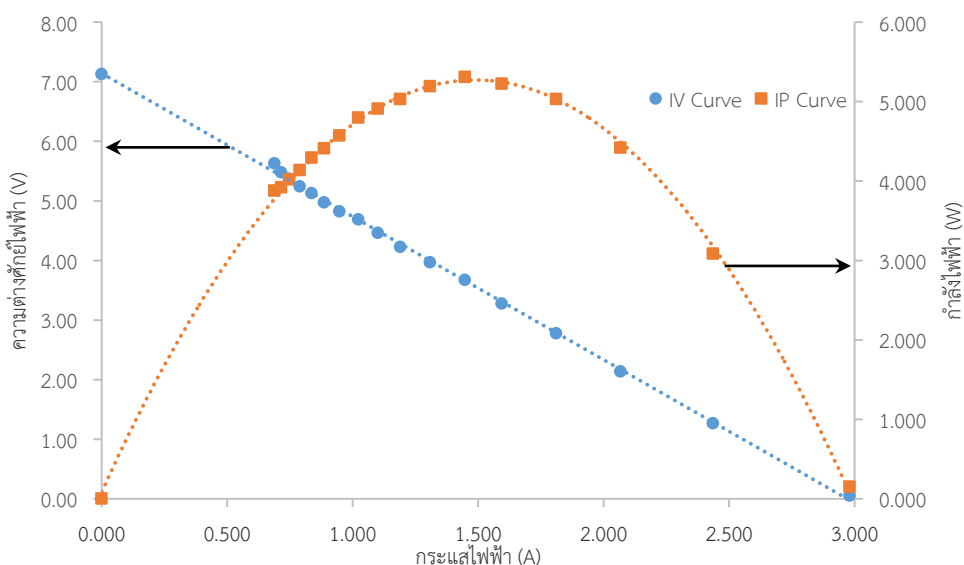
ผลการทดสอบของโมดูล 5 พบว่า เมื่อควบคุมอุณหภูมิฝั่งร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โมดูลสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 2.715 วัตต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 280 องศาเซลเซียส สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 2.901 วัตต์ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 320 องศาเซลเซียส สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 3.425 วัตต์

ทำการทดสอบโมดูล 6 ในห้องควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศ 26 องศาเซลเซียส ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 250 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 64 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 186 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 6.43 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.20



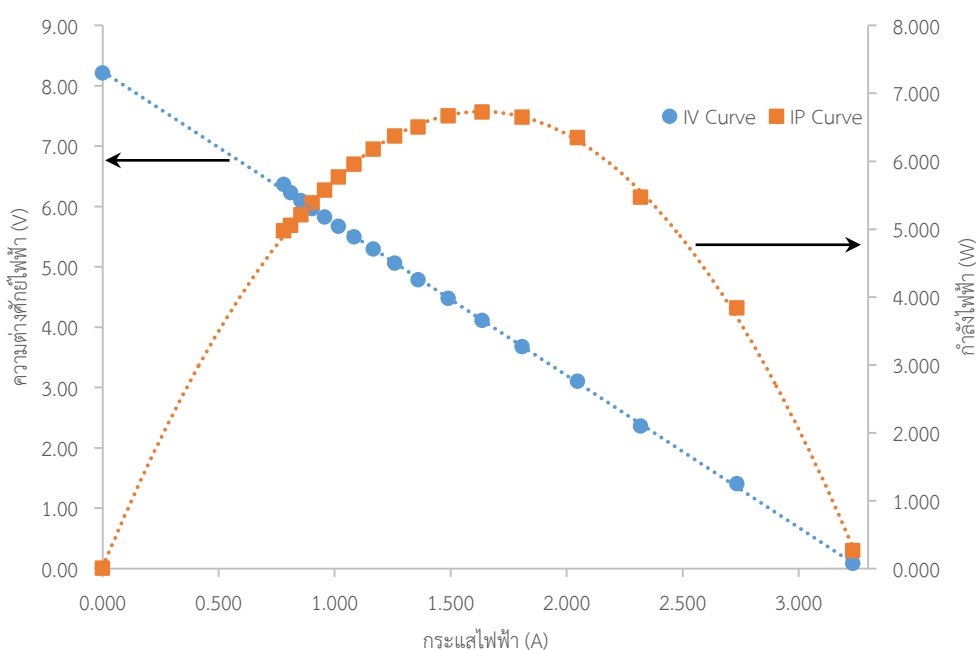
ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า
ที่ทดสอบได้จากโมดูล 6 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 280 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 72 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 208 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 7.13 โวลต์ หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนําคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า
ที่ทดสอบได้จากโมดูล 6 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส

จากนั้นปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 320 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 104 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 216 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 6.17 โวลต์ จากนั้นทำการต่อเข้ากับโหลดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.22

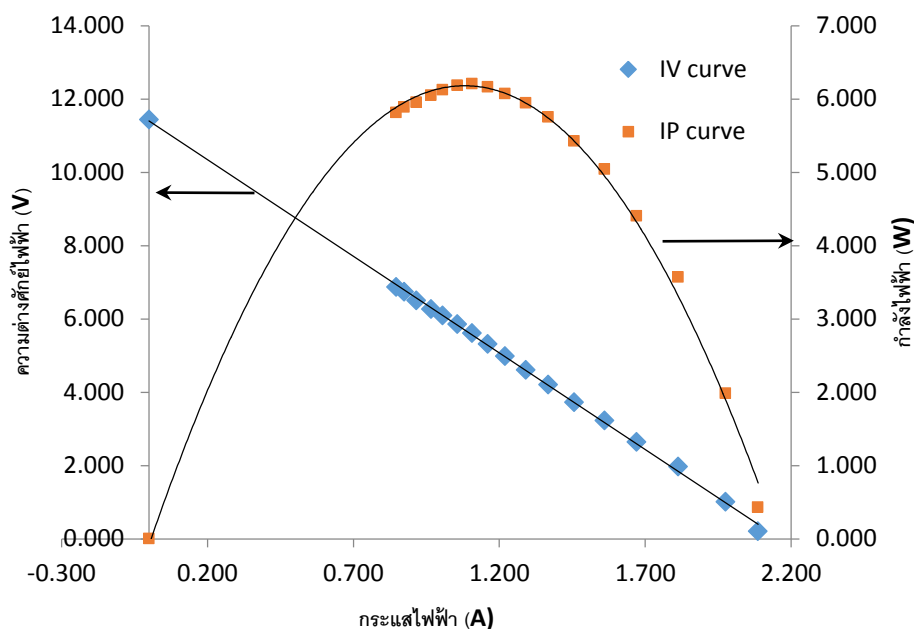


ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 6 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบของโมดูล 6 พบว่า เมื่อควบคุมอุณหภูมิฝั่งร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โมดูลไฟฟ้าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 4.495 วัตต์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 280 องศาเซลเซียส โมดูลไฟฟ้าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 5.312 วัตต์ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 320 องศาเซลเซียส สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 6.721 วัตต์

จากข้อมูลการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าของระบบที่ระบายความร้อนด้วยอลูมิเนียมระบายความร้อนอย่างเดียวไม่สามารถผลิตไฟฟ้าตามค่าที่ตั้งเป้าหมายไว้ได้แม้จะเพิ่มแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอีก 2 แผ่น จากผลการทดสอบของโมดูล 5 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ทดสอบได้มีค่า 2.7 วัตต์ ถึง 3.4 วัตต์ ซึ่งยังเป็นค่าที่ต่ำกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ จึงนำเทอร์โมอิเล็กทริก 4 แผ่นมาต่ออนุกรม แล้วทำการติดตั้งเป็นโมดูลผลิตไฟฟ้าโดยใช้แผ่นระบายความร้อนอลูมิเนียมและพัดลมช่วยการไหลเวียนอากาศโดยให้ชื่อโมดูลนี้ว่า **โมดูล 7** ทำการทดสอบปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความร้อนจนสามารถวัดอุณหภูมิฝั่งร้อนได้ 320 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นได้ 141 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิที่วัดได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก 179 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดได้ 11.44 โวลต์

หลังจากนั้นทำการต่อเข้ากับโหนดเปลี่ยนค่าได้แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหนดและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหนดนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงค่าผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 4.23

