



การปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเทคนิคการจ่ายความร้อน
แบบไม่ต่อเนื่อง

ปิยวัฒน์ พานเมือง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

เมษายน 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

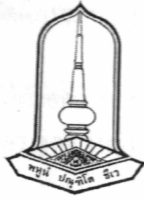


การปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเทคนิคการจ่ายความร้อน
แบบไม่ต่อเนื่อง

ปิยพัฒน์ พานเมือง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
เมษายน 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายปิยพัฒน์ พานเมือง
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ.ดร.อภินันท์ อูร์โสภณ)

ประธานกรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

(ผศ.ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทอง)

กรรมการ

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

(ผศ.ดร.นิวัตร อังควิศิรุพันธ์)

กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

(ผศ.ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล)

กรรมการ

(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

(ผศ.ดร.ธีรยุทธ ชาติชนะยีนยง)

ผู้รักษาการคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดตุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๑๙ เดือน ๒๖.๕ พ.ศ. 2559



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากบุคคลต่างๆ หลายท่านดังนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ โปธิ์ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสคอยให้คำชี้แนะ ดูแล เอาใจใส่และแนะนำแนวทางทั้งการเรียน การทำงาน และการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมไปถึง รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ อรุโสภาณ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์ กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล ผู้ทรงคุณวุฒิมาเป็นกรรมการสอบ ที่ให้คำแนะนำที่ดีเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประพันธ์ พานเมือง บิดา อาจารย์ชลธิชา พานเมือง มารดา อาจารย์ชลิตา พานเมือง พี่สาว และพี่น้องวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือมาตลอด

ปิยพัฒน์ พานเมือง



ชื่อเรื่อง	เทคนิคการปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยเทคนิคการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง		
ผู้วิจัย	นายปิยพัฒน์ พานเมือง		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทอง		
สถาบันศึกษา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2559

บทคัดย่อ

เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าได้โดยตรงโดยระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก แต่การจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องแก่ด้านร้อนโดยด้านเย็นไม่มีระบบรักษาความเย็นที่ดีระดับแรงดันที่ได้จะลดลง

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการปรับปรุงระดับแรงดันด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ผลการทดลองพบว่า การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องในช่วงอุณหภูมิ 40-100 °C ที่คาบเวลา 100-1,000 วินาที ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดี่ยว ระดับแรงดันเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.8-57.0 และ 82.1-114.5 สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกที่ด้านเย็นมีและไม่มีแผ่นครีระบายความร้อน ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน การประยุกต์เทคนิคข้างต้นกับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลที่มีแผ่นครีช่วยระบายความร้อน พบว่า เทคนิคดังกล่าวช่วยให้แรงดันลดลงเพียง 0.5-1 โวลต์ต่อชั่วโมง ซึ่งดีกว่าการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่มีแรงดันลดลง 1-3 โวลต์ต่อชั่วโมง ผลการทดลองยังพบอีกว่า การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง 0.807-14.58 มิลลิวัตต์ ซึ่งสูงกว่าการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่ให้กำลังสูงสุดเพียง 0.016-8.585 มิลลิวัตต์

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก; การปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้า; ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง



TITLE Voltage Level Improvement for Thermoelectrics Using Discontinuous Heating

AUTHOR Mr.Piyapat Panmuang

DEGREE Master of Engineer **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

ADVISOR Asst.Prof.Chonlatee Photong, Ph.D.

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2016

ABSTRACT

Thermoelectrics can convert heat to electricity directly. The electric voltage levels generated by thermoelectrics are dependent on temperature difference between the hot sides and the cold sides of them. But continue heating hot sides of thermoelectrics without proper cooling systems can lead to the voltage level drop.

This paper presents voltage level improvement for thermoelectrics using discontinuous heating. The experimental results showed that when applying discontinuous heating in the range of 40-100 °C with periodic time of 100-1,000 seconds to a single thermoelectric, the average voltage of the thermoelectric would increase 32.5-57.0% and 82.1-114.5% for of the thermoelectric with and without the heatsink, respectively; when compared to the continuous heating with the same temperature range. When applying this periodic heating technique for 2 thermoelectric modules with the heatsink, the results showed that the voltage levels would drop only 0.5-1 volts; which were better than the continuous heating that had the voltage level drop 1-3 volts. In addition, the proposed discontinuous heating could generate electrical power in the range of 0.807-14.58 mW, which would be higher than the continuous heating that generated 0.016-8.585 mW.

Key Words : thermoelectrics; voltage level improvement; discontinuous heating

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพประกอบ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 สมมุติฐานการวิจัย.....	5
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้	5
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล.....	6
2.1 ความรู้เกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก	6
2.2 ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริก	6
2.3 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก	8
2.4 ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก	8
2.5 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก	9
2.6 คุณสมบัติวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดี.....	10
2.7 เทอร์โมอิเล็กทริกเชิงพาณิชย์.....	10
2.8 การเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก	11
2.9 การถ่ายเทความร้อนสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก	14
2.10 แหล่งพลังงานความร้อนทั้งสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก	14
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	38
3.2 วิธีการทดลอง	41
3.3 การทดลองรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดี่ยว ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง.....	42
3.4 การทดลองเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดี่ยว ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง.....	43
3.5 การทดลองรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง.....	45



บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	46
4.1 ผลการทดลองอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน	47
4.2 ผลการทดลองรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดี่ยว ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง.....	47
4.3 ผลการทดลองเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดี่ยว ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง.....	51
4.4 การทดลองรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง.....	53
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผล อภิปรายผล.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	68
ประวัติผู้วิจัย.....	94



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 แสดงตารางเก็บข้อมูลค่าแรงดันเฉลี่ยของเทอร์โมอิเล็กทริกจากการจ่ายความร้อน อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C ที่คาบเวลาแตกต่างกัน	44
ตาราง 3.2 แสดงค่าเฉลี่ยแรงดันเฉลี่ยสูงสุดจากการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง แก่เทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีและไม่มีแผ่นครีบบัวยาระบายความร้อน ที่อุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน แตกต่างกัน.....	44



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1.1 แบบจำลองเทอร์โมอิเล็กทริก.....	3
ภาพประกอบ 1.2 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก.....	4
ภาพประกอบ 2.1 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว	6
ภาพประกอบ 2.2 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น	7
ภาพประกอบ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานเทอร์โมอิเล็กทริก	8
ภาพประกอบ 2.4 วัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตเทอร์โมอิเล็กทริก	9
ภาพประกอบ 2.5 (ก) แสดงการผลิตไฟฟ้าและ (ข) การผลิตความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	9
ภาพประกอบ 2.6 ข้อมูลเทอร์โมอิเล็กทริกเชิงพาณิชย์อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นที่ 160 °C และ 50 °C	11
ภาพประกอบ 2.7 ข้อมูลเทอร์โมอิเล็กทริกเชิงพาณิชย์อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นที่ 300 และ 50 °C	11
ภาพประกอบ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพและค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริก	14
ภาพประกอบ 2.9 แหล่งความร้อนที่ต่าง ๆ ที่สามารถนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้ได้.....	15
ภาพประกอบ 2.10 แหล่งความร้อนที่อุณหภูมิสูง	16
ภาพประกอบ 2.11 แหล่งความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ	16
ภาพประกอบ 2.12 แหล่งความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ	16
ภาพประกอบ 2.13 แผ่นระบายความร้อนแบบ Louver fin.....	17
ภาพประกอบ 2.14 แผ่นระบายความร้อนแบบ Plate fin	18
ภาพประกอบ 2.15 แผ่นระบายความร้อนแบบ Offset strip fin	18
ภาพประกอบ 2.16 ตารางเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบายความร้อนของแผ่นระบายความร้อนแบบ Louver fin, แบบ Plate fin และ แบบ Offset strip fin.....	18
ภาพประกอบ 2.17 แบบจำลองท่อระบายความร้อน	19
ภาพประกอบ 2.18 แสดงสัมประสิทธิ์ซีเบค ค่าการนำความร้อน และค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก.....	19
ภาพประกอบ 2.19 ท่อระบายความร้อนที่พื้นที่หน้าตัดแตกต่างกัน	19
ภาพประกอบ 2.20 ตารางแสดงสมรรถภาพในการระบายความร้อนที่พื้นที่หน้าตัดแตกต่างกัน.....	20
ภาพประกอบ 2.21 ภาพอินฟราเรดแสดงอุณหภูมิตามมือ	21
ภาพประกอบ 2.22 การติดเทอร์โมอิเล็กทริกบริเวณข้อมือ	21
ภาพประกอบ 2.23 ความร้อนที่บริเวณข้อมืออาสาสมัคร ณ อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิต่ำ เฉลี่ย 22.3 และ 30 °C.....	22
ภาพประกอบ 2.24 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกที่จำนวนเทอร์โมคัปเปิล.....	22



สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

ภาพประกอบ 2.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์ม SrTiO ₃ กับสัมประสิทธิ์ซีเบคและการนำความร้อน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	23
ภาพประกอบ 2.26 แบบจำลองผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก	23
ภาพประกอบ 2.27 ออกแบบอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกและระบายความร้อน ด้วยลำธาร	24
ภาพประกอบ 2.28 ตารางแสดงแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิและค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคต่างๆ.....	24
ภาพประกอบ 2.29 แสดงการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกบริเวณข้อมือและแขนท่อนบน.....	25
ภาพประกอบ 2.30 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกที่ความเร็วในการวิ่ง และบริเวณการติดบนร่างกายที่แตกต่างกัน	25
ภาพประกอบ 2.31 ตารางเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ที่บริเวณการติดบนร่างกาย อิริยาบถ และสถานที่ ที่แตกต่างกัน.....	25
ภาพประกอบ 2.32 แสดงการติดตั้งแผ่นระบายความร้อนร่วมกับแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ..	26
ภาพประกอบ 2.33 แสดงการติดตั้งแผ่นระบายความร้อนร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า.....	26
ภาพประกอบ 2.34 ตารางแสดงค่าความนำความร้อนของวัสดุในระบบ	26
ภาพประกอบ 2.35 ตารางแสดงการระบายความร้อนสำหรับหลอดแอลอีดีทั้ง 5 แบบ.....	27
ภาพประกอบ 2.36 กราฟแสดงอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีเทียบกับเวลาจากการระบาย ความร้อน 5 วิธี	27
ภาพประกอบ 2.37 แสดงกราฟ (ก)แรงดันไฟฟ้าและ (ข)กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าร่วมกับแผ่นระบายความร้อน.....	27
ภาพประกอบ 2.38 แสดงคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดของแผ่นระบายความร้อน	28
ภาพประกอบ 2.39 แสดงลักษณะในการระบายความร้อน	28
ภาพประกอบ 2.40 แสดงคุณลักษณะของแผ่นระบายความร้อนแบบที่ 1.....	28
ภาพประกอบ 2.41 แสดงคุณลักษณะของแผ่นระบายความร้อนแบบที่ 2.....	29
ภาพประกอบ 2.42 แสดงคุณลักษณะของแผ่นระบายความร้อนแบบที่ 3.....	29
ภาพประกอบ 2.43 แสดงคุณลักษณะของแผ่นระบายความร้อนแบบที่ 4.....	30
ภาพประกอบ 2.44 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อนที่จำนวนครีบแตกต่างกันของแผ่นระบาย ความร้อนที่ทำจากแกรไฟต์.....	30
ภาพประกอบ 2.45 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อนที่จำนวนครีบแตกต่างกันของแผ่นระบาย ความร้อนที่ทำจากอะลูมิเนียม	31
ภาพประกอบ 2.46 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อนที่จำนวนครีบแตกต่างกันของแผ่นระบาย ความร้อนที่ทำจากทองแดง.....	31
ภาพประกอบ 2.47 แสดงตารางแสดงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ของวัสดุและแบบแผ่นระบาย ความร้อนที่แตกต่างกัน.....	31



สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

ภาพประกอบ 2.48 แบบจำลองในการศึกษาผลกระทบจากความสูง และหนาของครีประบายความร้อน.....	32
ภาพประกอบ 2.49 ตารางแสดงวัสดุของแผ่นระบายความร้อนในการศึกษาผลกระทบจากความสูง และหนาของครีประบายความร้อน	32
ภาพประกอบ 2.50 กราฟแสดงอุณหภูมิครีระบายความร้อนที่ความหนาแตกต่างกัน (ก)อุณหภูมิต่ำสุด (ข)อุณหภูมิสูงสุด	32
ภาพประกอบ 2.51 กราฟแสดงอุณหภูมิครีระบายความร้อนที่ความสูงแตกต่างกัน (ก)อุณหภูมิต่ำสุด (ข)อุณหภูมิสูงสุด	33
ภาพประกอบ 2.52 คำนวณความร้อนของวัสดุต่างชนิดที่ใช้ทำแผ่นระบายความร้อน	33
ภาพประกอบ 2.53 แสดงจำนวนครี ความกว้างและพื้นผิวของแผ่นระบายความร้อน	33
ภาพประกอบ 2.54 แผ่นระบายความร้อนจำนวน 4, 6, 8,10 และ 12 ครี.....	34
ภาพประกอบ 2.55 แสดงอุณหภูมิรอยต่อ ความต้านทานความร้อนของแผ่นระบายความร้อน ที่จำนวนครีต่างกัน	34
ภาพประกอบ 2.56 (ก) หลอดแอลอีดี (ข) หลอดแอลอีดีติดอุปกรณ์ระบายความร้อน	34
ภาพประกอบ 2.57 ตารางการคำนวณหลอดแอลอีดีด้วยโปรแกรม Pro/Engineer software	35
ภาพประกอบ 2.58 ผลการคำนวณแผ่นระบายความร้อนที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรม Pro/Engineer software	35
ภาพประกอบ 2.59 อุปกรณ์ตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองโดยมีแหล่งจ่ายเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกและเซลล์สุริยะ	36
ภาพประกอบ 2.60 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ (a)เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า (b)อุปกรณ์คลื่นสัญญาณสมอง (c)อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (d)แผ่นเซลล์	36
ภาพประกอบ 2.61 ตัวอย่างคลื่นสัญญาณสมองจากอุปกรณ์ตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง	37
ภาพประกอบ 3.1 ลักษณะภายนอกเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลอง.....	38
ภาพประกอบ 3.2 แผ่นระบายความร้อนที่ใช้ในการทดลอง.....	39
ภาพประกอบ 3.3 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น YUGO MY64 ที่ใช้ในการทดลอง.....	39
ภาพประกอบ 3.4 ออสซิลโลสโคป รุ่น GWINSTEKGDS-2074A ที่ใช้ในการทดลอง.....	40
ภาพประกอบ 3.5 แหล่งจ่ายความร้อนด้วยเตารีดรุ่น AJ	40
ภาพประกอบ 3.6 แสดงการวัดอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน ด้วยสายวัดเทอร์โมมิเตอร์ ชนิดเค	41
ภาพประกอบ 3.7 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้จริง และเครื่องมือวัด	42
ภาพประกอบ 3.8 แสดงแบบจำลองวิธีการทดลองงานวิจัยนี้.....	42
ภาพประกอบ 3.9 แสดงแบบจำลองการจ่ายความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่นครีช่วยในการระบายความร้อนแบบต่อเนื่อง(ก) และไม่ต่อเนื่อง(ข).....	43
ภาพประกอบ 3.10 แสดงแบบจำลองการจ่ายความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีช่วยในการระบายความร้อนแบบต่อเนื่อง (ก) และไม่ต่อเนื่อง (ข).....	43



สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

ภาพประกอบ 3.11 แสดงแบบจำลองการถ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบช่วยในการระบายความร้อน.....	45
ภาพประกอบ 3.12 แสดงแบบจำลองการถ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบช่วยในการระบายความร้อน.....	45
ภาพประกอบ 4.1 กราฟอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนที่ 40 60 80 และ 100 °C	46
ภาพประกอบ 4.2 กราฟค่าความแตกต่างอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนที่ 40 60 80 และ 100 °C	46
ภาพประกอบ 4.3 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการรับความร้อนแบบต่อเนื่องของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ (ก) 110 (ข) 130 และ (ค) 150 °C	48
ภาพประกอบ 4.4 กราฟระยะเวลาด้านร้อนมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกหลังจากรับความร้อนที่ 80 90 100 110 120 130 140 และ 150 °C	48
ภาพประกอบ 4.5 กราฟแรงดันไฟฟ้ายอดเทอร์โมอิเล็กทริกจากการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	49
ภาพประกอบ 4.6 แสดงการวัดอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน ด้วยสายวัดเทอร์โมมิเตอร์ ชนิดเค	49
ภาพประกอบ 4.7 แรงดันเฉลี่ยที่ได้จากทดลองที่ (3) ที่อุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนแตกต่าง.....	50
ภาพประกอบ 4.8 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการทดลองที่ (3) เมื่อทดสอบให้ความร้อนที่ 80-120 °C.....	50
ภาพประกอบ 4.9 กราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจากการถ่ายความร้อนที่อุณหภูมิและคาบเวลาแตกต่างกัน แก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีอุปกรณ์ช่วยระบายความร้อน	51
ภาพประกอบ 4.10 กราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจากการถ่ายความร้อนที่อุณหภูมิและคาบเวลาแตกต่างกัน แก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบระบายความร้อน	52
ภาพประกอบ 4.11 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจากการถ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริก (ก) ไม่มีอุปกรณ์ช่วยระบายความร้อน (ข) มีแผ่นครีบบระบายความร้อน	52
ภาพประกอบ 4.12 กราฟแรงดันไฟฟ้าจากการถ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส.....	53
ภาพประกอบ 4.13 กราฟแรงดันไฟฟ้าจากการถ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส.....	54
ภาพประกอบ 4.14 กราฟแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง ระหว่างการถ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง	54
ภาพประกอบ 4.15 กราฟเปรียบเทียบกระแส แรงดัน สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก ระหว่างการถ่ายความร้อนต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C.....	55
ภาพประกอบ 4.16 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกที่แรงดันแตกต่างกัน ระหว่างการถ่ายความร้อนแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	56



สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

ภาพประกอบ 4.17 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่ความต้านทานภาระทางไฟฟ้า แตกต่างกัน ระหว่างการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน.....	57
--	----



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหา

สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยในช่วงห้าเดือนแรกปี 2558 มีการใช้พลังงาน ปริมาณ 33,238 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 4.3 คิดเป็นมูลค่า มากกว่า 446,660 ล้านบาท การใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจโดยพลังงานที่ใช้ มากที่สุดสองอันดับคือ น้ำมันสำเร็จรูป และพลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละ 48.3 และ 18.7 ตามลำดับ [1] การฟื้นตัวของเศรษฐกิจทำให้ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นและมีความจำเป็นต้องนำเข้าพลังงาน คิดเป็นมูลค่ามากกว่า 359,637 ล้านบาท ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ของประเทศ รัฐบาลและกระทรวงพลังงาน จึงมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดปริมาณการนำเข้า พลังงาน และวางแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนในอีก 10 ปี (2555-2564) โดยแนวทางสำคัญ คือ การส่งเสริมการผลิตและการใช้พลังงานทดแทน การรณรงค์สร้างจิตสำนึกและประชาสัมพันธ์ให้ความรู้ และการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาด้านพลังงาน ซึ่งในด้านนี้มีเป้าหมายคือสามารถนำไปพัฒนา และต่อยอดให้เกิดผลอย่างเป็นรูปธรรม [2]

นอกจากพลังงานที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงและไฟฟ้าแล้ว พลังงานความร้อนเป็นหนึ่งใน แหล่งพลังงานที่น่าสนใจที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตไฟฟ้าทั้งนี้พบว่า พลังงานความร้อนของ ประเทศไทยจากรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั่วประเทศจากทุกพื้นที่เป็นค่ารายวันเท่ากับ 5.05 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อ ตารางเมตร [3]-[4] ซึ่งพลังงานความร้อนยังวนเวียนในชั้นบรรยากาศ บนพื้นผิวโลก และใต้พิภพผ่าน กระบวนการต่าง ซึ่งเป็นปริมาณพลังงานที่มหาศาลที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ [5]-[6] ในทางตรงข้าม เป็นพลังงานความร้อนที่กล่าวคือ เป็นพลังงานความร้อนที่ปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศหลังจาก ผ่านการใช้ประโยชน์ อาจจะอยู่ในรูปอากาศ ก๊าซ น้ำ หรือ ของเหลวต่างๆ ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า บรรยากาศ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในช่วง 600-1,600 °C ความร้อนที่ อุณหภูมิปานกลางในช่วง 200-600 °C และความร้อนที่อุณหภูมิต่ำในช่วง 35-200 °C [7]

การนำพลังงานความร้อนทิ้งมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการนำไปใช้โดยตรง ได้แก่ เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็น พลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง [8]-[12] และ รูปแบบการนำไปใช้ทางอ้อม ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน ความร้อนโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงหลายชนิดเพื่อต้มน้ำให้เดือดและเกิดไอน้ำแรงดันสูงใช้เป็นต้นกำลัง ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [13]-[19] การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนโดยตรงผ่านเทอร์โมอิเล็กทริก มีข้อดีในส่วนของกระบวนการแปลงผันพลังงานที่ไม่ซับซ้อน สามารถเพิ่มหรือเปลี่ยนแปลงกำลัง การผลิตไฟฟ้าได้ตามจำนวนของเทอร์โมอิเล็กทริก การบำรุงรักษาต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการผลิต ไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแบบทางอ้อม ซึ่งมีกระบวนการที่ซับซ้อน ยากต่อการเพิ่มกำลัง หรือเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตไฟฟ้า อีกทั้งจำเป็นต้องสร้างเป็นระบบขนาดใหญ่เพื่อให้การลงทุน มีความคุ้มค่า และต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ [20]-[23] ด้วยข้อดีหลายประการของการผลิต ไฟฟ้าจากความร้อนโดยตรง ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการผลิตไฟฟ้าแบบโดยตรงโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

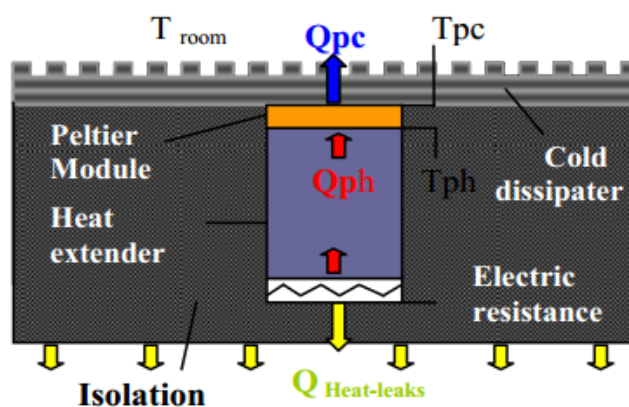


อย่างไรก็ตามการใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริก อาจมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ปัจจุบันประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำประมาณ 4-7 เปอร์เซ็นต์ [24]-[25] ด้วยเหตุนี้จึงมีนักวิจัยจำนวนมากที่พยายามเพิ่มขีดความสามารถและประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าในปริมาณมากขึ้นที่ระดับแรงดันมากขึ้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้ เช่น Hun Sik Han [26] ได้ทำการทดสอบการใช้แผ่นระบายความร้อนแบบ Louver fin, Plate fin และ Offset strip fin สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งพบว่า แผ่นระบายความร้อนแบบ Plate fin และ Offset strip ให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) ที่ดีกว่า คิดเป็นร้อยละ 24.4 และ 27.7 ตามลำดับ Zhou [27] ได้นำเสนอการออกแบบความกว้างและยาวที่เหมาะสมของชั้นระบายความร้อนของอุปกรณ์ระบายความร้อนซึ่งพบว่า พื้นที่หน้าตัดที่ทำให้สามารถระบายความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ดีที่สุด คือขนาด 4.2 mm^2 โดยใช้ร่วมกับของเหลวที่มีอัตราเร็ว 1.632 m/s . Bouknadel [28] ได้นำเสนอวัสดุที่ใช้ทำแผ่นระบายความร้อน 3 ชนิด ได้แก่ แกร์ไฟต์ ทองแดง และอะลูมิเนียม โดยทดลองกับแผ่นระบายความร้อนทั้ง 4 แบบ พบว่า แกร์ไฟต์คือวัสดุที่สามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุด ตามด้วยทองแดง และอะลูมิเนียม ตามลำดับ Ekpu [29] ได้ศึกษาความหนาครีบบนแผ่นระบายความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อการระบายความร้อน โดยทดลองกับแผ่นระบายความร้อนที่ทำจากวัสดุต่างชนิด คือ อะลูมิเนียม ทองแดง และซิลิกอน พบว่าครีบบนแผ่นระบายความร้อนแบบบางจะสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าครีบบนแผ่นหนา Retnasamy [30] ได้ศึกษาจำนวนครีบบนแผ่นระบายความร้อนที่มีต่อค่าความต้านทานความร้อนของแผ่นระบายความร้อน โดยทดลองกับแผ่นระบายความร้อนมีทั้งหมด 5 แบบ ได้แก่ แบบ 4 6 8 10 และ 12 ครีบบน พบว่า แผ่นครีบบนจำนวน 12 ครีบบนช่วยลดค่าความต้านทานความร้อนได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับแบบ 4 6 8 และ 10 ครีบบน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 43.47 30.64 19.04 และ 2.11 ตามลำดับ Hassan. [31] ได้ออกแบบอุปกรณ์ระบายความร้อนสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกแบบ Aluminum duct heat exchanger และ แบบ Heat exchanger with a twisted tape insertion โดยใช้ร่วมกับน้ำมัน ระบายความร้อนด้วยอัตราการไหล $100\text{-}150 \text{ l/m}$ พบว่าแบบ Heat exchanger with a twisted tape insertion สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าร้อยละ 48 และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ดีกว่าคิดเป็นร้อยละ 31 เมื่อเทียบกับแบบ Aluminum duct heat exchanger Voss [32] ได้เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากความร้อนร่างกายมนุษย์ ในพฤติกรรมที่แตกต่างกันทั้งในร่มและกลางแจ้ง ได้แก่ การนั่ง เดิน และ วิ่ง ที่ตำแหน่งในการติดแตกต่างกัน 2 จุด คือ ข้อมือและแขนท่อนบน พบว่า การติดเทอร์โมอิเล็กทริกที่ข้อมือ ทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าการติดที่แขนท่อนบน ซึ่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้เท่ากับ 1.65 mW ขณะวิ่งกลางแจ้ง ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ $13.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ อีรวัดณ์ อุทาพงษ์ [33] ได้ผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งเกรดต่ำด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 192 โมดูล และด้านเย็นถูกระบายความร้อนด้วยน้ำที่อัตราการไหลเท่ากับ 18 l/m โดยรับอุณหภูมิความร้อนที่ด้านร้อนประมาณ $98\text{-}102^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิน้ำที่ใช้ระบายความร้อนประมาณ $30\text{-}38^{\circ}\text{C}$ พบว่าสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 335 V และผลิตกระแสเท่ากับ 0.75 A นิตยา आयูสิน [34] ได้ศึกษาผลกระทบการผลิตความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากทิศทางการไหลของอากาศบนแผ่นระบายความร้อนทั้งหมด 4 แบบโดยใช้ร่วมกับพัดลม ได้แก่ แบบดูดเข้าด้านเย็น และเป่าออกด้านร้อน แบบดูดเข้าด้านเย็นและดูดเข้าด้านร้อน แบบเป่าออกด้านเย็น และดูดเข้าด้านร้อน การเป่าออกด้านเย็นและเป่าออกด้านร้อน พบว่าการเป่าอากาศออกทางด้านร้อนและการดูดอากาศเข้าทางด้านเย็น เหมาะสำหรับการทำความเย็นให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่สุด



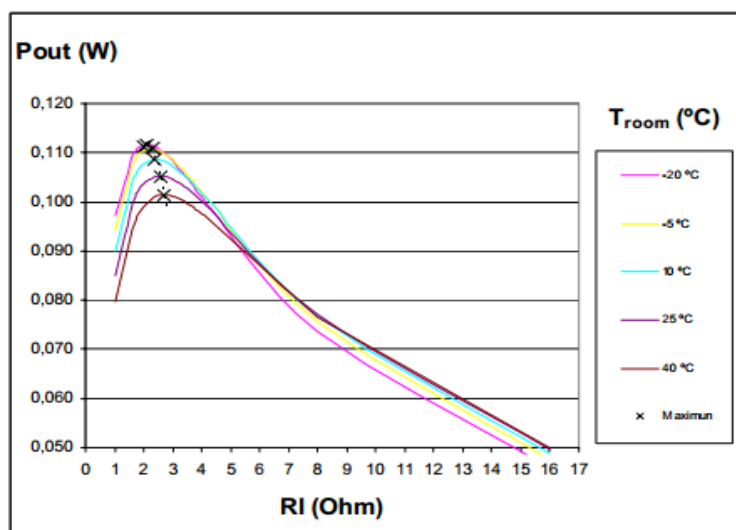
ซึ่งวิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นในการเพิ่มหรือรักษาระดับแรงดันที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่บนพื้นฐานของการรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างขั้วของเทอร์โมอิเล็กทริกให้ได้มากที่สุด ซึ่งต้องอาศัยการรักษาความร้อนในด้านร้อนให้ต่อเนื่องและมีอุณหภูมิสูง ในขณะที่นิยมติดตั้งระบบระบายความร้อนในด้านเย็นที่เหมาะสม ซึ่งการเลือกอุปกรณ์ระบายความร้อนที่เหมาะสมนี้จะนำมาซึ่งต้นทุนของอุปกรณ์ระบายความร้อนที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และบางเทคนิคต้องอาศัยพลังงานส่วนหนึ่งที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกช่วยขับเคลื่อนในการระบายความร้อนเพื่อให้ระบบทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลให้ให้พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกมีปริมาณต่ำ อีกทั้งยังเพิ่มความซับซ้อนในระบบซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ รวมถึงต้นทุนการบำรุงรักษาในระบบที่ซับซ้อนนั้น [35] ดังนั้น การเสาะแสวงหาวิธีการรักษาระดับแรงดันของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ให้ระดับแรงดันสูงขึ้นโดยไม่มีต้นทุนหรือต้นทุนที่ต่ำลงของระบบระบายความร้อนจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก

จากการศึกษาของผู้วิจัย พบว่าการผลิตแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกจะสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ดีในช่วงเริ่มต้น แต่เมื่อรับความร้อนในเวลาผ่านไป แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะลดลงจากตอนเริ่มต้น ดังตัวอย่างเช่น Rodriguez [36] ได้ศึกษาลักษณะกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการระบายความร้อน แสดงในภาพประกอบ 1.3 ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่มีอุปกรณ์ช่วยในการระบายความร้อนเพื่อลดต้นทุน และความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้ พบว่าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกได้ในช่วงแรกและลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากค่าความต้านทานของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้น แสดงในภาพประกอบ 1.4



ภาพประกอบ 1.3 แบบจำลองเทอร์โมอิเล็กทริก [36]





ภาพประกอบ 1.4 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก [36]

จากข้อมูลการศึกษาเบื้องต้น เห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ในช่วงแรกและลดลงในเวลาต่อมา เนื่องจากความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทริกได้รับเป็นการรับความร้อนแบบต่อเนื่องจากแหล่งจ่ายความร้อน ซึ่งความร้อนเหล่านั้นสามารถส่งผ่านไปยังอีกด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกทำให้ค่าอุณหภูมิความแตกต่างระหว่างสองด้านลดลง ซึ่งส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ลดลงตามไปด้วย [37] ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการปรับปรุงโดยการรับความร้อนในด้านร้อนเทอร์โมอิเล็กทริกแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ความร้อนที่ได้รับยังคงอยู่ในเวลาหยุดรับและการระบายความร้อนในด้านเย็นจะได้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น จึงเป็นที่มาของการปรับปรุงและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยการรับความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง

อย่างไรก็ตาม เทคนิคการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องได้มีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก [38] โดยการจ่ายความร้อนแบบคาบความร้อน ได้แก่ 10% ของรอบทำงาน 20% ของรอบทำงาน แบบไซน์เวฟ และแบบสแคว์เวฟ โดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกคือสารกึ่งตัวนำบิสมัทเทอร์ไรต์ พบว่าคาบความร้อนแบบไซน์เวฟ และสแคว์เวฟสามารถเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอร์ริท (ZT) เพิ่มขึ้นร้อยละ 140 และ 180 ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิความแตกต่างระหว่างสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 100 และ 300 K แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แต่ไม่ได้บอกถึงลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการรับความร้อนไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าโดยละเอียดแล้วพบว่า ยังไม่มีผู้ศึกษาในส่วนนี้ ผู้วิจัยจึงประสงค์ที่จะศึกษาวิธีการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเทคนิคการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานวิจัยในอนาคตในการประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกต่อไป



1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและทดสอบวิธีการรักษาแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่อง
2. เปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่างเทคนิคการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องและเทคนิคการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก
3. เพื่อศึกษาการรักษาระดับแรงดันโดยใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกแบบสองโมดูล

1.3 สมมติฐานการวิจัย

เทคนิคการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. แหล่งจ่ายความร้อนในการทดลองใช้เตารีดเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดความร้อนที่ระดับ 80-120 °C และใช้เทอร์โมคัปเปิล รุ่น YOGO MY64 ในการตรวจสอบอุณหภูมิของแหล่งจ่ายความร้อน
2. การทดลองใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 โมดูลในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก
3. การทดลองใช้วิธีสลับการจ่ายความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100°C

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้

1. ได้ผลการศึกษาและทดสอบวิธีการรักษาแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง
2. ได้ผลเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่างเทคนิคการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องและเทคนิคการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก
3. ได้ผลการศึกษาการรักษาระดับแรงดันโดยใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกแบบสองโมดูล



บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

จากบทที่ 1 ผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการเพิ่มรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก ด้วยเทคนิคการรับความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ในบทนี้ผู้วิจัยจะอธิบายถึงหลักการทํางาน ทฤษฎีเกี่ยวข้อง รวมถึงงานวิจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

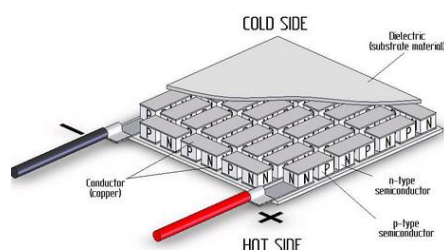
2.1 ความรู้เกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) เกิดจากคำว่า เทอร์โม (Thermo) แปลว่าความร้อน และอิเล็กทริก (Electric) แปลว่าไฟฟ้า ดังนั้นปรากฏการณ์ของเทอร์โมอิเล็กทริกจึงเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกันระหว่างความร้อนและไฟฟ้า เช่น การแปลงความร้อนไปเป็นไฟฟ้า หรือการแปลงไฟฟ้าไปเป็นความร้อนและสามารถแปลงเป็นความเย็นได้ในเวลาเดียวกัน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้มีลักษณะเป็นแผ่นเซรามิกมีขนาดประมาณ 40x40 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งสามารถเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน หรือเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นกำลังไฟฟ้าได้ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผลิตเป็นเทอร์โมอิเล็กทริก เรียกว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Materials) ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุนี้เมื่อได้รับอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกันระหว่างทั้งสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริก จะมีการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ นั่นคือมีการสั่นสะเทือนของโครงสร้างภายในและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (Electron) จะได้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงออกมา และในทางกลับกัน วัสดุนี้ได้รับความต่างศักย์จากกำลังไฟฟ้ากระแสตรง จะมีการถ่ายเทความต่างศักย์ไฟฟ้านั้นในวัสดุ จากศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำ ทำให้เกิดอุณหภูมิความร้อนและเย็นระหว่างทั้งสองด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก [39]

2.2 ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริก

ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งออกได้ 2 แบบ [40] คือ

1. เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว (Single-stage peltier module)



ภาพประกอบ 2.1 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว [41]



เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบชั้นเดียวเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างสองด้านไม่สูงมากนักประมาณ $67\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติดังนี้

- 1) ขนาดพื้นที่ผิวเซรามิกของแผ่นขนาด 1.8×3.4 ตร.มม ถึง 62×62 ตร.มม
 - 2) ขนาดความหนาของแผ่นหนา 2.54 มิลลิเมตร ถึง 5.8 มิลลิเมตร
 - 3) ความสามารถในการถ่ายเทความร้อน 0.2 วัตต์ ถึง 125 วัตต์
 - 4) ค่ากระแสสูงสุดที่ผลิตได้ ตั้งแต่ 0.8 แอมแปร์ ถึง 60 แอมแปร์
 - 5) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ ตั้งแต่ 0.4 โวลต์ ถึง 15.4 โวลต์
2. เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage Thermoelectric Module)



ภาพประกอบ 2.2 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น [42]

เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้นเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ต่อกันเป็นจำนวน 2 ชั้นขึ้นไป มีลักษณะและคุณสมบัติดังต่อไปนี้ [43]

- 1) ขนาดพื้นที่ผิวเซรามิกด้านร้อนขนาด 3.2×3.2 ตร.มม ถึง 62×62 ตร.มม
- 2) ขนาดพื้นที่ผิวเซรามิกด้านเย็นขนาด 3.8×3.8 ตร.มม ถึง 62×62 ตร.มม
- 3) ขนาดความหนาของแผ่นหนา 3.8 มม. ถึง 21.4 มม.
- 4) ค่ากระแสสูงสุดที่ผลิตได้ ตั้งแต่ 0.7 แอมแปร์ ถึง 9.5 แอมแปร์
- 5) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ ตั้งแต่ 0.8 โวลต์ ถึง 14 โวลต์

ข้อดีและข้อเสียของเทอร์โมอิเล็กทริก

ข้อดี

- 1) การผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าได้โดยตรง
- 2) สามารถนำไปใช้กับแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิต่ำได้
- 3) เทอร์โมอิเล็กทริกใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) การดูแลรักษาง่ายและมีอายุการใช้งานนาน
- 5) การผลิตไฟฟ้าโดยไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวจึงไม่มีเสียงดัง

โดยตรง



ข้อเสีย

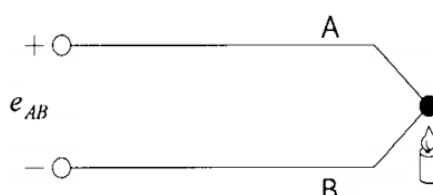
- 1) ต้นทุนของเทอร์โมอิเล็กทริกค่อนข้างสูง และยังไม่มีการผลิตจำนวนมากเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ในเชิงพาณิชย์
- 2) เทอร์โมอิเล็กทริกจำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิแตกต่างระหว่างด้านจึงนิยมใช้อุปกรณ์ระบายความร้อน ซึ่งจะนำมาถึงระบบที่ซับซ้อน น้ำหนัก ขนาด และต้นทุน ที่เพิ่มมากขึ้น
- 3) เทอร์โมอิเล็กทริกยังมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าต่ำร้อยละ 4-5

2.3 การทำงานเทอร์โมอิเล็กทริก

เมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับอุณหภูมิแตกต่างระหว่างสองด้าน จะเกิดการถ่ายเทอุณหภูมิจากบริเวณที่อุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยอาศัยหลักการสั่นสะเทือนของโครงสร้างวัสดุภายใน และอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ เรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) [44] โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect)

ในปี ค.ศ. 1821 นายโทมัส โจฮาน ซีเบค (Thomas Johaan Seebeck) ชาวเยอรมัน ได้ค้นพบปรากฏการณ์ที่ว่า “เมื่อเกิดอุณหภูมิแตกต่างที่รอยต่อของโลหะสองชนิดจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่วงจรปลายเปิด ซึ่งปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความแตกต่างของอุณหภูมिरอยต่อของโลหะทั้งสอง” [35]



ภาพประกอบ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานเทอร์โมอิเล็กทริก [45]

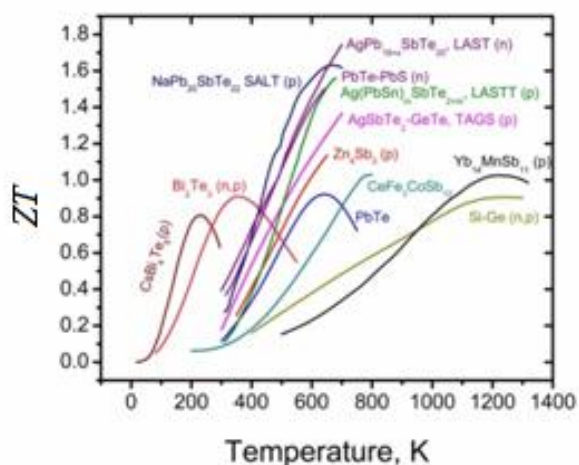
2.4 ประเภทเทอร์โมอิเล็กทริก

การแบ่งประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งได้ตามวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการผลิตเทอร์โมอิเล็กทริก ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของการใช้งานออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- 1) กลุ่มอุณหภูมิต่ำที่ 180 – 473 K เช่น Bi-Te, Sb-Te, Sb-Se เป็นต้น
- 2) กลุ่มอุณหภูมิมิระดับปานกลางที่ 500 – 900 K เช่น Pb-Te, Pb-Sn-Te, Sb-Se เป็นต้น
- 3) กลุ่ม อุณหภูมิระดับสูงที่ 800-1,300 K เช่น Si-Ge เป็นต้น

วัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เป็นวัสดุในกลุ่มที่ใช้งานอุณหภูมิต่ำ เช่น Bi-Te, Sb-Te เป็นต้น [46] โดยสามารถนำไปประยุกต์ได้หลากหลาย เพราะสามารถทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิห้อง จึงเป็นที่นิยมและศึกษากันเป็นจำนวนมาก

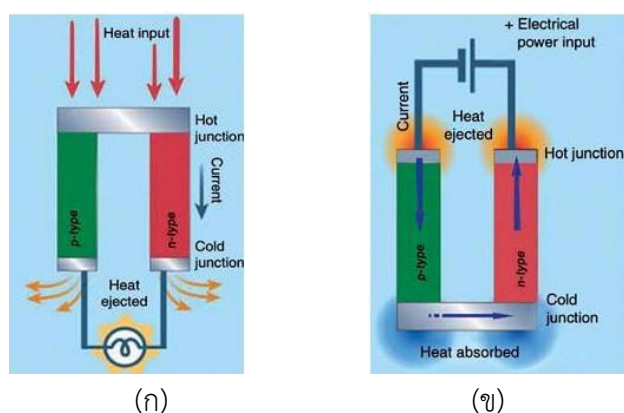




ภาพประกอบ 2.4 วัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตเทอร์โมอิเล็กทริก [46]

2.5 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือวัสดุที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นความร้อนและความเย็นได้ในเวลาเดียวกัน ซึ่งในปัจจุบันใช้สารกึ่งตัวนำเป็นวัสดุในการผลิตเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งสารกึ่งตัวนำประกอบด้วยสาร 2 ชนิด ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) โดยในส่วนของ การทำความเย็นเมื่อเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับไฟฟ้ากระแสตรงเข้ามา จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนปั๊มดูดความร้อนเข้าที่ด้านหนึ่งและทำความเย็นในอีกด้าน และในส่วนของ การผลิตไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นเมื่อเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับความร้อน ซึ่งความร้อนนั้นจะถ่ายเทจากอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิมิระหว่างสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกนี้ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจร [47]-[49]



ภาพประกอบ 2.5 (ก) แสดงการผลิตไฟฟ้าและ (ข) การผลิตความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก [50]

2.6 คุณสมบัติวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดี

สารกึ่งตัวนำที่นำมาเป็นวัสดุในการผลิตเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีต้องมีคุณสมบัติ [51] ดังนี้

- 1) มีสภาพความนำไฟฟ้าสูงและการนำความร้อนต่ำ (ความร้อนเกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานอุปกรณ์)
- 2) ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่สูงซึ่งเป็นค่าที่บอกความสามารถในการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นความเย็นได้ดี
- 3) มีสภาพความนำความร้อนต่ำ

จากคุณสมบัติทั้ง 3 ข้อดังกล่าว สามารถเขียนความสัมพันธ์เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอริท (Z) ได้ดังสมการ 2.1 ต่อไปนี้

$$Z = \alpha^2 \sigma / \lambda \quad (2.1)$$

α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)

σ คือ สภาพความนำไฟฟ้าของวัสดุ (A/V)

λ คือ สภาพความนำความร้อนของวัสดุ (W/m.K)

เนื่องจาก Z มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเคลวิน ซึ่งในทางปฏิบัติต้องการเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้ง่ายขึ้นโดยไม่มีหน่วย เรียกค่าดังกล่าวว่า ค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอริท (Figure of Merit) เกิดจากการนำตัวแปร T คือ อุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำงานหน่วยเป็นเคลวิน คูณกับค่า Z จะได้เป็น ZT เรียกว่า ค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอริท ใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงคุณสมบัติในการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยค่า ฟิสิกเกอร์ที่มีค่ามาก วัสดุดังกล่าวที่ใช้ในการผลิตเทอร์โมอิเล็กทริกจะสามารถแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากเช่นกัน

2.7 เทอร์โมอิเล็กทริกเชิงพาณิชย์

เทอร์โมอิเล็กทริกถูกผลิตออกมาหลากหลายบริษัทจากหลายประเทศ (ดังตารางที่ 1) เช่น สหรัฐอเมริกา รัสเซีย ยูเครน สาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นต้น [52] ซึ่งผลิตออกมาในรูปแบบที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้น การนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้งาน จำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับลักษณะของงานอีกด้วย



ตัวอย่างชุดเทอร์โมอิเล็กทริกในเชิงพาณิชย์ [53]

The following specification are based on that the hot side temperature is at 160°C and cold side at 50°C.									
TEG P/N	Dimensions(mm)		V/K	Open circuit V	Matched load Ohm	Matched output Voltage	Matched output Power W	Λ -W/°C	Heat Flow through module W
	Hot side	Cold							
TEG31-2.8-1.2	30×30	30×30	0.02273	2.5	0.3	0.84	6.5	1	154.8
TEG49-4.5-2.0	62×62	62×62	0.03091	3.4	2	1.33	13	1.3	220.3
TEG49-4.5-2.5	62×62	62×62	0.03091	3.4	0.24	1.33	12.2	1	200.0
TEG71-1.4-1.6	30×30	30×30	0.04636	5.1	1.9	1.92	3.9	0.5	84.8
TEG127-1.4-1.0	40×40	40×40	0.05818	6.4	1.8	3.2	5.2	2	104.0
TEG127-2.0-1.3	50×50	50×54	0.05818	6.4	1.3	3.2	7.9	2.02	143.6
TEG127-2.0-1.6	50×50	50×54	0.05818	6.4	1.6	3.2	6.4	1.62	114.3
TEG161-1.2-2.0	40×40	40×40	0.05818	6.4	6.8	4.04	3.7	0.85	77.1
TEG161-1.2-4.0	40×40	40×40	0.05727	6.3	13.4	4.04	3	0.6	54.5
TEG241-1.0-1.2	40×40	40×40	0.11000	12.1	10	6	3.6	1	72.0
TEG241-1.4-1.2	54×54	54×57	0.10455	11.5	4.5	7	7	2.18	120.7
TEG254-1.4-1.2	40×80	44×80	0.10455	11.5	4.8	7	7	2.3	125.0
TEG254-1.4-1.6	40×80	44×80	0.11636	12.8	7.2	6.7	6.2	1.6	101.6
TEG450-0.8-1.0	54×54	54×57	0.19091	21	28	12	5	1.45	83.3

ภาพประกอบ 2.6 ข้อมูลเทอร์โมอิเล็กทริกเชิงพาณิชย์อุณหภูมิด้านร้อนและเย็นที่ 160 และ 50 °C [53]

The following specification are based on that the hot side temperature is at 300°C and cold side at 50°C.									
TEG P/N	Length	Width	V/K	Open circuit V	Matched output Ohm	Matched output Voltage	Matched output current A	Matched output power W	Heat flow through module W
TEG126-30A	30	30	0.03963	9.91	5.3	5.1	0.97	4.9	120.4
TEG126-40A	40	40	0.03963	9.91	5.3	5.2	0.98	5	120.4
TEG126-60A	56	56	0.03111	7.78	1.6	4	3.36	13.2	338.0
TEG241-60A	56	56	0.06519	16.30	4.1	8.5	1.96	16.5	362.0
TEG126-30B	30	30	0.03333	8.33	2.5	4.4	1.52	6.7	144.4
TEG126-40B	40	40	0.02667	6.67	1.7	3.58	1.9	6.8	137.0
TEG126-60B	56	56	0.03111	7.78	0.8	4.12	4.4	18	357.4
TEG241-60B	56	56	0.05333	13.33	2.3	7	2.84	19.7	387.0

ภาพประกอบ 2.7 ข้อมูลเทอร์โมอิเล็กทริกเชิงพาณิชย์อุณหภูมิด้านร้อนและเย็นที่ 300 และ 50 °C [53]

2.8 การเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก

การเพิ่มประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งเป็น 3 วิธี [54] ดังต่อไปนี้

- 1) การเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
- 2) การเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนในระบบ
- 3) การรักษาความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริก