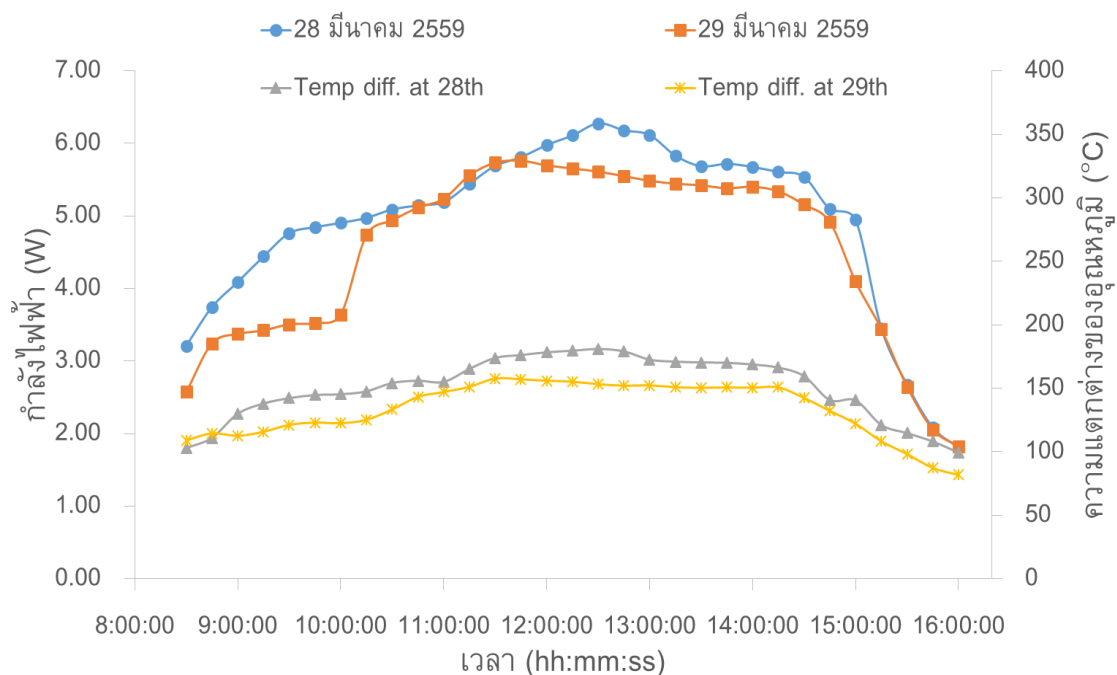


ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 7 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบของโมดูล 7 พบว่า เมื่อควบคุมอุณหภูมิฝั่งร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส โมดูลสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 6.169 วัตต์

4.2 การทดสอบเครื่องผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน

การทดสอบโมดูล 7 กับแหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยการนำไปติดตั้งที่จุดรวมแสงของจานรวมแสงพาราโบลาที่สร้างขึ้นได้ทำการทดสอบในวันที่ 28 และ 29 มีนาคม พ.ศ. 2559 บนดาดฟ้าของอาคารฟิสิกส์ เริ่มทำการทดสอบเวลา 8.30 น. ถึงเวลา 16.00 น. โดยทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 15 นาที ซึ่งผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 4.24



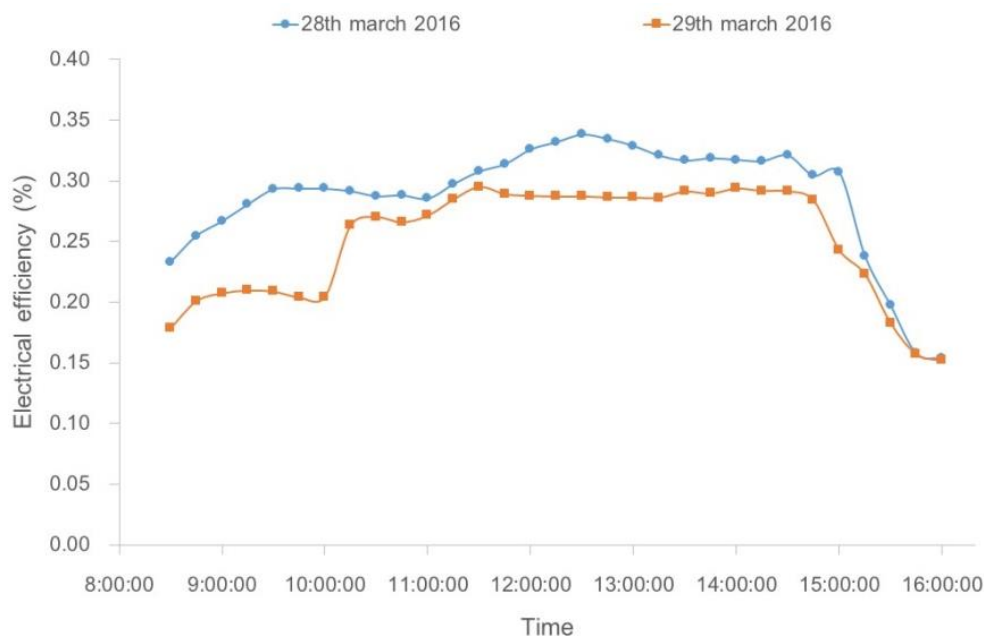
ภาพที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ เวลาต่างๆ ของวันที่ 28 และ 29 มีนาคม พ.ศ. 2559

จากผลการทดสอบโมดูล 7 กับแหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ทำการทดสอบในวันที่ 28 และ 29 มีนาคม พ.ศ. 2559 พบว่าเมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2559 สามารถผลิตไฟฟ้าได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 6.28 วัตต์ และวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2559 สามารถผลิตไฟฟ้าได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 5.76 วัตต์

เมื่อนำผลการทดสอบของโมดูล 7 มาคำนวณประสิทธิภาพโดยใช้สมการที่ 4.1 แล้วนำมาเขียนกราฟได้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดังภาพที่ 4.25

$$\eta_e = \frac{P_{\max}}{I_{st}} \times 100\% \quad (4.1)$$

เมื่อ η_e คือ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน
 $P_{\max}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด
 I_{st} คือ พลังงานการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นที่ของอุปกรณ์รับแสง



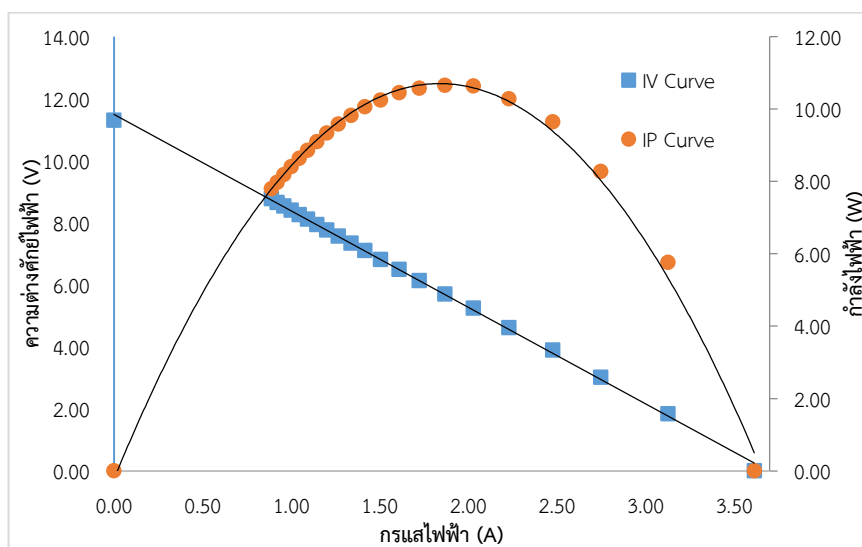
ภาพที่ 4.25 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ของโมดูล 7

จากกราฟในภาพที่ 4.25 พบว่า ประสิทธิภาพขณะที่โมดูล 7 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า 5 วัตต์ ในวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2559 มีค่าประมาณ 0.29 – 0.34 เปอร์เซ็นต์ และในวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2559 มีค่าประมาณ 0.27 – 0.30 เปอร์เซ็นต์

4.3 การปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องผลิตไฟฟ้า

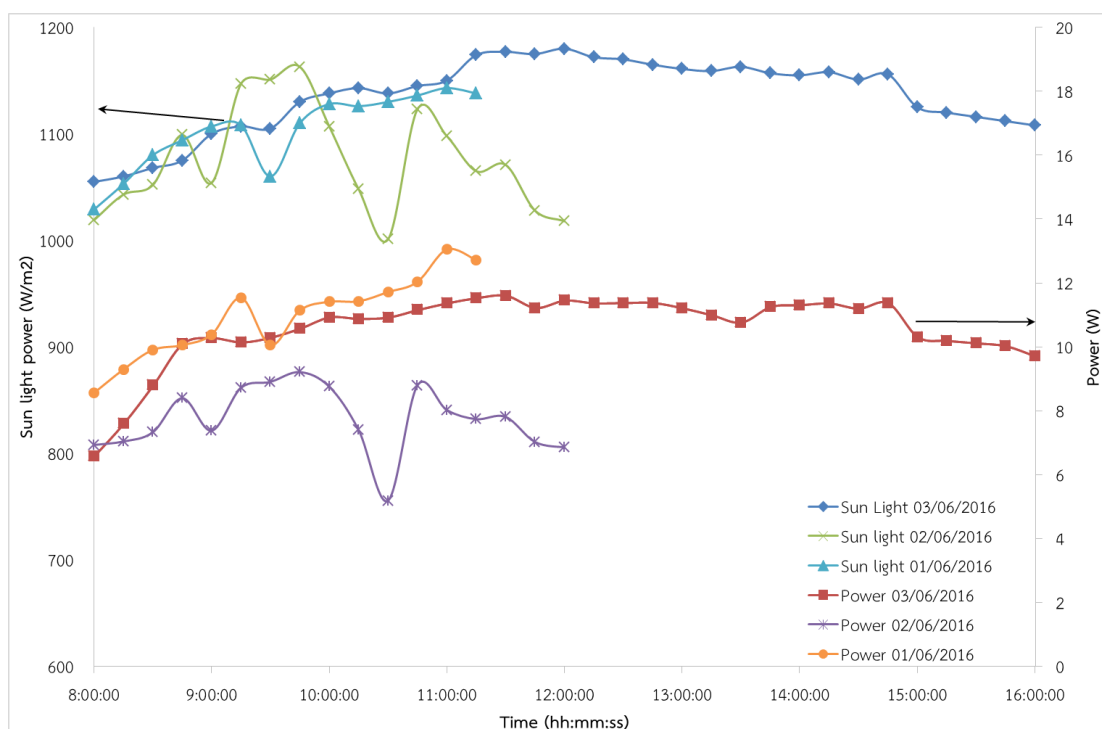
เมื่อนำข้อมูลจากการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับแหล่งความร้อนที่ได้มาจากแสงอาทิตย์มาคำนวณประสิทธิภาพของการผันพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าพบว่าประสิทธิภาพของการผันพลังงานที่ได้ประมาณ 0.27 – 0.34% ซึ่งเป็นประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำ จึงได้ทำการปรับปรุงอุปกรณ์ โดยจากการขัดสีเคลือบทนความร้อนออกจากแผ่นกระจายความร้อนแล้วใช้แผ่นเซรามิกความหนา 0.8 mm เป็นฉนวนไฟฟ้าและใช้แผ่นไมก้าความหนา 0.3 mm เป็นฉนวนไฟฟ้าฝั่งด้านเย็นซึ่งใช้น้ำเป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนและลดจำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกเป็น 2 ตัวต่ออนุกรม ให้ชื่อโมดูลนี้ว่า **โมดูล 8** ทำการทดสอบผลในห้องปฏิบัติการ ควบคุมความร้อนของผนังฝั่งร้อน 300 องศาเซลเซียส สามารถวัดอุณหภูมิของผิวด้านเย็นได้ 50 องศาเซลเซียส ความแตกต่างอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.25

ผลการทดสอบของโมดูล 8 พบว่าเมื่อควบคุมอุณหภูมิฝั่งร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 10.63 วัตต์



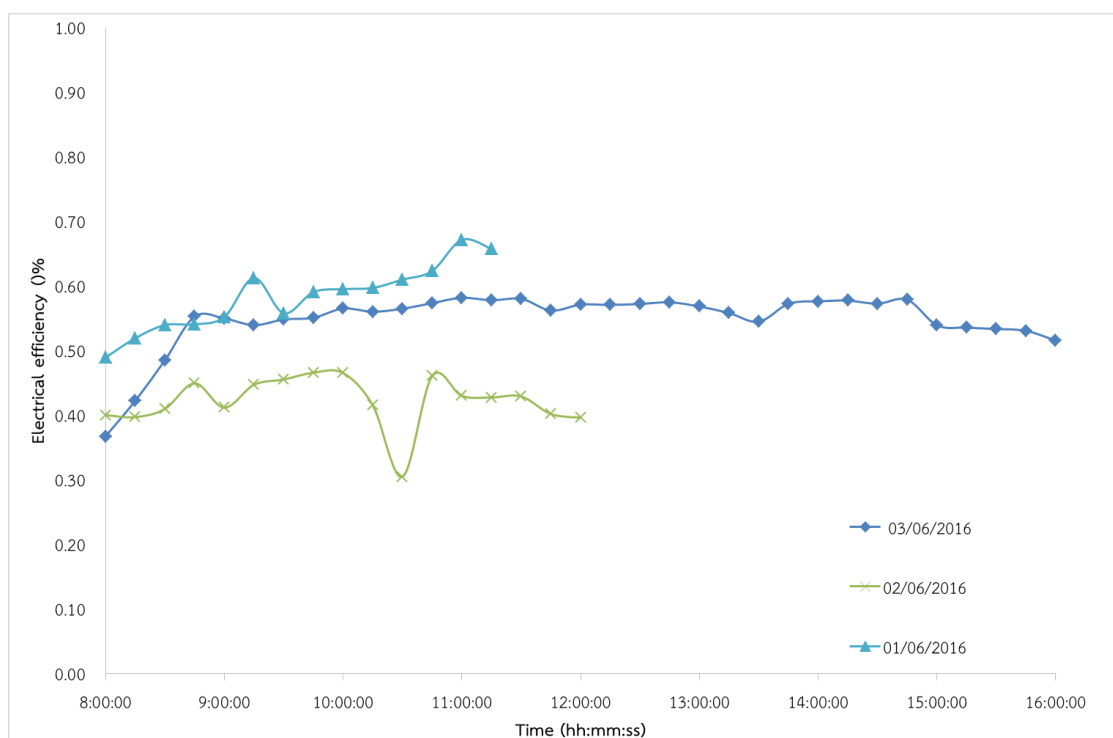
ภาพที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้จากโมดูล 8 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 300 องศาเซลเซียส

ทำการติดตั้งโมดูล 8 กับอุปกรณ์รวบรวมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา ทำการทดสอบในวันที่ 1 2 และ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2559 เริ่มทำการทดสอบเวลา 8.00 น. ถึงเวลา 16.00 น. โดยทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 15 นาที ซึ่งผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้า ณ เวลาต่าง ๆ ของวันที่ 1 2 และ 3 มีนาคม พ.ศ. 2559

จากผลการทดสอบโมดูล 8 กับแหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ทำการทดสอบในวันที่ 1 2 และ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2559 พบว่า เมื่อวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2559 สามารถผลิตไฟฟ้าได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 13.05 วัตต์ วันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2559 สามารถผลิตไฟฟ้าได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 9.21 วัตต์และวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2559 สามารถผลิตไฟฟ้าได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 11.61 วัตต์



ภาพที่ 4.28 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ของโมดูล 8

จากกราฟในภาพที่ 4.28 พบว่า ประสิทธิภาพขณะที่โมดูล 8 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า 5 วัตต์ ในวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2559 มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 0.49 – 0.67 เปอร์เซ็นต์ วันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2559 มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 0.30 – 0.47 เปอร์เซ็นต์ และในวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2559 มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 0.37 – 0.58 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกยี่ห้อ Hi-Z รุ่น HZ-9 เป็นอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ คุณสมบัติของ HZ-9 คือ สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 400 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สามารถผลิตได้จากการรวมแสงโดยใช้อุปกรณ์รวมแสงแบบพาราโบลา โดยทำการสร้างโมดูลผลิตไฟฟ้าและทำการทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้โดยใช้เครื่องทำความร้อนในการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าที่โมดูลไฟฟ้าผลิตได้ โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดในเงื่อนไขการทดสอบของแต่ละโมดูลแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูลไฟฟ้าโดยการจำลองแหล่งพลังงานความร้อน

โมดูลไฟฟ้า	V_O (V)	I_S (A)	V_L (V)	I_L (A)	P_{max} (W)
โมดูล 1	3.43	2.176	1.66	1.112	1.846
โมดูล 2	4.22	3.061	2.18	1.456	3.183
โมดูล 3	4.62	3.252	2.40	1.601	3.843
โมดูล 4	4.14	1.364	2.07	0.690	1.428
โมดูล 5	6.17	2.186	3.21	1.068	3.425
โมดูล 6	8.21	3.234	4.11	1.637	6.721
โมดูล 7	11.53	2.087	5.62	1.104	6.196
โมดูล 8	11.3	3.615	5.24	2.029	10.63

V_O คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด

I_S คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร

V_L คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมโหลดตัวต้านทาน

I_L คือ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดตัวต้านทาน

P_{max} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด

เมื่อนำโมดูล 7 ไปติดตั้งกับอุปกรณ์รวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาแล้วทำการทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อวันที่ 28 และ 29 มีนาคม พ.ศ. 2559 พบว่า โมดูลผลิตไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 5 วัตต์ ในช่วงเวลาประมาณ 10.30 น. ถึงประมาณ 14.30 น. เมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2559 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด 6.28 วัตต์ เวลา 12.30 น.