2.8.1 การเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

ในช่วงปี ค.ศ. 1990 นักวิจัยส่วนใหญ่ได้ให้ความสนใจในการศึกษาวิจัยคุณสมบัติสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการผลิตเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้โลหะเรียกว่าโลหะผสมเชิงสอง (Binary Elements) โดยมีเป้าหมายเพื่อที่จะพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้มีค่าที่สูงซึ่งส่งผลต่อปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก แต่ด้วยข้อจำกัดทางคุณสมบัติวัสดุสารกึ่งตัวนำ ทำให้สามารถทำให้ค่าฟิสิกส์ออฟเมอริท (ZT) ได้ประมาณ 1 ในเวลาต่อมา นักวิจัยได้พบว่าคุณสมบัติการนำไฟฟ้านั้นแปรผันตรงกับคุณสมบัติการนำความร้อน หรือวัสดุที่นำไฟฟ้าได้ดีจะสามารถนำความร้อนได้ดีด้วยตามความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์ของนาย Wiedemann-Franz ซึ่งกล่าวว่า วัสดุที่มีอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ภายในจะนำไฟฟ้าและความร้อนไปพร้อมกัน แต่เป้าหมายของนักวิจัยคือความต้องการในการเพิ่มค่า ZT ในวัสดุ โดยเพิ่มการนำไฟฟ้าแต่ลดค่าการนำความร้อน ซึ่งเป็นข้อจำกัด ต่อมา ในปี ค.ศ. 1995 เทคโนโลยีได้มีความก้าวหน้ามากขึ้น จึงได้นำวัสดุที่ผลิตเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นนาโนวัสดุ งานวิจัยขององค์กร NASA-JPL มหาวิทยาลัยมิชิแกน และองค์กรต่างๆ ได้ทำการคิดค้นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกใหม่ขึ้น เช่น วัสดุ thin-film superlattice, วัสดุ skutterudites, วัสดุ quantum well, โลหะผสม PbAgSbTe (LAST) และ พลอย โดยผลึกเมทริกซ์มีโครงสร้างแบบนาโน ผังด้วยปรากฏการณ์ quantum well ซึ่งคุณสมบัติสามารถนำไฟฟ้าได้ดีและนำความร้อนต่ำ ทำให้ค่าฟิสิกส์ออฟเมอริท (ZT) มีค่าสูงขึ้นประมาณ 1.5 - 2 ในบางกรณีค่า ZT มีค่าเกือบถึง 3 หรือ 4 จากปรากฏการณ์ quantum well ทำให้คุณสมบัติของวัสดุเหล่านี้มีค่า ZT สูงขึ้นด้วยเหตุผลหลัก 2 ข้อ คือ

- 1) สัมประสิทธิ์ซีเบคในวัสดุจะมีค่าสูง
- 2) วัสดุนาโนมีโครงสร้างที่มีลักษณะนำไฟฟ้าดีกว่า และมีโครงสร้างการนำความร้อนแยกออกจากกัน ทำให้มีสภาพการนำความร้อนต่ำ [55]

2.8.2 การเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนในระบบ

การเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนจากแหล่งจ่ายความร้อนเข้ามาในระบบ ต้องการให้ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับแหล่งจ่ายความร้อน เพื่อที่จะส่งผ่านส่งฟลักซ์ความร้อนเข้ามายังอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกให้มากที่สุด โดยปกติแล้วเทคโนโลยีในการส่งถ่ายความร้อนนี้จะนำไปประยุกต์ใช้กับแหล่งความร้อนที่มีค่าความแตกต่างอุณหภูมิต่ำได้ ซึ่งมีหลายเทคนิควิธี [23] ดังนี้

- 1) แผ่นรับความร้อนที่ขนาดเล็ก (Microchannel & mini-channel heat-sinks)
- 2) ท่อความร้อนระบบ (Heat pipe systems)
- 3) ระบบการไหลสองเฟส (Two-phase flow systems)
- 4) การรับความร้อนอย่างรวดเร็วหรือระบบสเปร์ความร้อน (Jet impingement or spray heat transfer systems)
- 5) อุปกรณ์ที่มีรูพรุน (Porous media)

ซึ่งเทคนิคดังกล่าวจำเป็นต้องเพิ่มราคาต้นทุนของอุปกรณ์ ซึ่งการนำเทคนิคดังกล่าวไปประยุกต์ใช้นั้น ต้องคำนึงถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้ต่อต้นทุน และควรประยุกต์ใช้กับพลังงานความร้อนทิ้ง



2.8.3 การรักษาความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริก

ปริมาณไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอริท (ZT) ที่มีค่าสูงซึ่งส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มากเท่านั้น การรักษาความแตกต่างอุณหภูมิแตกต่างระหว่างด้านเทอร์โมอิเล็กทริกก็สำคัญเช่นกัน เทคนิคส่วนใหญ่ที่ใช้คือการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยในการระบายความร้อน ซึ่งสามารถแบ่งเทคนิคดังกล่าวได้ [23] ดังนี้

- 1) การใช้ของเหลวในระบบ (Single-phase liquid systems)
- 2) การออกแบบครีปเพื่อเพิ่มพื้นผิวในการระบายความร้อน (Fined and Pin-Fin extended surface)
- 3) เทคนิคช่องทางขนาดเล็ก (Microchannel and mini-channel techniques)
- 4) ระบบท่อความร้อน (Heat pipe systems)

การระบายความร้อนด้านเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากการประยุกต์ใช้กับแหล่งพลังงานความร้อนทั้งในปัจจุบัน นิยมใช้ของเหลว อัตราการไหลต่ำ ในการระบายความร้อน เพราะสามารถลดการนำความร้อนได้ดีกว่าการระบายความร้อนด้วยแก๊ส แต่การระบายความร้อนดังกล่าวต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมสำหรับคุณภาพแหล่งจ่ายความร้อนที่ต่างกัน เพราะการระบายความร้อนเข้ามาในระบบจำเป็นต้องมีราคาต้นทุนที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2.8.4 ประสิทธิภาพเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตสามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นแรงดันไฟฟ้าได้โดยตรง ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้ขึ้นกับค่าอุณหภูมิความแตกต่างระหว่างสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริก และแรงดันไฟฟ้าที่ได้นั้นไม่ได้ขึ้นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับวัสดุที่นำมาผลิตเทอร์โมอิเล็กทริกด้วย โดยค่าที่บ่งชี้คุณสมบัติวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก เรียกว่า ค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอริท (ZT) ซึ่งประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถเขียนความสัมพันธ์ [54] เป็นสมการ 2.2 ได้ดังนี้

$$\eta_{\max} = \left[\frac{T_h - T_c}{T_h} \right] \cdot \left[\frac{\left(1 + Z^* \bar{T}\right)^{0.5} - 1}{\left(1 + Z^* \bar{T}\right)^{0.5} + 1} \right] \quad (2.2)$$

เมื่อ Z^* คือ ค่า Z ที่ดีที่สุดของคู่สารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น (V/K)

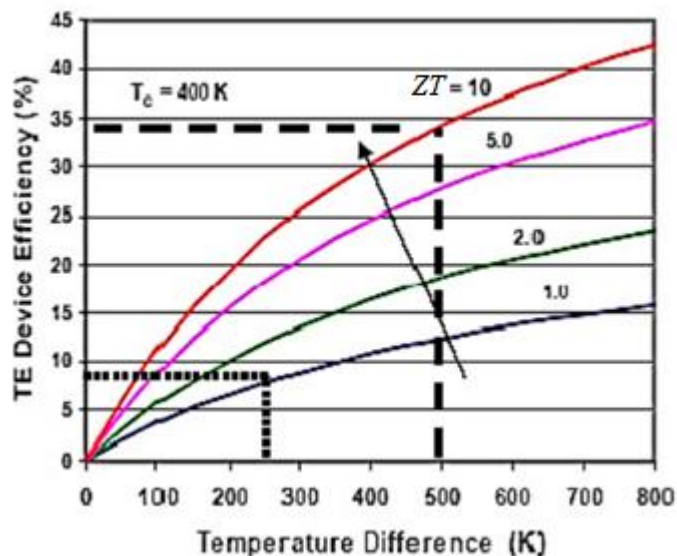
T_h คือ ค่าอุณหภูมิด้านร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

T_c คือ ค่าอุณหภูมิด้านเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

\bar{T} คือ ค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น (K)

จากสมการข้างต้นแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิด้านร้อนค่าอุณหภูมิด้านเย็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ย และค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอริท (ZT) ซึ่งค่านี้สามารถพิจารณาได้จากภาพประกอบ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพและค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างทั้งสองด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก





ภาพประกอบ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพและค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริก [54]

2.9 การถ่ายเทความร้อนสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก

การถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีความสำคัญต่อการผลิตแรงดันไฟฟ้า โดยปัจจัยที่สำคัญซึ่งส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อม ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน ซึ่งการศึกษาและทดสอบถ่ายเทความร้อนของนาย Melcor Corporation แบ่งการระบายความร้อนสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกออกได้ 3 แบบ [40] ดังนี้

- 1) การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศโดยการพาความร้อนด้วยครีบบังคับ (Finned forced air) มีอุณหภูมิแวดล้อมต่ำกว่าอุณหภูมิด้านร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก 10-15 °C
- 2) การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free convection air) มีค่าอุณหภูมิแวดล้อมต่ำกว่าค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ประมาณ 15-20 °C
- 3) การถ่ายเทความร้อนด้วยของเหลว (Liquid exchangers) ซึ่งค่าอุณหภูมิของเหลวจะต่ำกว่าค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกประมาณ 2-5 °C

2.10 แหล่งพลังงานความร้อนทิ้งสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก

พลังงานความร้อนที่ใช้ในชีวิตประจำวันและงานด้านอุตสาหกรรม เช่น การสันดาปของเครื่องยนต์ การใช้ความร้อนแปรรูปโลหะ การผลิตไฟฟ้าจากเครื่องจักรไอน้ำ เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล เชื้อเพลิงฟอสซิล และ ไบโอดีเซล เป็นต้น ซึ่งพบว่าการนำความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนทิ้งดังกล่าวไปใช้นั้น มีเพียงร้อยละ 30-40 เท่านั้น ในส่วนความร้อนที่เหลือต้องถูกทิ้งไปกับระบบระบายความร้อนคิดเป็นร้อยละ 60-70 เนื่องจากข้อจำกัด



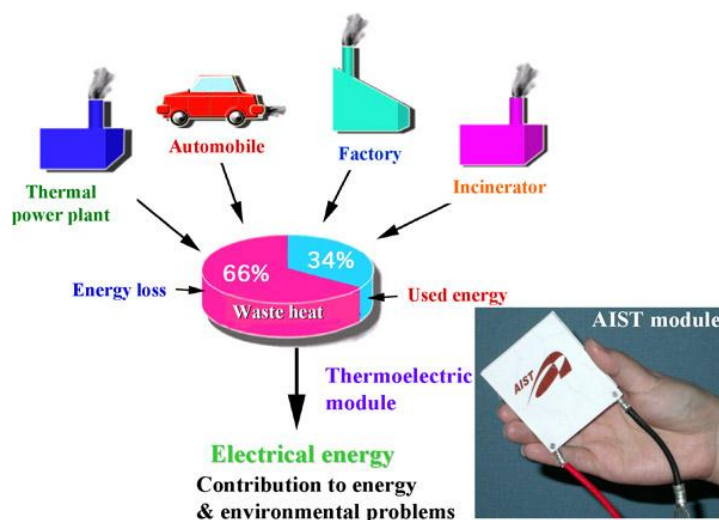
ของประสิทธิภาพคาร์โนต์ที่ว่า ระบบใดที่ผ่านกระบวนการดูดความร้อนจากแหล่งกักเก็บอุณหภูมิหนึ่ง ไม่สามารถแปลงความร้อนทั้งหมดไปเป็นพลังงานกลได้ [7] แสดงความสัมพันธ์ดังสมการ 2.3

$$\eta_c = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{T_{hot}} \quad (2.3)$$

เมื่อ η_c คือ ประสิทธิภาพคาร์โนต์

T_{hot} คือ อุณหภูมิสัมพัทธ์ของแหล่งกำเนิดความร้อน

T_{cold} คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์การถ่ายเทความร้อน



ภาพประกอบ 2.9 แหล่งความร้อนทั้งหลายที่สามารถนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้ได้ [56]

คุณภาพความร้อนจากแหล่งความร้อนทั้งในอุตสาหกรรม

ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนทั้งแบ่งตามคุณภาพความร้อน 3 ระดับ คือ อุณหภูมิสูง หมายถึงช่วงอุณหภูมิความร้อนที่มากกว่า 650 °C อุณหภูมิปานกลางหมายถึงอุณหภูมิความร้อนในช่วง 230-650 °C อุณหภูมิต่ำหมายถึงอุณหภูมิความร้อนต่ำกว่า 230 °C [57] แสดงในตารางต่อไปนี้

แหล่งความร้อนทิ้ง	อุณหภูมิ (°C)
Nickel Refining Furnace	1,371-1,649
Aluminum Refining Furnace	649-760
Zinc Refining Furnace	760-1,093
Copper Refining Furnace	760-816
Steel Heating Furnace	927-1,038
Glass Melting Furnace	982-1,538
Solid Waste Incinerators	649-982

ภาพประกอบ 2.10 แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิสูง [57]

แหล่งความร้อนทิ้ง	อุณหภูมิ (°C)
Steam Boiler Exhausts	232-482
Gas Turbine Exhausts	371-538
Reciprocating Engine Exhausts	316-593
Heat Treating Furnace	427-649
Drying and Baking Ovens	232-593

ภาพประกอบ 2.11 แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิปานกลาง [57]

แหล่งความร้อนทิ้ง	อุณหภูมิ (°C)
Process Steam Condensate	54-88
Cooling Water from:	
Furnace Doors	32-54
Bearings	32-88
Welding Machines	32-88
Injection Molding Machines	32-88
Air Compressor	27-49
Internal Combustion Engine	66-121
Condenser of Air Conditioner and Refrigerator	32-43

ภาพประกอบ 2.12 แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ [57]



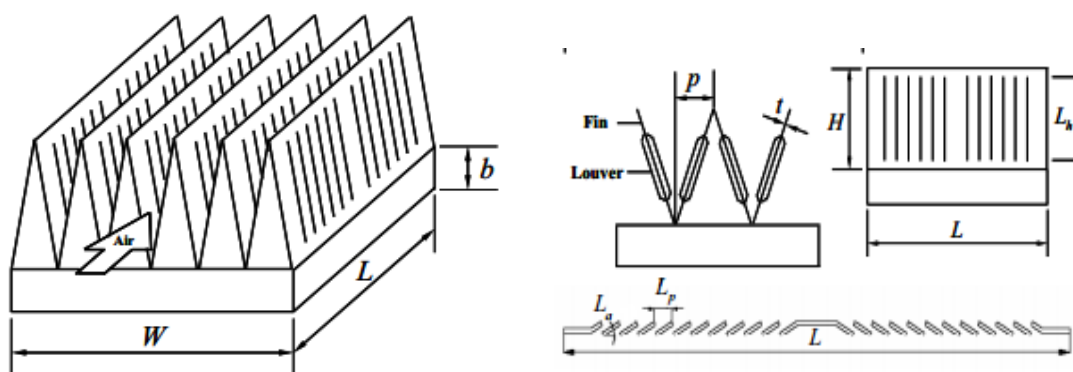
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Shuzo Kagawa [58] ได้ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 60 โมดูลใช้กับแหล่งความร้อนเกรดต่ำจากเตาเผาขยะ โดยใช้น้ำมันในการให้ความร้อนด้านร้อนและใช้น้ำในการระบายความร้อนด้านเย็น พบว่าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 535 วัตต์ โดยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นเท่ากับ 261 และ 34 °C ตามลำดับ ทำการทดสอบทั้งหมด 22 ครั้งเป็นระยะเวลา 115 ชั่วโมง พบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกไม่มีการสึกกร่อนและคุณสมบัติที่ลดลงของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งการแปลงพลังงานความร้อนเป็นกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกคิดเป็นร้อยละ 2.8

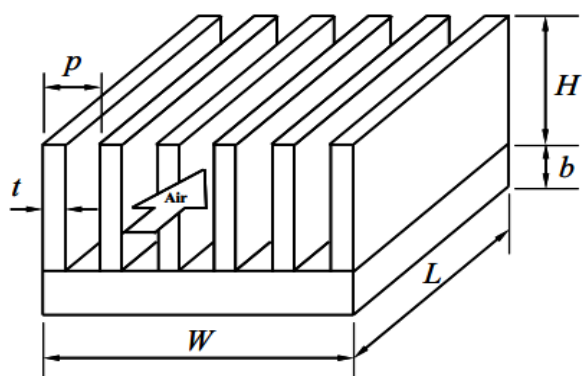
งานวิจัยของ ณัฐพงษ์ แกมทับทิม [59] ได้ศึกษาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทำน้ำร้อนและผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 360 แผ่น โดยออกแบบขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 2.2 x 1.2 ตารางเมตร จำนวน 2 แผง ซึ่งสามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิ 40-62 °C พบว่าสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 22.8-33.3 โวลต์ กระแส 9.5-13.9 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้า 242.9 – 461 วัตต์

งานวิจัยของ ไพบุลย์ โกวิทเจริญกุล [60] ได้นำเสนอการประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 12.5 วัตต์ จำนวน 4 โมดูล กับแหล่งพลังงานความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำ โดยจำลองแหล่งความร้อนเหลือทิ้งจากไอน้ำเดือด พบว่าอุณหภูมิแหล่งจ่ายที่ 96 °C และอุณหภูมิด้านเย็นที่ประมาณ 24-25°C สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 250 โวลต์ ผลิตกระแสได้ 1.2 แอมแปร์ ซึ่งแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ได้เป็นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดแบบตัวต้านทานได้มากกว่า 50 วัตต์ ประสิทธิภาพในการแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าเปรียบเทียบกับต้นทุนเป็น 2,500 บาทต่อวัตต์