วัดพลังงานแสงอาทิตย์ได้ 1092 วัตต์ต่อตารางเมตร และวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2559 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด 5.76 วัตต์ เวลา 11.45 น. วัดพลังงานแสงอาทิตย์ได้ 1128 วัตต์ต่อตารางเมตร ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่เครื่องสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า 5 วัตต์ มีค่าประมาณ 0.27 – 0.34% ซึ่งเป็นประสิทธิภาพที่ต่ำมาก

โมดูล 8 ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกต่อแบบอนุกรม 2 แผ่น และเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนจากการใช้สีทึบร้อนเป็นใช้แผ่นเซรามิกความหนา 0.8 มิลลิเมตร เป็นฉนวนไฟฟ้าผิวด้านร้อนและใช้แผ่นไมก้าที่มีความหนา 0.3 มิลลิเมตรเป็นฉนวนไฟฟ้าผิวด้านเย็น ทำการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า นำโมดูล 8 ไปติดตั้งกับอุปกรณ์รวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาแล้วทำการทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อวันที่ 1 2 และ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ในวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2559 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด 13.049 วัตต์ ในเวลา 11.00 น. วัดพลังงานแสงอาทิตย์ได้ 1143 วัตต์ต่อตารางเมตร ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ามีค่าประมาณ 0.52 - 0.67%

จากผลงานวิจัยของผู้วิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ามีหลายปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อการแปลง ได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อมของเครื่องมือทิศทางและอัตราการไหลของอากาศในขณะทดสอบ ความสม่ำเสมอของแสงอาทิตย์และการจัดวางอุปกรณ์ทดสอบ เช่น ผลการทดสอบของวันที่ 1 และ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ที่ไม่สามารถทดสอบได้ตลอดวันเกิดจากขณะทำการทดสอบมีเมฆก้อนใหญ่ผ่านมาบังเป็นระยะ ๆ ทำให้บางช่วงเวลาอุณหภูมิของแผ่นสะสมความร้อนไม่สอดคล้องกับพลังงานแสงที่ตกกระทบบนแผงที่สามารถวัดได้จากเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

น้ำหนักของวัสดุ ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้จานดาวเทียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เมตรเป็นโครงสร้างของจานสะท้อนแสงแบบพาราโบลาและใช้กระจกเงาตัดเป็นแผ่นขนาน 4×4 เซนติเมตร ติดเป็นผิวสะท้อนแสงซึ่งทำให้มีน้ำหนักมากซึ่งยากต่อการติดตั้งบนฐานของจานดาวเทียมเดิมหากมีลมพัดทำให้อุปกรณ์เอียงทำให้แสงไม่ตกกระทบบนวัสดุสะสมความร้อน

อุปกรณ์ควบคุมการหมุนตามดวงอาทิตย์ การจัดวางจานพาราโบลาสะท้อนแสงอาทิตย์จำเป็นต้องจัดให้ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลาถึงจะทำให้ประสิทธิภาพการรวบรวมแสงดีที่สุดดังนั้นหากสามารถใช้ระบบควบคุมการหมุนแบบอัตโนมัติเข้ามาใช้จะช่วยให้ได้ประสิทธิภาพมากขึ้น

วันเวลาและสถานที่ทดสอบ เนื่องจากเครื่องผลิตไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนจำเป็นต้องถูกวางทดสอบกลางแจ้งและมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า อาจเป็นอันตรายได้หากระหว่างการทดสอบเกิดมีฝนตกหรือมีลมกระโชกแรง ดังนั้นจึงควรเลือกทดสอบอุปกรณ์ในวันที่ไม่มีฝนตกหรือวันที่ไม่มีเมฆหมอก

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. “ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย”, **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์**. www.dede.go.th/article_attach/h_solar.pdf. 20 กันยายน, 2560.
- [2] สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม. “ทรัพยากรพลังงาน”, **ความรู้เรื่องพลังงาน**. <http://adeq.or.th/พลังงาน/#energy03>. 10 สิงหาคม, 2561.
- [3] ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน. **สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้า**. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน: กระทรวงพลังงาน, 2561.
- [4] wikipedia. (2561). “ไฟฟ้ากระแสตรง”. <https://th.wikipedia.org/wiki/ไฟฟ้ากระแสตรง>
- [5] suranart kingsai. “คุณสมบัติของสัญญาณไฟฟ้า”, **ระบบไฟฟ้าบ้านและอาคาร**. <http://electrician29.blogspot.com>. 10 กรกฎาคม, 2560.
- [6] วิชิต เครือสุข. **พลัง+งาน ฉบับคิดเป็นทำเป็น: เทคโนโลยีการผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า**. นนทบุรี: แดเน็กซ์ อิเตอร์คอร์ปอเรชั่น, 2553.
- [7] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. “เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้อย่างไร”, **ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์**. www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Designer_CH1toCH5.pdf. 20 พฤศจิกายน, 2559.
- [8] California institute of technology. “Brief history of thermoelectric”, **Thermoelectrics**. www.thermoelectrics.caltech.edu/thermoelectrics/history.html. 10 กรกฎาคม, 2560.
- [9] Bass, J.C., Elsner, N.B. and Laevitt, F.A., “Performance of the 1 kW Thermoelectric Generator for Diesel Engines”, Pre **the International Conference on Thermoelectrics**. <http://hi-z.com/wp-content/uploads/2016/07/Performanceofthe1kWThermoelectricGenerator.pdf>
- [10] Muthu, G., Shamugum, S. and Veeruppan, AR., “Solar parabolic dish thermoelectric generator with acrylic cover”, **Energy Procedia**. 54: 2–10; 2014.
- [11] Özdemir, A.E., et al. “The experimental design of solar heating thermoelectric generator with wind cooling chimney”, **Energy conversion and management**. 98: 127-133; 10 April, 2015.
- [12] Suvit Punnachaiya, Paiboon Kovitcharoenkul and Decho Thong-aram. “Development of low grade waste heat thermoelectric power generator”, **Songklanakarin Journal of Science and Technology**. 33(3): 307-313; 17 June, 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] ไพบุลย์ โกวิทเจริญกุล. การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนเหลือทิ้งด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [14] อธิวัฒน์ อุทาพงษ์. การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำพร้อมระบบแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [15] นพพร พัชรประกิจ, ยุทธสิทธิ์ แสนเรือน และพันธ์ชัย การวิชัย. “ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานเทอร์โมอิเล็กทริก”, ใน การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1. 1-6. กรุงเทพฯ: เดอะวิน ทาวเวอร์, 2550.
- [16] ชัยพล เฟ่งพิศ, ดนุชา ประเสริฐสม และทวีพล ชื้อสัตย์. “เซลล์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนที่เหลือใช้ ที่ได้จากกักตักไอน้ำโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก”, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 374-379; เชียงใหม่: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 2555.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงข้อมูลผลการทดสอบ

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 1 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	1.740	0.000
0.5	0.64	1.283	0.821
1.0	1.00	1.004	1.001
1.5	1.23	0.826	1.016
2.0	1.39	0.706	0.984
2.5	1.51	0.609	0.922
3.0	1.61	0.539	0.866
3.5	1.67	0.481	0.806
4.0	1.74	0.436	0.757
4.5	1.79	0.398	0.713
5.0	1.83	0.364	0.666
5.5	1.87	0.336	0.628
6.0	1.89	0.313	0.593
6.5	1.92	0.292	0.560
7.0	1.94	0.275	0.534
7.5	1.97	0.259	0.510
8.0	2.00	0.246	0.491
open	2.30	0.000	0.000

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 1 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	2.176	0.000
0.5	0.83	1.658	1.376
1.0	1.31	1.322	1.732
1.5	1.66	1.112	1.846
2.0	1.90	0.958	1.820
2.5	2.10	0.846	1.777
3.0	2.27	0.759	1.723
3.5	2.45	0.647	1.585
4.0	2.51	0.608	1.526
4.5	2.57	0.570	1.465

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 1 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส (ต่อ)

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
5.0	2.64	0.526	1.389
5.5	2.72	0.489	1.330
6.0	2.76	0.457	1.261
6.5	2.82	0.429	1.210
7.0	2.87	0.405	1.162
7.5	2.90	0.381	1.105
8.0	2.92	0.361	1.054
open	3.43	0.000	0.000

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 2 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	2.954	0.000
0.5	1.07	2.115	2.271
1.0	1.64	1.648	2.709
1.5	2.01	1.340	2.694
2.0	2.27	1.141	2.588
2.5	2.46	0.987	2.434
3.0	2.60	0.871	2.268
3.5	2.72	0.780	2.123
4.0	2.80	0.701	1.963
4.5	2.88	0.639	1.840
5.0	2.94	0.584	1.719
5.5	2.99	0.539	1.613
6.0	3.04	0.501	1.524
6.5	3.07	0.467	1.438
7.0	3.10	0.438	1.362
7.5	3.13	0.413	1.294
8.0	3.18	0.391	1.246
open	3.62	0.000	0.000