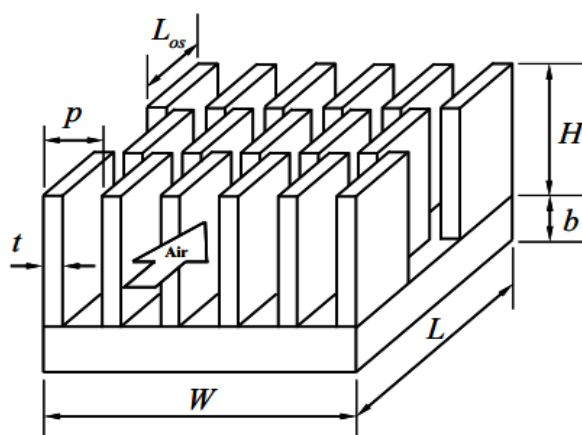
งานวิจัยของ Hun Sik Han [25] ได้มีการใช้แผ่นระบายความร้อนสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แบบ เพื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการระบายความร้อน (COP) ได้แก่ แบบ Louver fin แบบ Plate fin แบบ Offset strip fin ซึ่งพบว่า แผ่นระบายความร้อนแบบ Plate fin และ Offset strip ให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ที่ดีกว่าแบบ Louver fin คิดเป็น 24.4% และ 27.7% ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2.13 แผ่นระบายความร้อนแบบ Louver fin [25]



ภาพประกอบ 2.14 แผ่นระบายความร้อนแบบ Plate fin [25]



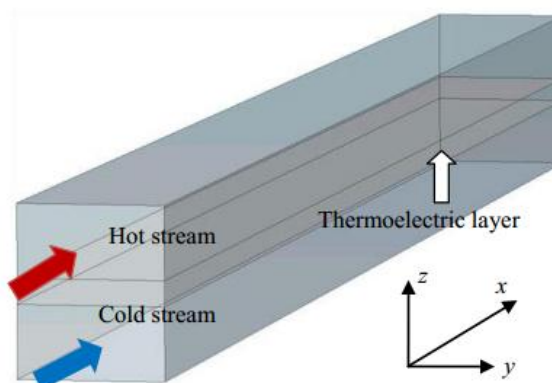
ภาพประกอบ 2.15 แผ่นระบายความร้อนแบบ Offset strip fin [25]

Heat sink	I [A]	P_e [W]	Q_c [W]	T_c [°C]	T_{out} [°C]	COP
Louver fin ($L_h = 39.0\text{ mm}$)	4.15	49.79	15.17	2.08	12.70	0.305
Offset strip fin ($L_{out} = 59.55\text{ mm}$)	4.27	51.21	19.77	7.04	14.89	0.386
Plate fin	4.26	51.09	19.37	6.61	13.29	0.379

ภาพประกอบ 2.16 ตารางเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบายความร้อนของแผ่นระบายความร้อนแบบ Louver fin, แบบ Plate fin และ แบบ Offset strip fin [25]



งานวิจัยของ Siyi Zhou [26] ได้นำเสนอการออกแบบความกว้างและยาวของชั้นระบายความร้อนของอุปกรณ์ระบายความร้อนทั้งหมด 6 แบบ ที่พื้นที่หน้าตัดและอัตราความเร็วของไหลที่ต่างกัน พบว่า พื้นที่หน้าตัดที่ทำให้สามารถระบายความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ดีคือขนาด 4.2 ตารางมิลลิเมตร โดยใช้ร่วมกับของเหลวที่มีอัตราเร็ว 1.632 เมตรต่อวินาที



ภาพประกอบ 2.17 แบบจำลองท่อระบายความร้อน [26]

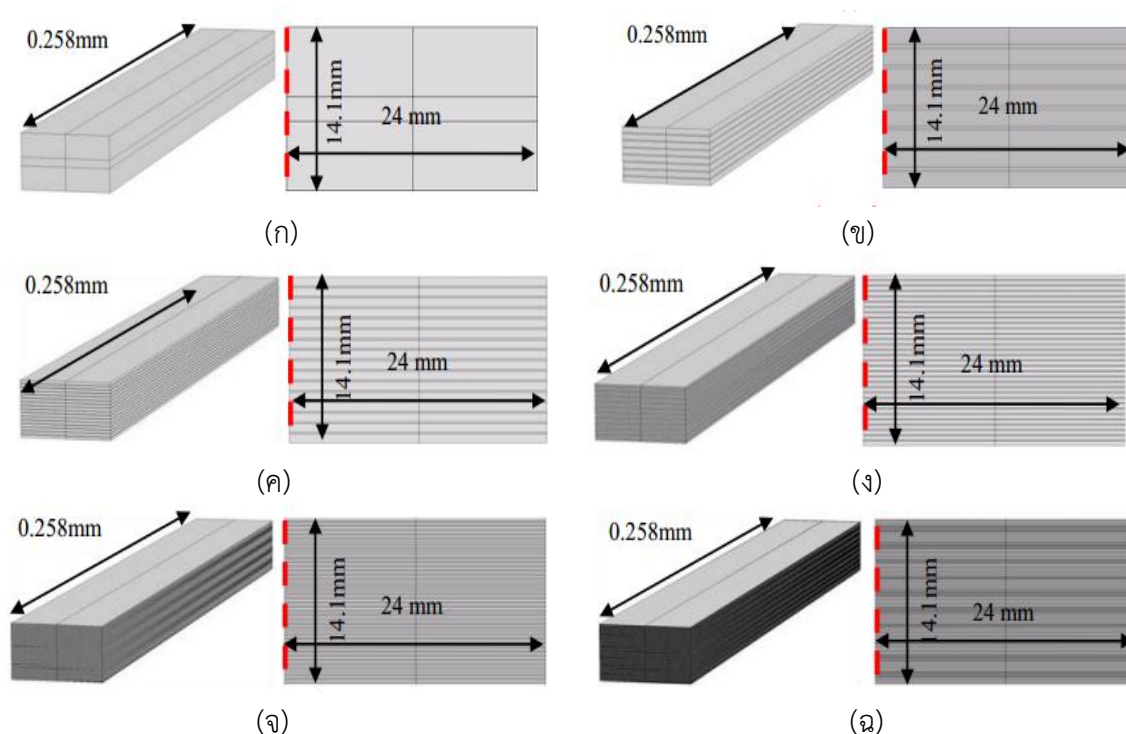
Thermoelectric Material		
Seebeck coefficient	δ	2.2×10^{-4} V/K
Thermal conductivity	k_{TE}	1.5 W/(K m)
Electric conductivity	σ	1.0×10^5 S/m

ภาพประกอบ 2.18 แสดงสัมประสิทธิ์ซีเบค ค่าการนำความร้อน และค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก [26]

Case	$A_c(\text{mm}^2)$	$u_{\text{avg}}(\text{m/s})$	Re	$W'(W)$
1	72	2.414	54323	65
2	18	2.23	16727	112
3	9	1.898	7537	165
4	4.2	1.632	3338	260
5	2.25	0.493	512	200
6	1.125	0.313	163	102

ภาพประกอบ 2.19 ตารางแสดงสมรรถภาพในการระบายความร้อนที่พื้นที่หน้าตัดแตกต่างกัน [26]



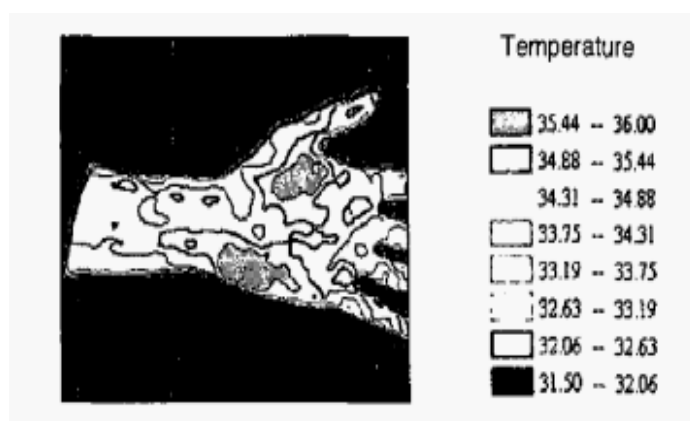


ภาพประกอบ 2.20 ท่อระบายความร้อนที่พื้นที่หน้าตัดแตกต่างกัน [26]

งานวิจัยของ กิตติพันธ์ บุญอินทร์ [61] ได้นำเสนอการระบายความร้อนของเครื่องปลุกผลึกเชิงเดี่ยวของวัสดุแบบบริดจ์แมนโดยใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 โมดูล (รุ่น HB Comporation model TEC1-12706) และทำการทดสอบหาอัตราการบริโภคไฟฟ้าระหว่างการต่อแบบอนุกรมและขนานเข้ากับแหล่งจ่าย พบว่าการต่ออนุกรมเข้ากับแหล่งจ่ายใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการต่อแบบขนาน และความสามารถในการระบายความร้อนออกจากท่อปลุกผลึกขณะใช้งานภายใต้อุณหภูมิ 1,000 °C สามารถระบายความร้อนได้สูงกว่าร้อยละ 8.33 เมื่อเทียบกับระบบระบายความร้อนแบบอัดไอ ค่าสมรรถนะการทำความเย็นสูงสุดเท่ากับ 1.49 และมีอัตราการบริโภคพลังงานต่ำกว่าร้อยละ 197.53

งานวิจัยของ Kai Kai Ding [62] ได้ศึกษาหาความยาวครีบริบที่เหมาะสมในการระบายความร้อนสำหรับคอมไฟถนนหลอดแอลอีดี 196 วัตต์ เนื่องจากคอมไฟถนนหลอดแอลอีดีไม่สามารถแปลงกำลังไฟฟ้าเป็นแสงสว่างได้ทั้งหมด กำลังไฟฟ้าส่วนหนึ่งทำให้เกิดความร้อนซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของหลอดแอลอีดี ซึ่งจำนวนครีบริบที่ใช้ในการวิจัยนี้มีความยาว 3 ระดับ คือ ความยาว 1/7 2/7 และ 3/7 ของความยาวแผ่นครีบริบ พบว่าที่ความยาว 3/7 ของแผ่นครีบริบสามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุด โดยอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อนจะสูงขึ้นถึง 16 องศาเซลเซียสซึ่งมากกว่าความยาวระดับอื่น และน้ำหนักของแผ่นครีบริบที่ลดลงร้อยละ 50 พบว่าอุณหภูมิที่แผ่นครีบริบจะสูงขึ้นกว่าเดิม 42 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนดีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

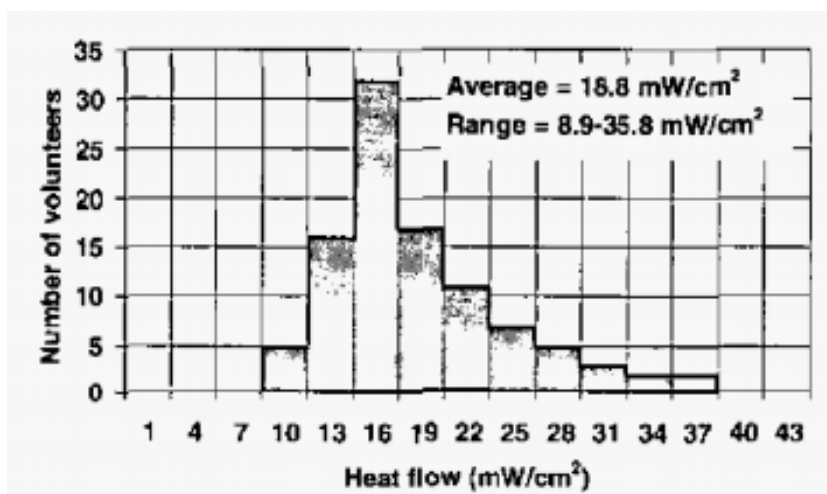
งานวิจัยของ Leonov [63] ได้ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับนาฬิกาโดยอาศัยความร้อนจากร่างกายมนุษย์ โดยทดลองกับอาสาสมัครทั้งหมดจำนวน 158 คน โดยพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีอุณหภูมิในช่วง 31.50 – 36 °C พบว่าการติดตั้งที่บริเวณข้อมือสามารถส่งผ่านความร้อนได้ประมาณ 8.9-35.8 ไมโครวัตต์ต่อตร.ซม ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 1.8-8 โวลต์และกำลังไฟฟ้าประมาณ 4-30 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกคือสารกึ่งตัวนำบิสมัทเทอร์โลด์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ซึ่งเหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับแหล่งความร้อนเกรดต่ำ



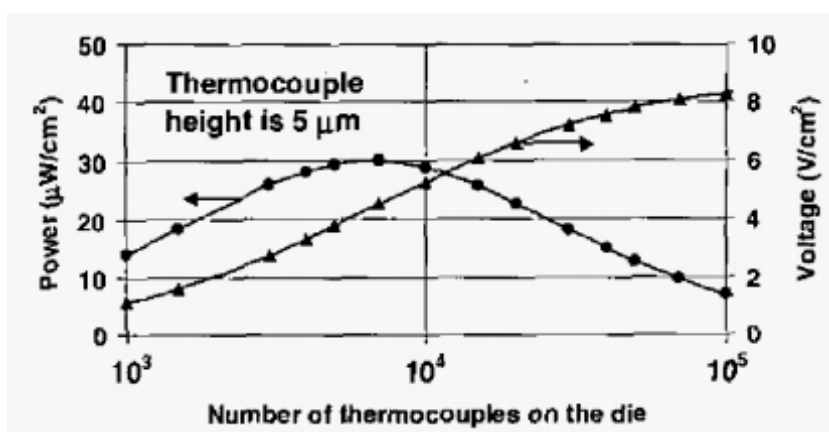
ภาพประกอบ 2.21 ภาพอินฟราเรดแสดงอุณหภูมิบนมือ [63]



ภาพประกอบ 2.22 การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกบริเวณข้อมือ [63]



ภาพประกอบ 2.23 ความร้อนที่บริเวณข้อมืออาสาสมัคร ณ อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ย 22.3 และ 30.0 °C [63]



ภาพประกอบ 2.24 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกที่จำนวนเทอร์โมคัปเปิลแตกต่างกัน [63]

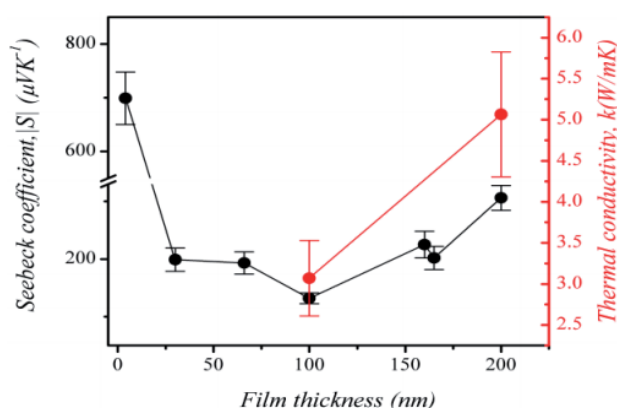
งานวิจัยของ Velimir [64] ได้มีการใช้เทคโนโลยีควอนตัมเวล (Quantum wells) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าของวัสดุให้สูงขึ้น และคุณสมบัติการนำความร้อนที่ลดลงด้วยความหนา 10 นาโนเมตร ทดลองกับวัสดุสารกึ่งตัวนำซิลิกอน และฟิล์มซิลิกอนเจอร์มันเนียม พบว่าการทดลองด้วยสารทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิห้อง ค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอริท (ZT) ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นมากกว่า 3 เท่า ซึ่งปกติแล้วคุณสมบัติวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกดังกล่าวมีค่าน้อยประมาณ 1 ทำให้ประสิทธิภาพในการแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 20 และใช้กับช่วงอุณหภูมิความร้อนสูงเกือบ 1,000 °C

งานวิจัยของ Rafiee [65] ได้ศึกษาการนำความร้อนทั้งจากอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ หลังจากไอน้ำใช้ในการปั่นกังหันเพื่อผลิตไฟฟ้า พบว่ายังมีพลังงานความร้อนคิดเป็นร้อยละ 40 ที่ถูกปล่อยทิ้ง งานวิจัยนี้จึงได้เทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ ซึ่งวัสดุสารกึ่งตัวนำของ



เทอร์โมอิเล็กทริก คือบิสมัทเทอร์ไลต์แบบนาโนไวร์ (Bi_2Te_3 nanowires) จากผลการทดลองพบว่า การเลือกใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิความร้อนและการใช้เทคโนโลยีแบบนาโนไวร์ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 3.3 และ 8.31 ตามลำดับ

งานวิจัยของ Bhansali [66] ได้มีใช้เทคโนโลยีฟิล์มบาง SrTiO_3 และศึกษาความหนาที่เหมาะสมต่อสัมประสิทธิ์ซีเบคและค่าความนำความร้อนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าความหนาของฟิล์ม SrTiO_3 ที่เหมาะสมเท่ากับ 100 นาโนเมตร ได้ค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอร์ริท (ZT) ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.62 และค่าการนำความร้อนประมาณ 3 วัตต์ต่อมิลลิเคลวิน ที่อุณหภูมิ 300 K

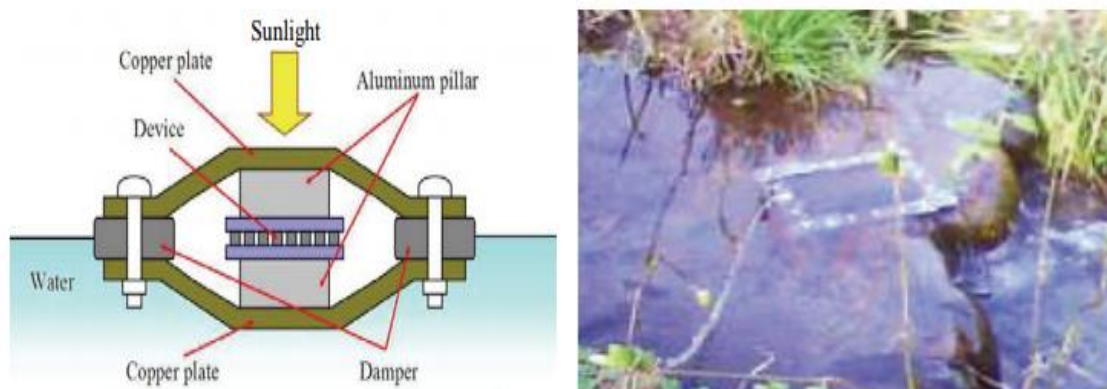


ภาพประกอบ 2.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์ม SrTiO_3 กับสัมประสิทธิ์ซีเบค และการนำความร้อน ที่อุณหภูมิ 300 K [66]

งานวิจัยของ Tetsuya [67] ได้ทำการศึกษากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ที่หลายค่าความแตกต่างอุณหภูมิทั้งสอง โดยจำลองแหล่งความร้อนด้วยเตารีด และระบายความร้อนด้านเย็นด้วยน้ำแข็ง และออกแบบชุดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และระบายความร้อนด้วยน้ำในแม่น้ำ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้แสดงในภาพประกอบ 2.28



ภาพประกอบ 2.26 แบบจำลองผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก [67]



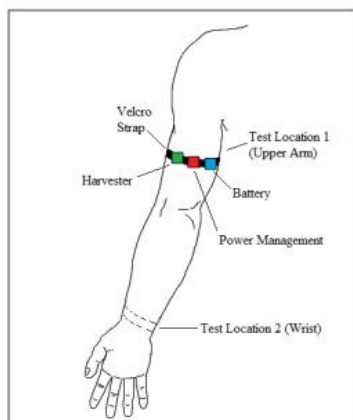
ภาพประกอบ 2.27 ออกแบบอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกและระบายความร้อนด้วยลำธาร [67]

Voltage [mV]	Temperature [°C]	Seebeck coefficient [V/K]
466.3	67.9	0.007
430.6	67.9	0.006
578.4	66.9	0.009
345.6	51.6	0.007
265.1	34.8	0.008

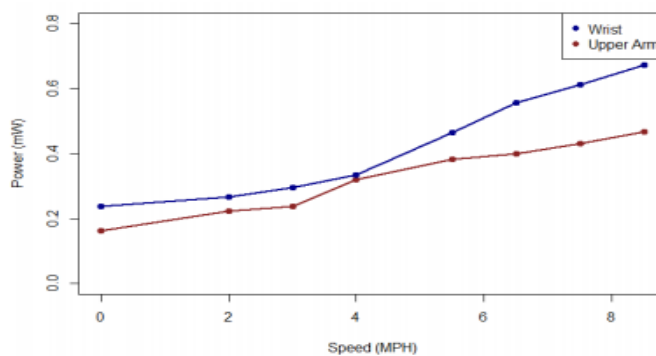
ภาพประกอบ 2.28 ตารางแสดงแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิและค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคต่างๆ [67]

งานวิจัยของ Thaddaeus [31] ได้ทำการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกกับอุณหภูมิร่างกายของมนุษย์ในแต่ละอวัยวะ ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การนั่ง โดยเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกบนร่างกายที่บริเวณข้อมือ และแขนท่อนบน พบว่ากาทิตเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเท่ากับ 13.1 มิลลิวัตต์ ขณะวิ่งกลางแจ้งโดยติดเทอร์โมอิเล็กทริกไว้บริเวณข้อมือ และการติดเทอร์โมอิเล็กทริกไว้บริเวณข้อมือสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าการติดเทอร์โมอิเล็กทริกไว้บริเวณแขนท่อนบนทุกกรณีในการทดลอง





ภาพประกอบ 2.29 แสดงการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกบริเวณข้อมือและแขนท่อนบน [31]



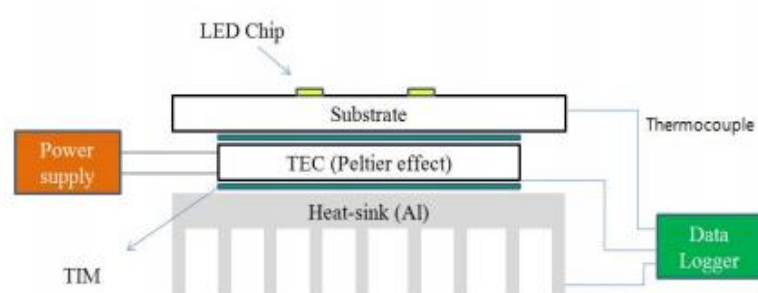
ภาพประกอบ 2.30 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกที่ความเร็วในการวิ่งและบริเวณติดบนร่างกายที่แตกต่างกัน [31]

Thermoelectric Energy Harvesting on the Body	Upper Arm		Wrist	
	Power (mW)	ΔT ($^{\circ}C$)	Power (mW)	ΔT ($^{\circ}C$)
Indoor				
Sitting	0.164	5.6	0.238	5.9
Walking 2.0 mph	0.224	7.2	0.267	7.4
Walking 3.0 mph	0.238	7.3	0.296	7.6
Walking 4.0 mph	0.319	7.4	0.335	7.7
Running 5.5 mph	0.382	7.8	0.465	8
Running 6.5 mph	0.4	8	0.558	8.1
Running 7.5 mph	0.431	8.2	0.612	8.4
Running 8.5 mph	0.468	8.3	0.673	8.7
Outdoor				
Sitting	0.743	9.1	0.928	9.7
Walking	0.602	10	1.03	10.4
Running	0.811	12.9	1.65	13.1

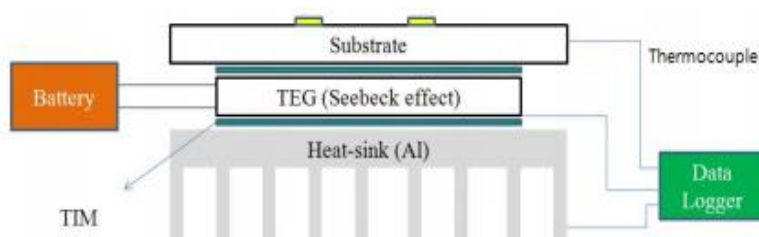
ภาพประกอบ 2.31 ตารางเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ที่บริเวณการติดบนร่างกาย อิริยาบถ และสถานที่ ที่แตกต่างกัน [31]



งานวิจัยของ Jin-Sung Park [68] ได้เปรียบเทียบวิธีในการระบายความร้อนของหลอดไฟแอลอีดี 3 วัตต์ทั้งหมด 5 วิธี ซึ่งแสดงในภาพประกอบ 2.35 พบว่าการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าร่วมกับแผ่นระบายความร้อน(Case5) มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนดีกว่าการใช้แผ่นระบายความร้อนอย่างเดียว(Case2) ร้อยละ 9 แต่ต่ำกว่าการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกทำความเย็น 0.4 วัตต์ร่วมกับแผ่นระบายความร้อน (Case4) ร้อยละ 4 อย่างไรก็ตามการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกทำความเย็น 0.4 วัตต์ร่วมกับแผ่นระบายความร้อน (Case4) จำเป็นต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ 0.4 วัตต์ซึ่งแตกต่างจากการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้ากับแผ่นระบายความร้อน (Case5) ที่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าได้ 0.075 โวลต์ และ 0.0035 มิลลิวัตต์



ภาพประกอบ 2.32 ติดตั้งแผ่นระบายความร้อนร่วมกับแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก [68]



ภาพประกอบ 2.33 ติดตั้งแผ่นระบายความร้อนร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า [68]

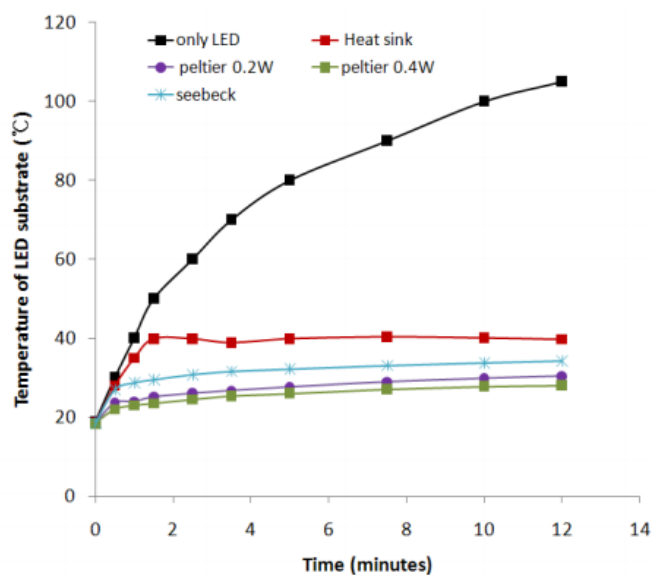
Materials	Conductivity
Heat-sink	210 W/m·k
Substrate	200 W/m·k
Peltier element	1.5 W/m·k
Seebeck element	0.2 W/m·k
TIM	5 W/m·k
LED Chip	130 W/m·k

ภาพประกอบ 2.34 ตารางแสดงค่าความนำความร้อนของวัสดุในระบบ [68]

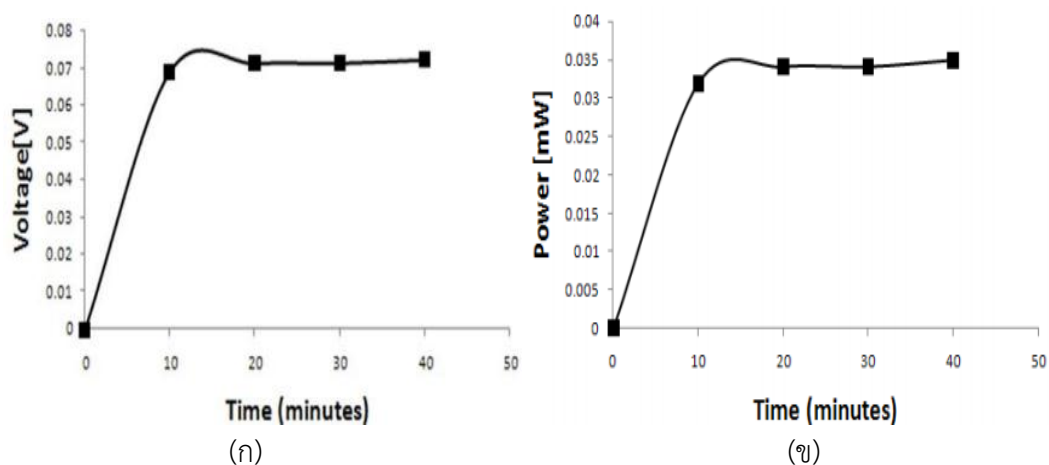


Case	Context
Case 1	only LED
Case 2	LED + Heat sink
Case 3	LED + Heat sink + Peltier element (Input 0.2W)
Case 4	LED + Heat sink + Peltier element (input 0.4W)
Case 5	LED + Heat sink + Seebeck element

ภาพประกอบ 2.35 ตารางแสดงการระบายความร้อนสำหรับหลอดแอลอีดีทั้ง 5 แบบ [68]



ภาพประกอบ 2.36 กราฟแสดงอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีเทียบกับเวลาจากการระบายความร้อน 5 วิธี [68]



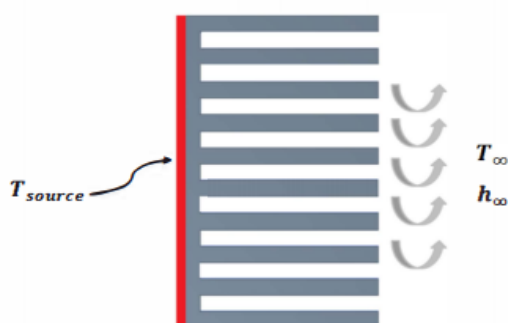
ภาพประกอบ 2.37 แสดงกราฟ (ก)แรงดันไฟฟ้าและ (ข)กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าร่วมกับแผ่นระบายความร้อน [68]



งานวิจัยของ Abdelhadi Bouknadel [27] ได้นำเสนอวัสดุที่ใช้ทำแผ่นระบายความร้อน 3 ชนิด ได้แก่ แกร์ไฟต์ ทองแดง และ อะลูมิเนียม ตามลำดับ โดยทดสอบกับแผ่นระบายความร้อนที่แตกต่างกัน 4 แบบ พบว่าแผ่นวัสดุแผ่นระบายความร้อนแกร์ไฟต์สามารถลดค่าความต้านทานความร้อนและระบายความร้อนได้ดีที่สุด

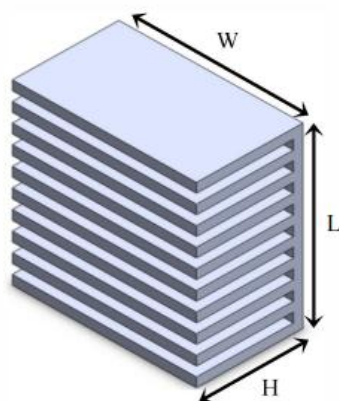
Materials	Parameter properties		
	Thermal Conductivity $W/(m \cdot K)$	Density Kg/m^3	Specific heat $J/(Kg \cdot K)$
Aluminum	236	2710	386
Copper	398	8930	902
Graphite	1500	700 ~ 2100	1400 ~ 1600
	50 ~ 60		

ภาพประกอบ 2.38 แสดงคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดของแผ่นระบายความร้อน [27]



ภาพประกอบ 2.39 แสดงลักษณะในการระบายความร้อน [27]

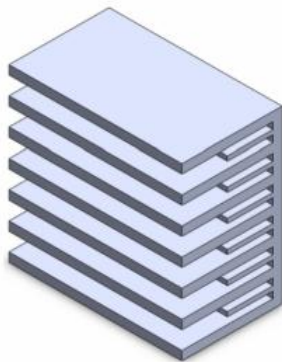
Fin Length	Sink Width	Fin Height	Fin thickness	Fin spacing	Fin Number
L/mm	W/mm	H_f /mm	t/mm	b/mm	N
38	38	20	2	2	10



ภาพประกอบ 2.40 แสดงคุณลักษณะของแผ่นระบายความร้อนแบบที่ 1 [27]

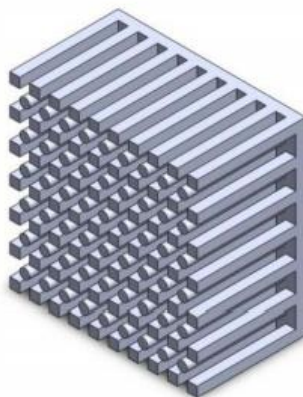


<i>Fin Length</i>	<i>Sink Width</i>	<i>Fin Height1</i>	<i>Fin Height2</i>	<i>Fin Spacing</i>	<i>Fin Number</i>
L/mm	W/mm	H_{f1} /mm	H_{f2} /mm	b/mm	N
38	38	20	10	2	13



ภาพประกอบ 2.41 แสดงคุณลักษณะของแผ่นระบายความร้อนแบบที่ 2 [27]

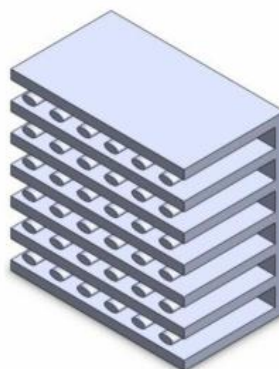
<i>Fin Length</i>	<i>Sink Width</i>	<i>Height of square fin</i>	<i>Height of circular fin</i>	<i>Radius of circular fin</i>	<i>Section of square fin</i>
L/mm	W/mm	H_{sf} /mm	H_{cf} /mm	r_{cf} /mm	S/mm
38	38	20	20	4	2