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 2 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	3.061	0.000
0.5	1.14	2.236	2.546
1.0	1.78	1.779	3.164
1.5	2.18	1.456	3.183
2.0	2.47	1.237	3.055
2.5	2.69	1.079	2.905
3.0	2.87	0.961	2.757
3.5	3.00	0.859	2.576
4.0	3.11	0.778	2.422
4.5	3.21	0.711	2.282
5.0	3.30	0.654	2.159
5.5	3.37	0.606	2.045
6.0	3.42	0.564	1.933
6.5	3.48	0.528	1.837
7.0	3.52	0.497	1.752
7.5	3.57	0.470	1.680
8.0	3.63	0.447	1.624
open	4.22	0.000	0.000

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 3 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	2.933	0.000
0.5	1.08	2.126	2.304
1.0	1.66	1.663	2.763
1.5	2.06	1.369	2.816
2.0	2.30	1.159	2.671
2.5	2.50	0.999	2.498
3.0	2.65	0.888	2.354
3.5	2.78	0.796	2.211
4.0	2.86	0.717	2.053
4.5	2.95	0.654	1.931

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 3 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส (ต่อ)

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
5.0	3.02	0.600	1.814
5.5	3.07	0.553	1.701
6.0	3.12	0.515	1.610
6.5	3.16	0.481	1.522
7.0	3.21	0.452	1.450
7.5	3.24	0.425	1.380
8.0	3.30	0.405	1.336
open	3.79	0.000	0.000

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 3 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	3.252	0.000
0.5	1.23	2.433	3.001
1.0	1.94	1.940	3.764
1.5	2.40	1.601	3.843
2.0	2.73	1.369	3.742
2.5	2.96	1.189	3.523
3.0	3.15	1.056	3.328
3.5	3.30	0.947	3.128
4.0	3.43	0.858	2.943
4.5	3.54	0.785	2.779
5.0	3.64	0.720	2.622
5.5	3.71	0.668	2.478
6.0	3.77	0.623	2.348
6.5	3.82	0.582	2.225
7.0	3.87	0.530	2.048
7.5	3.92	0.517	2.025
8.0	3.99	0.491	1.956
open	4.62	0.000	0.000

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 4 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	1.186	0.000
0.5	0.49	1.008	0.497
1.0	0.92	0.860	0.791
1.5	1.16	0.762	0.884
2.0	1.41	0.675	0.950
2.5	1.58	0.618	0.976
3.0	1.70	0.567	0.966
3.5	1.82	0.521	0.946
4.0	1.93	0.481	0.926
4.5	2.01	0.446	0.899
5.0	2.10	0.416	0.874
5.5	2.17	0.391	0.850
6.0	2.23	0.368	0.821
6.5	2.29	0.347	0.797
7.0	2.35	0.328	0.770
7.5	2.39	0.312	0.748
8.0	2.46	0.303	0.746
open	3.22	0.000	0.000

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 4 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	1.350	0.000
0.5	0.60	1.165	0.695
1.0	1.05	0.995	1.041
1.5	1.34	0.884	1.187
2.0	1.67	0.762	1.271
2.5	1.80	0.716	1.286
3.0	1.97	0.658	1.298
3.5	2.13	0.608	1.296
4.0	2.24	0.557	1.247

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 4 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส (ต่อ)

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
4.5	2.36	0.520	1.226
5.0	2.46	0.483	1.187
5.5	2.54	0.457	1.162
6.0	2.62	0.431	1.129
6.5	2.68	0.407	1.093
7.0	2.76	0.377	1.040
7.5	2.83	0.364	1.029
8.0	2.89	0.354	1.023
open	3.79	0.000	0.000

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 4 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	1.364	0.000
0.5	0.62	1.176	0.725
1.0	1.07	1.028	1.103
1.5	1.38	0.915	1.266
2.0	1.72	0.802	1.382
2.5	1.88	0.751	1.413
3.0	2.07	0.690	1.428
3.5	2.23	0.638	1.426
4.0	2.39	0.583	1.394
4.5	2.50	0.546	1.365
5.0	2.61	0.507	1.322
5.5	2.70	0.482	1.299
6.0	2.77	0.450	1.247
6.5	2.87	0.431	1.236
7.0	2.94	0.407	1.195
7.5	2.99	0.394	1.180
8.0	3.08	0.381	1.175
open	4.14	0.000	0.000

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 5 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	2.060	0.000
0.5	0.92	1.740	1.595
1.0	1.51	1.496	2.259
1.5	1.98	1.308	2.594
2.0	2.33	1.164	2.713
2.5	2.61	1.040	2.715
3.0	2.84	0.948	2.695
3.5	3.05	0.871	2.655
4.0	3.21	0.799	2.562
4.5	3.35	0.742	2.485
5.0	3.47	0.688	2.391
5.5	3.59	0.643	2.310
6.0	3.68	0.607	2.237
6.5	3.77	0.573	2.163
7.0	3.87	0.544	2.102
7.5	3.96	0.521	2.065
8.0	4.08	0.502	2.048
open	5.19	0.000	0.000

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 5 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	2.087	0.000
0.5	0.92	1.769	1.633
1.0	1.55	1.527	2.367
1.5	2.03	1.337	2.714
2.0	2.43	1.171	2.846
2.5	2.70	1.074	2.901
3.0	2.95	0.979	2.885
3.5	3.16	0.897	2.835
4.0	3.34	0.826	2.760
4.5	3.49	0.770	2.689

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 5 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส (ต่อ)

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
5.0	3.62	0.716	2.594
5.5	3.74	0.702	2.627
6.0	3.87	0.634	2.453
6.5	3.95	0.598	2.361
7.0	4.04	0.568	2.293
7.5	4.15	0.543	2.250
8.0	4.26	0.522	2.221
open	5.46	0.000	0.000

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 5 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	2.186	0.000
0.5	0.98	1.863	1.832
1.0	1.69	1.618	2.729
1.5	2.17	1.435	3.119
2.0	2.62	1.262	3.312
2.5	2.92	1.161	3.386
3.0	3.21	1.068	3.425
3.5	3.43	0.981	3.369
4.0	3.64	0.908	3.305
4.5	3.82	0.844	3.228
5.0	3.98	0.786	3.127
5.5	4.11	0.735	3.022
6.0	4.24	0.696	2.947
6.5	4.34	0.658	2.857
7.0	4.46	0.624	2.782
7.5	4.56	0.600	2.736
8.0	4.71	0.578	2.720
open	6.17	0.000	0.000

ตารางที่ ก.13 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 6 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 250 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	2.775	0.000
0.5	1.20	2.324	2.797
1.0	1.97	1.964	3.862
1.5	2.55	1.690	4.310
2.0	3.02	1.481	4.474
2.5	3.36	1.339	4.495
3.0	3.67	1.212	4.453
3.5	3.88	1.106	4.286
4.0	4.09	1.020	4.167
4.5	4.26	0.944	4.025
5.0	4.43	0.876	3.879
5.5	4.56	0.819	3.736
6.0	4.68	0.770	3.608
6.5	4.78	0.724	3.461
7.0	4.89	0.679	3.321
7.5	4.99	0.651	3.247
8.0	5.09	0.624	3.177
open	6.43	0.000	0.000

ตารางที่ ก.14 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 6 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	2.982	0.000
0.5	1.27	2.436	3.086
1.0	2.14	2.067	4.417
1.5	2.78	1.812	5.030
2.0	3.28	1.594	5.224
2.5	3.67	1.447	5.312
3.0	3.97	1.309	5.192
3.5	4.23	1.190	5.031
4.0	4.46	1.101	4.910
4.5	4.69	1.024	4.798

ตารางที่ ก.14 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 6 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 280 องศาเซลเซียส (ต่อ)

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
5.0	4.82	0.948	4.571
5.5	4.97	0.887	4.410
6.0	5.13	0.837	4.293
6.5	5.24	0.789	4.139
7.0	5.37	0.748	4.019
7.5	5.48	0.715	3.918
8.0	5.63	0.689	3.879
open	7.13	0.000	0.000

ตารางที่ ก.15 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 6 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	3.234	0.000
0.5	1.40	2.734	3.837
1.0	2.36	2.319	5.466
1.5	3.10	2.047	6.346
2.0	3.67	1.809	6.644
2.5	4.11	1.637	6.721
3.0	4.48	1.489	6.667
3.5	4.78	1.360	6.499
4.0	5.06	1.259	6.366
4.5	5.29	1.167	6.176
5.0	5.49	1.084	5.955
5.5	5.67	1.017	5.763
6.0	5.82	0.957	5.573
6.5	5.96	0.903	5.384
7.0	6.09	0.855	5.210
7.5	6.23	0.812	5.054
8.0	6.36	0.781	4.970
open	8.21	0.000	0.000