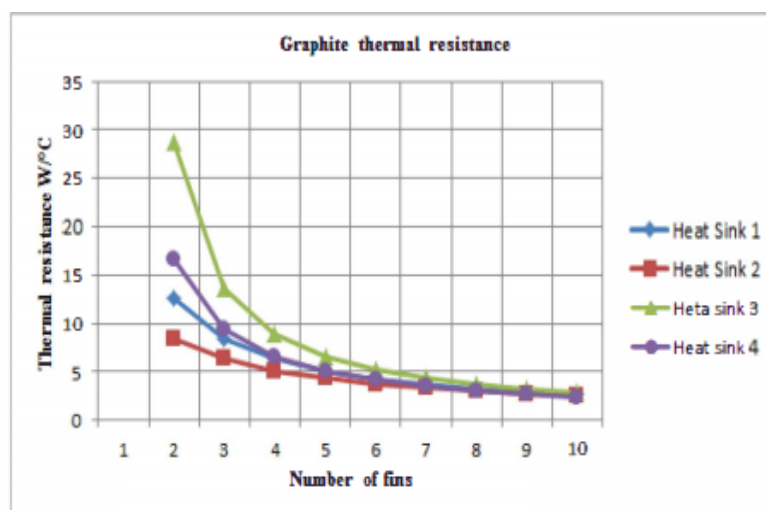
ภาพประกอบ 2.42 แสดงคุณลักษณะของแผ่นระบายความร้อนแบบที่ 3 [27]



<i>Fin Length</i>	<i>Sink Width</i>	<i>Elliptical fin Height</i>	<i>Rectangular fin Height</i>	<i>Major Axis</i>	<i>Minor Axis</i>
L/mm	W/mm	H_{ef} /mm	H_{rf} /mm	c/mm	a/mm
38	38	20	20	3	1.5

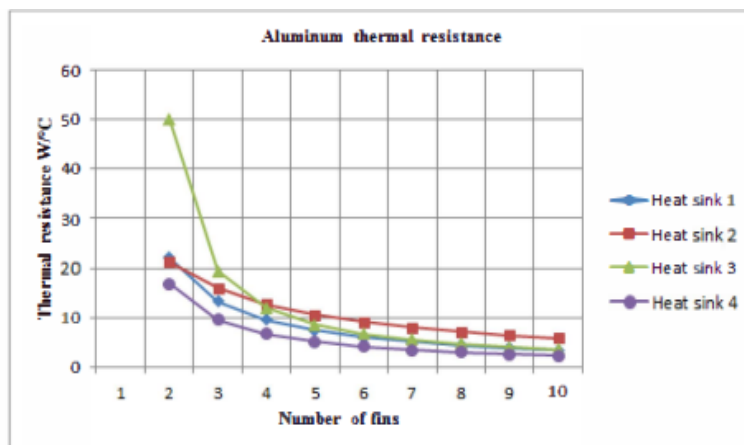


ภาพประกอบ 2.43 แสดงคุณลักษณะของแผ่นระบายความร้อนแบบที่ 4 [27]

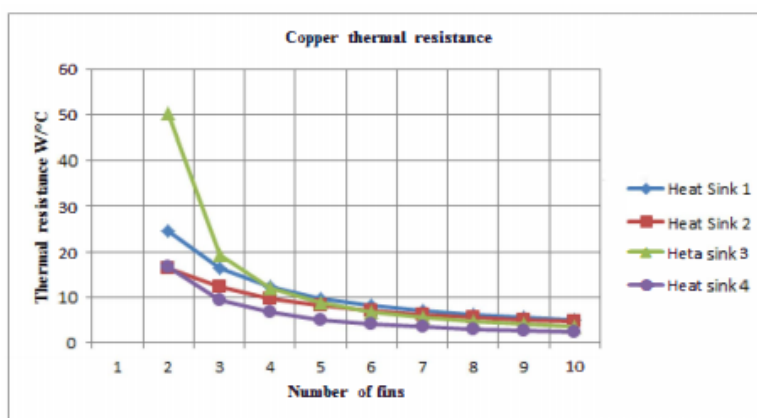


ภาพประกอบ 2.44 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อนที่จำนวนครีบอกแตกต่างกันของแผ่นระบายความร้อนที่ทำจากแกรไฟต์ [27]





ภาพประกอบ 2.45 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อนที่จำนวนครีบแตกต่างกันของแผ่นระบายความร้อนที่ทำจากอะลูมิเนียม [27]



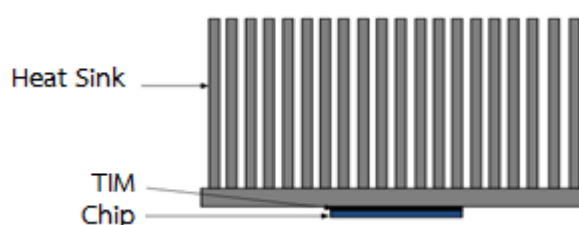
ภาพประกอบ 2.46 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อนที่จำนวนครีบแตกต่างกันของแผ่นระบายความร้อนที่ทำจากทองแดง [27]

Materials	Temperature of heat sinks models (°C)				
	Temperature	Heat sink 1	Heat sink 2	Heat sink 3	Heat sink 4
Aluminum	T _{max}	60	60	60	60
	T _{min}	25.52	25.51	25.13	25.12
Copper	T _{max}	60	60	60	60
	T _{min}	26.62	26.61	25.56	25.53
Graphite	T _{max}	60	60	60	60
	T _{min}	32.71	32.39	30.39	30.32

ภาพประกอบ 2.47 ตารางแสดงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดของวัสดุที่แผ่นระบายความร้อนที่แตกต่างกัน [27]



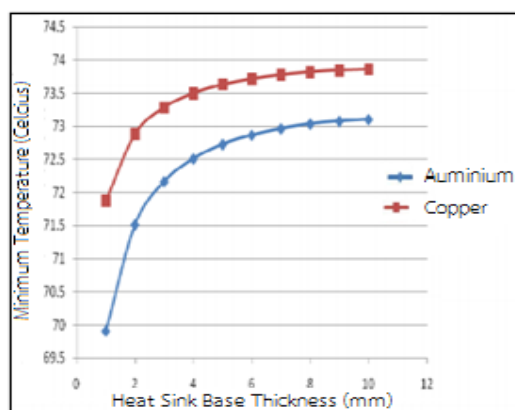
งานวิจัยของ Mathias Ekpu [28] ได้ศึกษาความหนาของแผ่นระบายความร้อนโดยเปรียบเทียบจากวัสดุที่ใช้ในการทำแผ่นระบายความร้อนทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม ทองแดง และซิลิกอน โดยทดสอบที่อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด พบว่าความบาง และความสูงของครีระบายความร้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการระบายความร้อนดีขึ้นตามไปด้วย



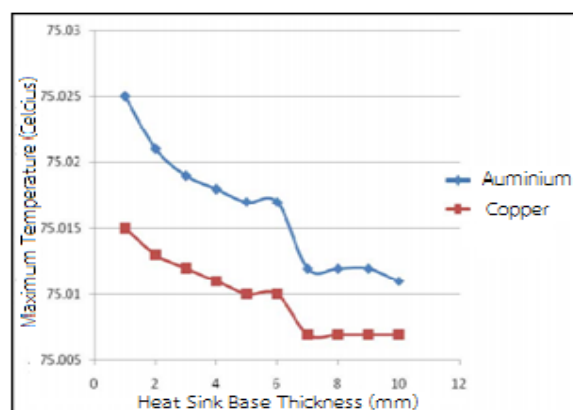
ภาพประกอบ 2.48 แบบจำลองในการศึกษาผลกระทบจากความสูง และหนาของครีระบายความร้อน [28]

Material	Thermal Conductivity (W/mK)
Aluminium	237.5
Copper	400.0
Silicon	148.0
Thermal Interface Material	10.0

ภาพประกอบ 2.49 ตารางแสดงวัสดุของแผ่นระบายความร้อนในการศึกษาผลกระทบจากความสูง และหนาของครีระบายความร้อน [28]



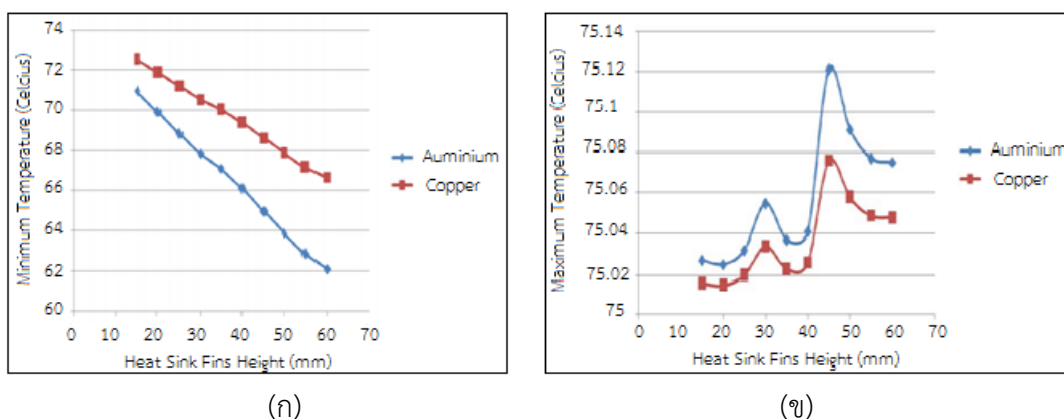
(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 2.50 กราฟแสดงอุณหภูมิครีระบายความร้อนที่ความหนาแตกต่างกัน (ก)อุณหภูมิต่ำสุด (ข)อุณหภูมิสูงสุด [28]





ภาพประกอบ 2.51 กราฟแสดงอุณหภูมิครีบบระบายความร้อนที่ความสูงแตกต่างกัน
(ก)อุณหภูมิต่ำสุด (ข)อุณหภูมิสูงสุด [28]

งานวิจัยของ Retnasamy. [29] ได้พบปัญหาของหลอดแอลอีดีที่ไม่สามารถแปลงกำลังไฟฟ้าทั้งหมดเป็นแสงสว่างซึ่งมีพลังงานบางส่วนเป็นความร้อนสูญเสียซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของแสงและอายุการใช้งานของแอลอีดี จึงได้ทำการศึกษาหาจำนวนของครีบบระบายความร้อนสำหรับหลอดแอลอีดีที่เหมาะสม โดยผ่านระบายความร้อนที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนครีบบแตกต่างกันทั้งหมด 5 แบบ ได้แก่ แบบ 4 ครีบบ 6 ครีบบ 8 ครีบบ 10 ครีบบ และ 12 ครีบบ ตามลำดับ และทดสอบกับแผ่นระบายความร้อนที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกัน แสดงในภาพประกอบ 2.25 พบว่าจำนวนครีบบที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้สมรรถภาพในการระบายความร้อนเพิ่มตามไปด้วย

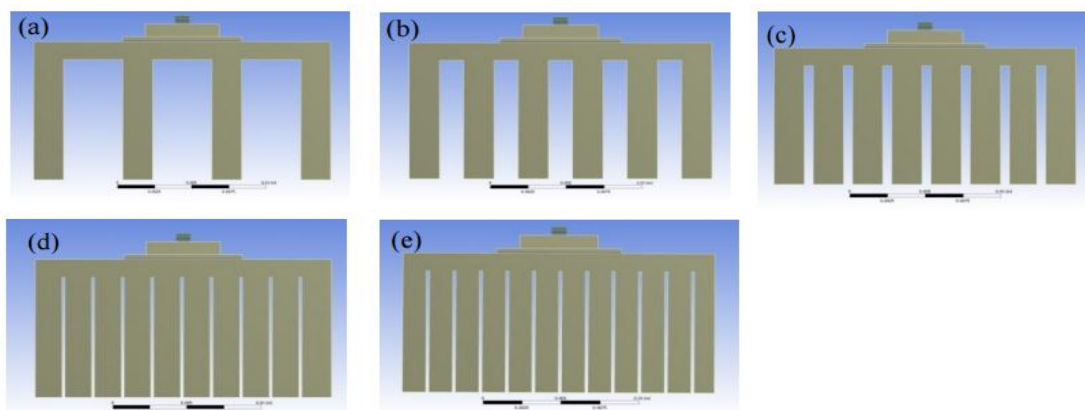
Material	Thermal conductivity k (W/m°C)
GaN	130
Sapphire	42
Au-20Sn (Die Attach)	57
Copper (Heat slug)	401
MCPCB	201
TIM	0.75
Aluminum(Heat sink)	237

ภาพประกอบ 2.52 คำนวณความร้อนของวัสดุต่างชนิดที่ใช้ทำแผ่นระบายความร้อน [29]

Number of fins	4	6	8	10	12
Fin width (mm)	2	2	2	1.8	1.5
Spacing (mm)	4	1.6	0.57	0.22	0.18

ภาพประกอบ 2.53 แสดงจำนวนครีบบ ความกว้างและพื้นผิวของแผ่นระบายความร้อน [29]



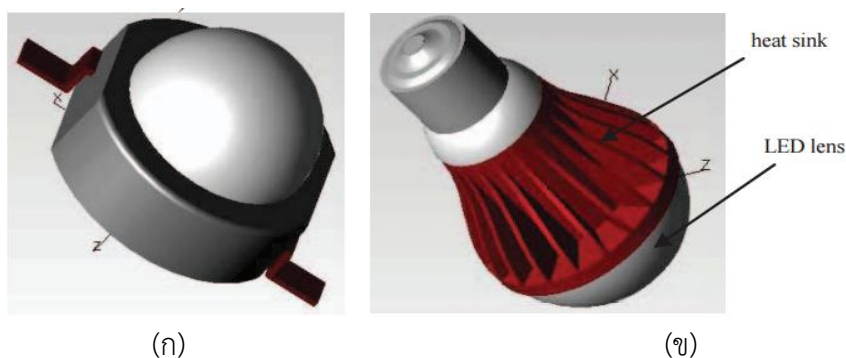


ภาพประกอบ 2.54 แผ่นระบายความร้อนจำนวน 4, 6, 8,10 และ 12 ครีบ [29]

Heat sink (Fins)	Junction Temperature (°C)	Von Mises Stress (MPa)	Thermal Resistance (°C/W)
4	108.71	212.46	83.71
6	93.23	173.76	68.23
8	83.45	148.48	58.45
10	76.88	128.91	51.88
12	72.32	115.65	47.32

ภาพประกอบ 2.55 แสดงอุณหภูมิรอยต่อ ความต้านทานความร้อนของแผ่นระบายความร้อนที่จำนวนครีบต่างกัน [29]

งานวิจัยของ Gong Yu-bing [69] ได้ทำการออกแบบแผ่นระบายความร้อนสำหรับหลอดแอลอีดีแบบปั๊มด้วยโปรแกรม Pro/Engineer software ซึ่งเมื่อเทียบกับหลอดที่ไม่มีแผ่นระบายความร้อน พบว่าการออกแบบช่วยลดอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีคิดเป็นร้อยละ 30 และช่วยให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ที่จำนวนครีบรอบหลอด 15 ครีบ ความหนา 3.8 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างครีบเท่ากับ 20 มิลลิเมตรแสดงในภาพประกอบ 2.56



ภาพประกอบ 2.56 (ก) หลอดแอลอีดี (ข) หลอดแอลอีดีติดอุปกรณ์ระบายความร้อน [69]

Uniform Design						
Number	Distance of LED chip (mm)	Number of bin	Thickness of bin (mm)	Maximum temperature in the LED (C)	Average Illumination (Lux)	Unifromity of Illuminance
1	11	21	5	77.669	16	0.516
2	17	18	4.5	59.722	17	0.517
3	23	15	4	60.559	17	0.519
4	9	22	3.5	95.119	17	0.530
5	15	19	3	58.342	17	0.513
6	21	16	2.5	59.709	17	0.514
7	7	23	2	115.96	17	0.516
8	13	20	1.5	67.522	17	0.505
9	19	17	1	59.072	17	0.508