ตารางที่ ก.16 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 7 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 320 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	2.087	0.000
0.5	1.17	1.951	2.281
1.0	1.97	1.814	3.568
1.5	2.69	1.671	4.485
2.0	3.23	1.562	5.038
2.5	3.77	1.457	5.499
3.0	4.20	1.369	5.752
3.5	4.61	1.291	5.950
4.0	4.98	1.220	6.069
4.5	5.31	1.157	6.142
5.0	5.62	1.104	6.196
5.5	5.84	1.057	6.170
6.0	6.15	1.006	6.182
6.5	6.40	0.966	6.178
7.0	6.55	0.924	6.049
7.5	6.79	0.885	6.006
open	11.37	0.000	0.000

ตารางที่ ก.17 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 8 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 300 องศาเซลเซียส

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
0.0	0.00	3.615	0.00
0.5	1.84	3.128	5.76
1.0	3.01	2.747	8.27
1.5	3.89	2.477	9.64
2.0	4.61	2.229	10.28
2.5	5.24	2.029	10.63
3.0	5.70	1.860	10.60
3.5	6.13	1.724	10.57
4.0	6.49	1.609	10.44
4.5	6.81	1.504	10.24

ตารางที่ ก.17 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของโมดูล 8 ขณะที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 300 องศาเซลเซียส (ต่อ)

โหลด (Ω)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
5.0	7.10	1.416	10.05
5.5	7.34	1.338	9.82
6.0	7.56	1.267	9.58
6.5	7.76	1.202	9.33
7.0	7.94	1.145	9.09
7.5	8.11	1.092	8.86
8.0	8.26	1.045	8.63
8.5	8.40	1.000	8.40
9.0	8.53	0.959	8.18
9.5	8.65	0.921	7.97
10.0	8.77	0.888	7.79
open	11.30	0.000	0.00

ตารางที่ ก.18 ผลการทดสอบการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในวันที่
28 มีนาคม พ.ศ. 2559

Time	I_{sun} (W/m ²)	T_h (°C)	T_c (°C)	V_L (V)	I_L (A)	P (W)	ΔT (°C)	I_{st} (W/m ²)	η_e (%)
8:30	810	145	42	4.01	0.801	3.21	103	1377	0.23
8:45	865	156	45	4.33	0.865	3.75	111	1471	0.25
9:00	902	176	46	4.52	0.905	4.09	130	1533	0.27
9:15	931	185	47	4.71	0.943	4.44	138	1583	0.28
9:30	956	191	49	4.89	0.974	4.76	142	1625	0.29
9:45	971	195	50	4.92	0.985	4.85	145	1651	0.29
10:00	983	196	51	4.95	0.991	4.91	145	1671	0.29
10:15	1004	200	52	4.99	0.997	4.98	148	1707	0.29
10:30	1042	208	54	5.06	1.006	5.09	154	1771	0.29
10:45	1051	210	54	5.09	1.011	5.15	156	1787	0.29
11:00	1070	210	55	5.12	1.014	5.19	155	1819	0.29
11:15	1077	221	56	5.23	1.041	5.44	165	1831	0.30
11:30	1088	230	56	5.39	1.056	5.69	174	1850	0.31
11:45	1089	233	57	5.42	1.072	5.81	176	1851	0.31
12:00	1079	237	59	5.47	1.093	5.98	178	1834	0.33
12:15	1083	240	60	5.5	1.111	6.11	180	1841	0.33
12:30	1092	242	61	5.56	1.129	6.28	181	1856	0.34
12:45	1087	240	61	5.53	1.118	6.18	179	1848	0.33
13:00	1094	235	62	5.52	1.108	6.12	173	1860	0.33
13:15	1069	233	62	5.43	1.074	5.83	171	1817	0.32
13:30	1056	232	62	5.39	1.055	5.69	170	1795	0.32
13:45	1056	232	62	5.36	1.067	5.72	170	1795	0.32
14:00	1052	232	63	5.34	1.063	5.68	169	1788	0.32
14:15	1043	228	62	5.29	1.060	5.61	166	1773	0.32
14:30	1015	222	62	5.24	1.057	5.54	160	1726	0.32
14:45	985	201	60	5.1	0.999	5.09	141	1675	0.30
15:00	947	197	56	4.97	0.995	4.95	141	1610	0.31
15:15	853	173	52	4.16	0.830	3.45	121	1450	0.24
15:30	798	162	47	3.66	0.731	2.68	115	1357	0.20
15:45	778	152	44	3.23	0.645	2.08	108	1323	0.16
16:00	691	140	41	3.01	0.601	1.81	99	1175	0.15

ตารางที่ ก.19 ผลการทดสอบการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในวันที่
29 มีนาคม พ.ศ. 2559

Time	I_{sun} (W/m ²)	T_h (°C)	T_c (°C)	V_L (V)	I_L (A)	P (W)	ΔT (°C)	I_{st} (W)	η_e (%)
8:30	815	160	51	3.59	0.717	2.57	109	1440	0.18
8:45	914	171	56	4.03	0.805	3.24	115	1615	0.20
9:00	921	172	59	4.11	0.821	3.37	113	1627	0.21
9:15	924	175	59	4.14	0.827	3.42	116	1633	0.21
9:30	951	181	60	4.19	0.837	3.51	121	1680	0.21
9:45	978	185	62	4.2	0.839	3.52	123	1728	0.20
10:00	1008	190	65	4.27	0.853	3.64	123	1781	0.20
10:15	1018	190	65	4.87	0.973	4.74	125	1799	0.26
10:30	1035	198	65	4.95	0.998	4.94	133	1829	0.27
10:45	1089	209	66	5.06	1.011	5.12	143	1924	0.27
11:00	1092	215	68	5.12	1.023	5.24	147	1930	0.27
11:15	1105	220	69	5.27	1.055	5.56	151	1953	0.28
11:30	1100	231	73	5.36	1.07	5.74	158	1944	0.30
11:45	1128	230	73	5.37	1.073	5.76	157	1993	0.29
12:00	1121	229	73	5.34	1.067	5.70	156	1981	0.29
12:15	1115	228	73	5.32	1.063	5.66	155	1970	0.29
12:30	1106	226	73	5.3	1.059	5.61	153	1954	0.29
12:45	1097	225	73	5.27	1.053	5.55	152	1938	0.29
13:00	1085	224	72	5.24	1.047	5.49	152	1917	0.29
13:15	1077	223	72	5.22	1.043	5.44	151	1903	0.29
13:30	1054	222	72	5.21	1.041	5.42	150	1862	0.29
13:45	1052	222	71	5.19	1.037	5.38	151	1859	0.29
14:00	1041	221	70	5.2	1.039	5.40	151	1839	0.29
14:15	1036	219	68	5.17	1.033	5.34	151	1831	0.29
14:30	1001	210	68	5.08	1.015	5.16	142	1769	0.29
14:45	980	200	68	4.96	0.991	4.92	132	1732	0.28
15:00	954	188	66	4.52	0.906	4.10	122	1686	0.24
15:15	873	174	66	4.15	0.829	3.44	108	1543	0.22
15:30	820	164	66	3.64	0.727	2.65	98	1449	0.18
15:45	741	152	65	3.21	0.641	2.06	87	1309	0.16
16:00	679	146	64	3.02	0.603	1.82	82	1200	0.15

ตารางที่ ก.20 ผลการทดสอบการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในวันที่
1 มิถุนายน พ.ศ. 2559

Time	I_{sun} (W/m ²)	T_h (°C)	T_c (°C)	V_L (V)	I_L (A)	P (W)	ΔT (°C)	I_{st} (W)	η_e (%)
8:00	1029	260	66	4.70	1.821	8.56	194	1749	0.49
8:15	1053	283	75	4.98	1.866	9.29	208	1790	0.52
8:30	1080	295	82	5.17	1.916	9.91	213	1836	0.54
8:45	1094	290	85	5.18	1.941	10.05	205	1860	0.54
9:00	1107	301	60	5.27	1.971	10.39	241	1882	0.55
9:15	1108	307	60	5.56	2.075	11.54	247	1884	0.61
9:30	1060	287	64	5.19	1.937	10.05	223	1802	0.56
9:45	1110	301	67	5.47	2.037	11.14	234	1887	0.59
10:00	1128	314	72	5.500	2.075	11.41	242	1918	0.60
10:15	1126	320	80	5.55	2.059	11.43	240	1914	0.60
10:30	1130	321	72	5.63	2.081	11.72	249	1921	0.61
10:45	1136	323	74	5.72	2.104	12.03	249	1931	0.62
11:00	1143	331	75	5.87	2.223	13.05	256	1943	0.67
11:15	1138	330	76	5.82	2.184	12.71	254	1935	0.66

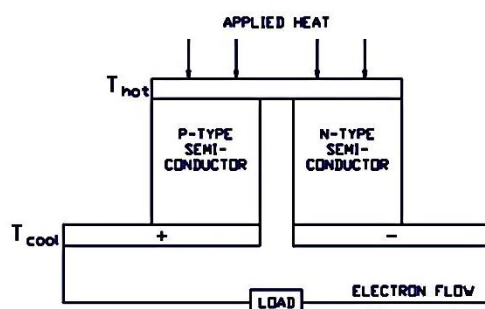
ตารางที่ ก.21 ผลการทดสอบการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในวันที่
2 มิถุนายน พ.ศ. 2559

Time	I_{sun} (W/m ²)	T_h (°C)	T_c (°C)	V_L (V)	I_L (A)	P (W)	ΔT (°C)	I_{st} (W)	η_e (%)
8:00	1019	264	81	4.17	1.661	6.931	183	1732	0.40
8:15	1043	270	82	4.21	1.674	7.039	188	1773	0.40
8:30	1052	275	84	4.29	1.708	7.327	191	1788	0.41
8:45	1099	296	93	4.59	1.829	8.395	203	1868	0.45
9:00	1054	280	85	4.30	1.716	7.379	195	1792	0.41
9:15	1147	286	86	4.68	1.863	8.719	200	1950	0.45
9:30	1151	293	87	4.73	1.883	8.907	206	1957	0.46
9:45	1163	297	87	4.81	1.915	9.211	210	1977	0.47
10:00	1107	288	83	4.69	1.867	8.756	205	1882	0.47
10:15	1048	276	82	4.31	1.716	7.396	194	1782	0.42
10:30	1001	231	80	3.61	1.437	5.188	151	1702	0.30
10:45	1123	289	87	4.70	1.871	8.794	202	1909	0.46
11:00	1098	285	85	4.49	1.787	8.024	200	1867	0.43
11:15	1065	282	84	4.41	1.755	7.740	198	1811	0.43
11:30	1071	283	85	4.43	1.763	7.810	198	1821	0.43
11:45	1028	271	83	4.20	1.672	7.022	188	1748	0.40
12:00	1018	262	82	4.15	1.652	6.856	180	1731	0.40

ตารางที่ ก.22 ผลการทดสอบการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในวันที่
3 มิถุนายน พ.ศ. 2559

Time	I_{sun} (W/m ²)	T_h (°C)	T_c (°C)	V_L (V)	I_L (A)	P (W)	ΔT (°C)	I_{st} (W)	η_e (%)
8:00	1055	241	69	4.08	1.614	6.59	172	1794	0.37
8:15	1060	227	69	4.38	1.736	7.61	158	1802	0.42
8:30	1068	295	75	4.72	1.866	8.81	220	1816	0.49
8:45	1075	300	65	5.05	2.000	10.10	235	1828	0.55
9:00	1100	307	65	5.10	2.017	10.28	242	1870	0.55
9:15	1107	310	72	5.06	2.005	10.15	238	1882	0.54
9:30	1105	319	72	5.10	2.021	10.30	247	1879	0.55
9:45	1130	309	63	5.17	2.048	10.58	246	1921	0.55
10:00	1138	305	60	5.26	2.080	10.93	245	1935	0.57
10:15	1143	313	62	5.24	2.078	10.88	251	1943	0.56
10:30	1138	317	66	5.26	2.079	10.93	251	1935	0.56
10:45	1145	316	64	5.31	2.101	11.16	252	1947	0.57
11:00	1150	320	62	5.34	2.130	11.37	258	1955	0.58
11:15	1174	328	64	5.39	2.140	11.53	264	1996	0.58
11:30	1177	329	64	5.40	2.149	11.61	265	2001	0.58
11:45	1175	317	64	5.32	2.110	11.23	253	1998	0.56
12:00	1180	326	64	5.38	2.131	11.46	262	2006	0.57
12:15	1172	319	61	5.36	2.121	11.37	258	1992	0.57
12:30	1170	313	61	5.36	2.124	11.38	252	1989	0.57
12:45	1165	315	61	5.35	2.129	11.38	254	1981	0.57
13:00	1161	314	62	5.32	2.108	11.22	252	1974	0.57
13:15	1159	322	62	5.26	2.091	11.00	260	1970	0.56
13:30	1163	314	61	5.20	2.070	10.77	253	1977	0.54
13:45	1157	319	62	5.32	2.117	11.26	257	1967	0.57
14:00	1155	320	62	5.34	2.120	11.31	258	1964	0.58
14:15	1158	315	61	5.34	2.128	11.37	254	1969	0.58
14:30	1151	316	61	5.31	2.110	11.20	255	1957	0.57
14:45	1156	313	61	5.36	2.123	11.37	252	1965	0.58
15:00	1125	310	62	5.10	2.023	10.31	248	1913	0.54
15:15	1120	307	62	5.06	2.015	10.20	245	1904	0.54
15:30	1116	304	62	5.04	2.008	10.12	242	1897	0.53
15:45	1112	300	62	5.01	2.001	10.03	238	1890	0.53
16:00	1108	307	62	4.93	1.970	9.71	245	1884	0.52

ภาคผนวก ข
ข้อมูลจำเพาะของเทอร์โมอิเล็กทริก HZ-9



Hi-Z
TECHNOLOGY, INC.

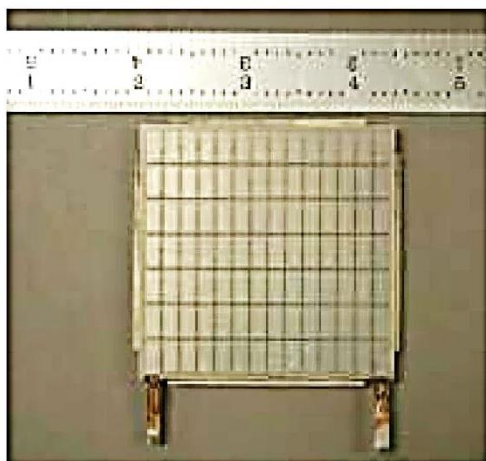
HZ-9 Thermoelectric Module

Uses Bismuth Telluride Based Semiconductors

Solid State Conversion of Heat To Electricity

(The HZ-9 is the same dimensional area as the HZ-14, but the output power at the same temperature is lower. Note two different features: Heat flux is lower and output voltage is higher)

Generate a highly reliable source of electrical power from any source of heat. For these and other applications:



POWER SUPPLIES

- Convert any source of heat to a reliable supply of electrical power in remote locations.
- Convert heat from the combustion of hydrocarbon fuels to electricity creating a reliable power supply for remote unmanned stations.
- Cathodic Protection
- Telecommunications

SELF POWERED DEVICES

- Heaters
- Furnaces
- Water Heaters
- Barbecues

WASTE HEAT RECOVERY

- Vehicle Engine Heaters
- Engine exhaust powered Alternator Replacement
- Industrial operations such as cement plants, refineries, glass manufacturing, foundries etc
- Flare Gas

RENEWABLE ENERGY

- Wood Burning Stoves
- Incinerators
- Solar Salt Ponds
- Geothermal
- Solar Concentrators

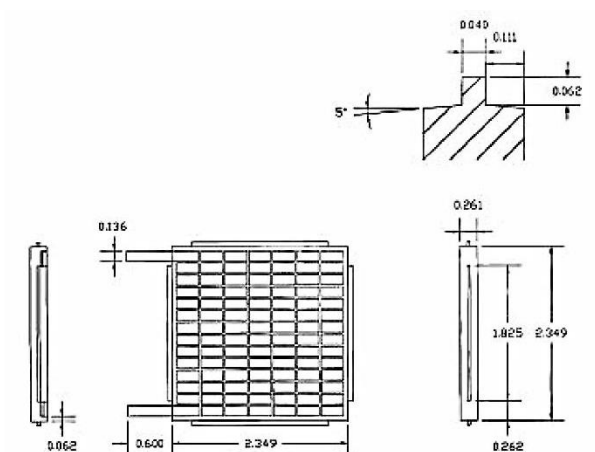
HE HZ-9 THERMOELECTRIC MODULE

The HZ-9 module consists of 98 thermocouples arranged electrically in series and thermally in parallel. The thermocouples consists of "Hot Pressed", Bismuth Telluride based, semiconductors to give the highest efficiency at most waste heat temperatures as well as high strength capable of enduring rugged applications. The bonded metal conductors enable the HZ-9 module to operate continuously at temperatures as high

as 250°C (480°F) and intermittently as high as 400°C (750°F) without degrading the module.

While the HZ-9 is well suited for waste heat recovery its reversible properties make it ideal as a thermoelectric cooler, especially for high temperature applications where sensitive electronic equipment must be cooled to below the ambient temperatures.

Properties of the 9 Watt Module, HZ-9		
Physical Properties	Value	Tolerance
Width & Length	2.47" (6.27 cm)	±0.005 (0.25)
Thickness	0.261" (0.651)	±0.005 (0.25)
Weight	105 grams	±3 grams
Compressive Yield Stress	10 ksi (70 MPa)	minimum
Number of active couples	97 couples	-----
Thermal Properties		
Design Hot Side Temperature	230°C(450°F)	±10 (20)
Design Cold Side Temperature	30°C (85°F)	±5 (10)
Maximum Continuous Temperature	250°C (480°F)	-----
Minimum Continuous Temperature	none	-----
Maximum Intermittent Temperature	400°C (750°F)	-----
Thermal Conductivity ¹	0.018 W/cm*K	+0.001
Heat Flux ¹	5.52 W/cm ²	±0.5
Electrical Properties (as a generator) ¹		
Power ²	9 Watts	minimum
Load Voltage	3.28 Volts	±0.1
Internal Resistance	1.15 Ohms	±0.05
Current	2.9 Amps	±0.1
Open Circuit Voltage	6.5 Volts	±0.3
Efficiency	4.5 %	minimum
1) At Design Temperatures 2) At Matched Load, please refer to the graphs for properties at various operating temperatures and conditions.		



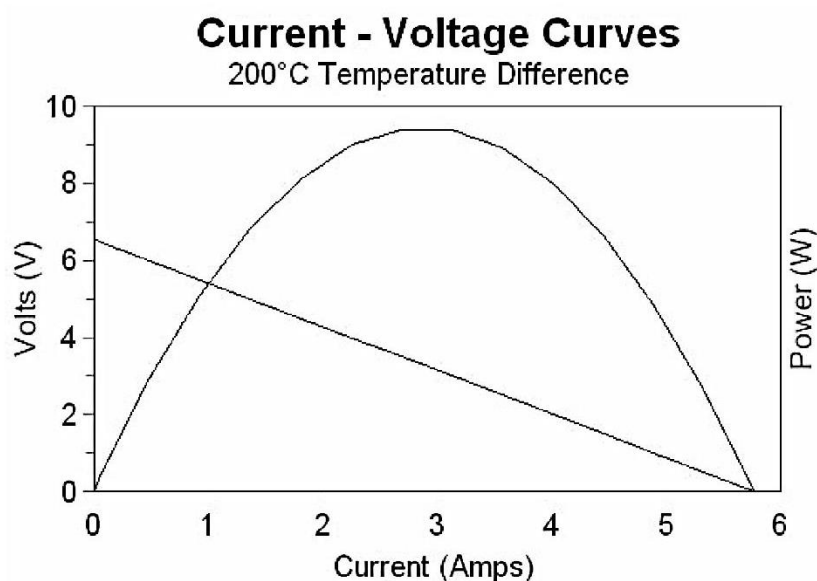
Note: Power leads are braided copper wire.
All dimensions are in inches

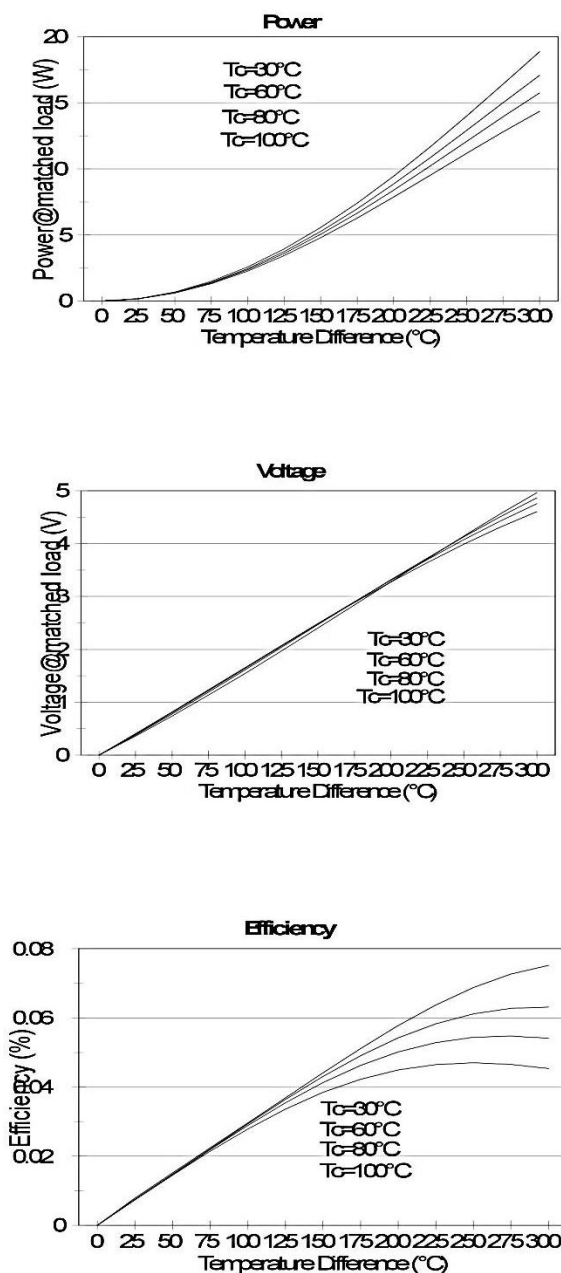
ELECTRICAL PROPERTIES

Many of the electrical properties of the HZ-9 are dependant upon the load to which it is connected. The Current-Voltage curve (I-V Curve) below shows the dependence of these properties as a function of current.

It should be noted that the load at which maximum efficiency is obtained occurs at a higher voltage than does the point at which maximum power is obtained.

The Current-Voltage Curve shown below illustrates the modules properties when the hot surface of the module is at 230°C (450°F) and the cold surface of the module is at 30°C (90°F). For a Current-Voltage Curve at other temperatures, please contact Hi-Z Technology.





TEMPERATURE DEPENDENCE

All thermoelectric devices are very temperature dependent.

The figures shown to the left illustrate how key thermoelectric properties of the HZ-9 module vary as the hot and cold surface temperatures are varied.

AVAILABLE OPTIONS:

- DC-DC converter
 - Input 3.0 V-15 V
 - Output 15 V (adjustable)
 - 30 Watts
- Heat Sinks
 - Fan cooled
 - Free convection
 - Water cooled
- Heat Transfer Grease
- Ceramic, Electrically Insulating Wafers
- Silicon, thermally conductive pads

All statements, technical information and recommendations contained herein are based on tests we believe to be reliable, but the accuracy or completeness thereof is not guaranteed. Neither seller nor manufacturer shall be liable for any injury, loss or damage including but not limited to special, incidental or consequential damages arising out of the use or the inability to use the product. Before using, user shall determine the suitability of the product for his intended use, and user assumes all risk and liability whatsoever in connection herewith. No statement or recommendation not contained herein shall have any force or effect unless in an agreement signed by officers of seller and manufacturer.

For more information contact:

Hi-Z Technology, Inc.
 7606 Miramar Road, Suite 7400
 San Diego, CA 92126-4210
 Tel: (858) 695-6660 – Fax: (858) 695-8870
 e-mail: info@hi-z.com – www.hi-z.com

ภาคผนวก ค
วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ ค.1 เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ยี่ห้อ ISO TECH รุ่น ISM 400



ภาพที่ ค.2 พัดลม DC 12 V ยี่ห้อ UNION รุ่น 27FAN012



ภาพที่ ค.3 มีดตัดกระจกยี่ห้อ STAR เบอร์ 1



ภาพที่ ค.4 ไดอะแฟรมปั๊มยี่ห้อ JUN รุ่น HX-2500



ภาพที่ ค.5 ซิลิโคนคอมเปาต์ยี่ห้อ COOLER MASTER



ภาพที่ ค.6 กาว Epoxy ยี่ห้อ PATTEX

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายวิเชียร ผิวบาง
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 37 หมู่ 1 ตำบลหนองครก อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ 33000
เบอร์โทรศัพท์	089 161 7447
E-mail:	wkhag@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2542-2546 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ประวัติงานวิจัย	Design and construction of a thermoelectric generator by using solar thermal energy ในงานประชุมวิชาการ Siam Physics Congress 2016 (SPC 2016) ณ โรงแรม บ้านสวนคุณตา กอล์ฟ รีสอร์ท อุบลราชธานี ระหว่างวันที่ 8 – 10 มิถุนายน พ.ศ. 2559