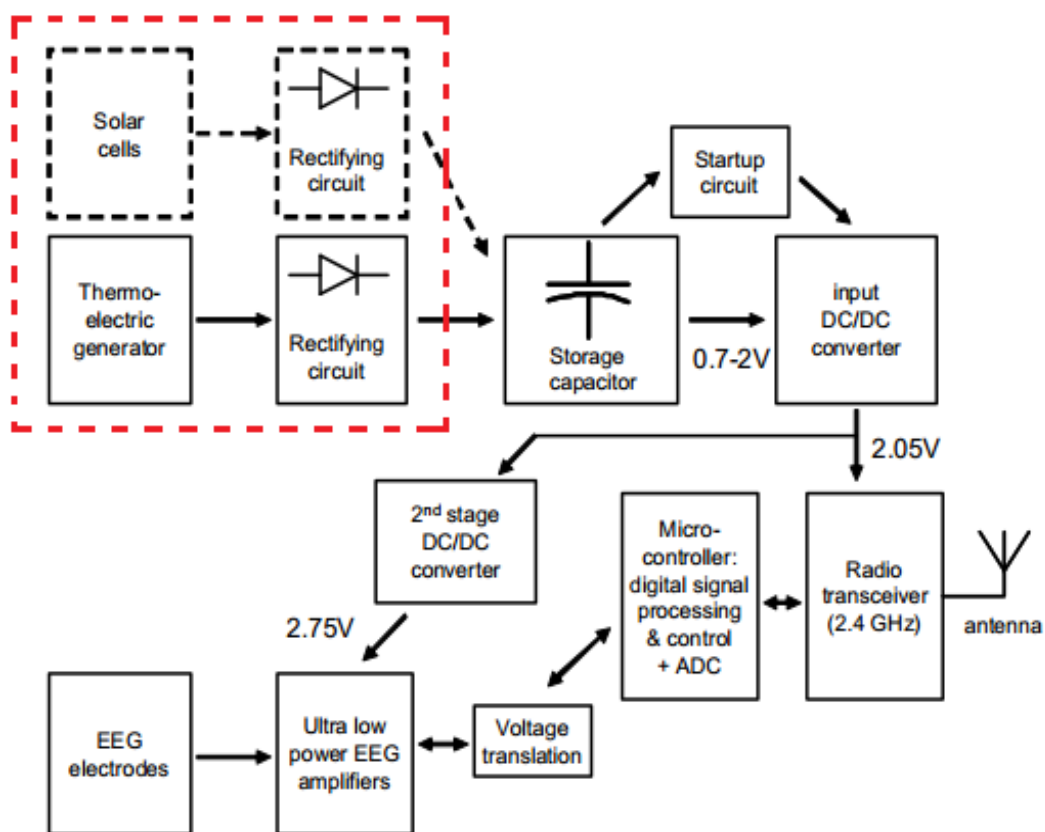
ภาพประกอบ 2.57 ตารางการคำนวณหลอดแอลอีดีด้วยโปรแกรม Pro/Engineer software [69]

Distance of LED chip (mm)	Number of bin	Thickness of bin (mm)	Maximum temperature in the LED (°C)	Average illumination (Lux)	Uniformity of illuminance
20	15	3.8	58.414	17	0.528

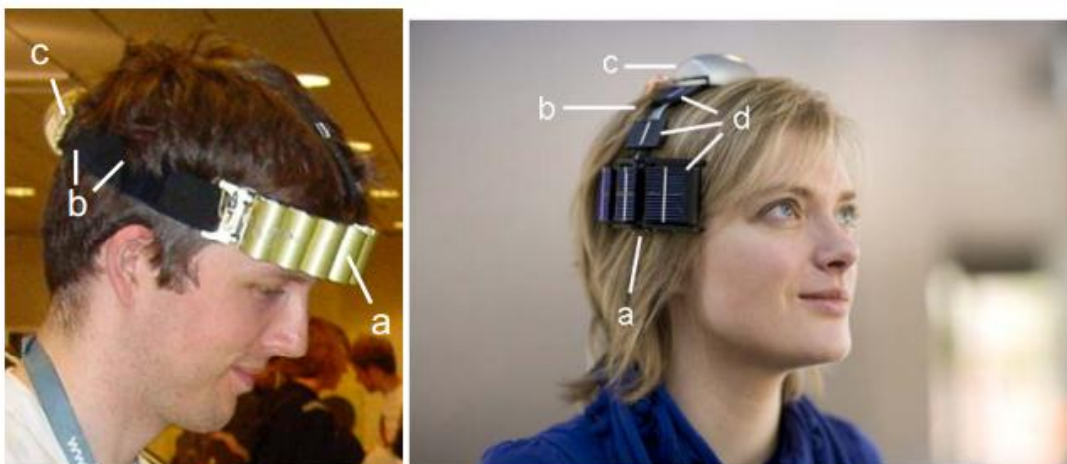
ภาพประกอบ 2.58 ผลการคำนวณแผ่ระบายความร้อนที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรม Pro/Engineer software [69]

งานวิจัยของ Tom Torfs [70] ได้ประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกและเซลล์สุริยะเป็นแหล่งจ่ายอุปกรณ์ตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง ซึ่งเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 2 มิลลิวัตต์โดยอาศัยความร้อนจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งเพียงพอต่ออุปกรณ์ตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองที่ใช้กำลังที่ 0.8 มิลลิวัตต์ที่อุณหภูมิ 23 °C

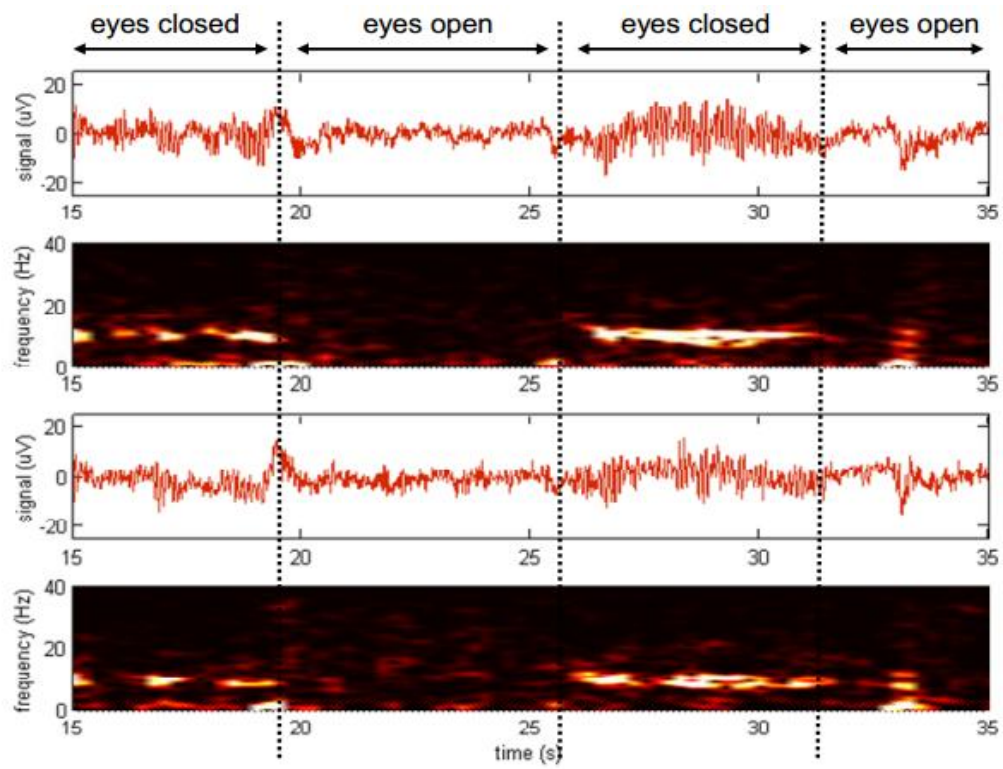




ภาพประกอบ 2.59 อุปกรณ์ตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองโดยมีแหล่งจ่ายเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกและเซลล์สุริยะ [70]



ภาพประกอบ 2.60 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ (a)เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า (b)อุปกรณ์คลื่นสัญญาณสมอง (c)อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (d)แผ่นเซลล์สุริยะ [70]



ภาพประกอบ 2.61 ตัวอย่างคลื่นสัญญาณสมองจากอุปกรณ์ตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง [70]



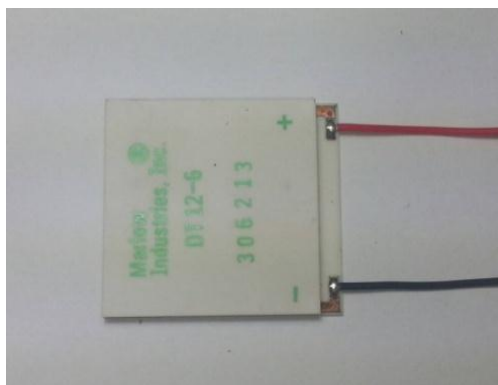
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

จากบทที่ 2 ผู้วิจัยได้นำเสนอทฤษฎี ความรู้พื้นฐานและหลักการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกจากหลายงานวิจัย โดยวิธีส่วนใหญ่เป็นการรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสองด้านด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนในด้านเย็น จึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกที่ช่วยลดต้นทุนของอุปกรณ์ระบายความร้อน ด้วยเทคนิคการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ในบทนี้ผู้วิจัยได้นำเสนออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง การทดลองอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนและวิธีการทดลอง 3 ส่วน ได้แก่ การรักษาแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลเดี่ยวด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง การทดลองเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดี่ยวด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องและการทดลองรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลองคือ เทอร์โมอิเล็กทริกของบริษัท Marlow Industries, inc.® รุ่น DT12-6 306213 มีขนาด 40x40 มม. ทหนา 3.6 มม. มีค่านำความร้อน 7.27×10^{-3} และค่าความต้านทานภายใน 1.3 โอห์ม เทอร์โมอิเล็กทริก มีลักษณะทางกายภาพดังแสดงในภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 ลักษณะภายนอกเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลอง

2) แผ่นครีระบายความร้อน ขนาด 7 x 9 ซม. สูง 3.5 ซม. ครีหนา 1 มม. มีค่าความนำความร้อน 273 วัตต์/มิลลิองศาเซลวิน



ภาพประกอบ 3.2 แผ่นระบายความร้อนที่ใช้ในการทดลอง

3) เทอร์โมคัปเปิลชนิด เค ที่ต่อเข้ากับมัลติมิเตอร์รุ่น YUGO MY64



ภาพประกอบ 3.3 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น YUGO MY64 ที่ใช้ในการทดลอง



4) ออสซิลโลสโคปรุ่น GWINSTEKGDS-2074A ด้วยอัตราแรงดัน 500 มิลลิเมตรต่อช่อง (500mv/div) และคาบเวลาต่อช่อง 100 วินาทีต่อช่อง (100s/div) ใช้วัดสัญญาณและแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง



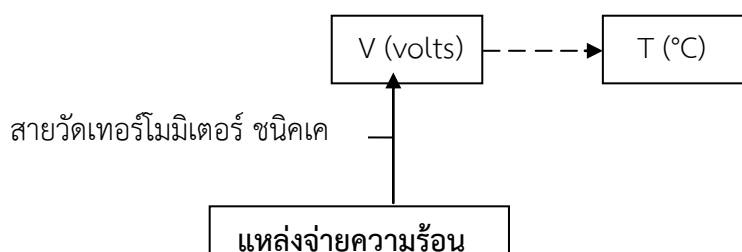
ภาพประกอบ 3.4 ออสซิลโลสโคปรุ่น GWINSTEKGDS-2074A ที่ใช้ในการทดลอง

5) แหล่งจ่ายความร้อนเป็นเตารีดแบบปรับอุณหภูมิได้ไม่เกิน 150 °C รุ่น AJ



ภาพประกอบ 3.5 แหล่งจ่ายความร้อนด้วยเตารีดรุ่น AJ ที่ใช้ในการทดลอง

ภาพประกอบ 3.6 แสดงการวัดอุณหภูมิเตารีดที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายความร้อนที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับในเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบความสม่ำเสมอของลักษณะกราฟแรงดันที่ได้ และวิเคราะห์ระลอกคลื่น (ripple) ของกราฟที่อุณหภูมิความร้อนแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 3.6 แสดงการวัดอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน ด้วยสายวัดเทอร์โมมิเตอร์ ชนิดเค

3.2 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองการปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยเทคนิคการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง แบ่งเป็น 3 ส่วนได้แก่

- 1) การทดลองรักษาแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดียวด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง
- 2) การทดลองเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดียวด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง
- 3) การทดลองรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง

การทดลองทั้ง 3 ส่วนมีการทดลองย่อยในแต่ละส่วน โดยการทดลองที่ (1) เป็นการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริก ที่ไม่มีแผ่นครีบบระบายความร้อน การทดลองที่ (2) เป็นการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริก ในกรณี ที่มีและไม่มีแผ่นครีบบช่วยในการระบายความร้อน การทดลองที่ (3) เป็นการทดลองจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบช่วยระบายความร้อน ซึ่งการทดลองทั้ง 3 ส่วน มีขั้นตอนรายละเอียดดังต่อไปนี้

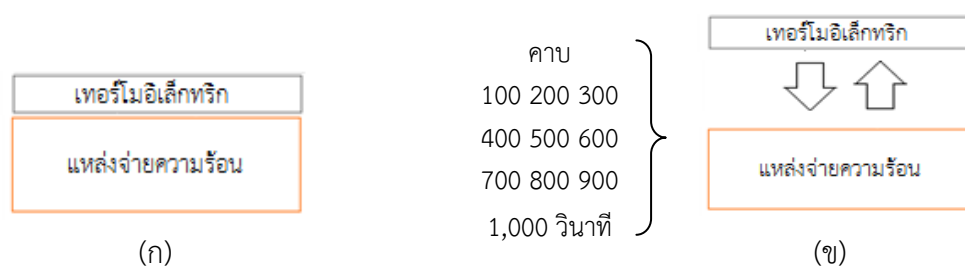


3.4 การทดลองเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดี่ยว ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง

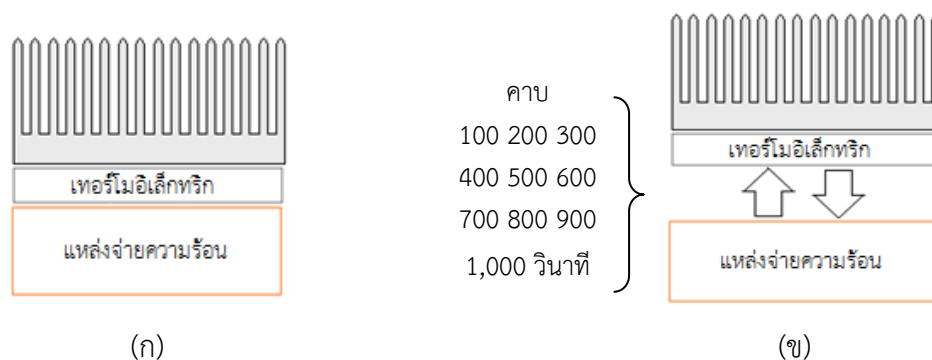
วิธีการทดลองการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องนี้มี 2 วิธีการ ได้แก่

- 1) การจ่ายความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริก ที่ไม่มีแผ่นครีบริบายความร้อน
- 2) การจ่ายความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีแผ่นครีบริบายความร้อน

โดยการจ่ายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ การจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่อง และการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง (คาบ 100 200 300 400 500 600 700 800 900 และ 1,000 วินาที) แก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่นครีบริบายความร้อน แสดงในภาพประกอบ 3.9 และในกรณีที่เทอร์โมอิเล็กทริกมีแผ่นครีบริบายความร้อน แสดงในภาพประกอบ 3.10 โดยทดลองหาแรงดันเฉลี่ยทั้งหมด 3 ครั้งต่อคาบเวลาที่ อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับและนำแรงดันเฉลี่ยมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบแรงดันเฉลี่ยสูงสุดที่ได้ระหว่างการจ่ายความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลาที่ดีที่สุด แสดงในตาราง 3.1 และเก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดจากการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีและไม่มีแผ่นครีบริบายความร้อน แสดงในตาราง 3.2



ภาพประกอบ 3.9 แสดงแบบจำลองการจ่ายความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่นครีบริบายในการระบายความร้อนแบบต่อเนื่อง (ก) และไม่ต่อเนื่อง (ข)



ภาพประกอบ 3.10 แสดงแบบจำลองการจ่ายความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบริบายในการระบายความร้อนแบบต่อเนื่อง (ก) และไม่ต่อเนื่อง (ข)



ตาราง 3.1 แสดงตารางเก็บข้อมูลค่าแรงดันเฉลี่ยของเทอร์โมอิเล็กทริกจากการจ่ายความร้อน อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับที่คาบเวลาแตกต่างกัน

คาบ (วินาที)	เทอร์โมอิเล็กทริก				เทอร์โมอิเล็กทริกและอุปกรณ์ระบายความร้อน			
	แรงดันเฉลี่ย (โวลต์)			เฉลี่ย (โวลต์)	แรงดันเฉลี่ย (โวลต์)			เฉลี่ย (โวลต์)
	1	2	3		1	2	3	
0								
100								
200								
300								
400								
500								
600								
700								
800								
900								
1000								

ตาราง 3.2 แสดงค่าเฉลี่ยแรงดันเฉลี่ยสูงสุดจากการจ่ายความร้อนที่แตกต่างกันแก่เทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีและไม่มีแผ่นครีบช่วยในการระบายความร้อน ที่อุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนแตกต่างกัน

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	แรงดันเฉลี่ยสูงสุด (โวลต์)	
	เทอร์โมอิเล็กทริกรับความร้อน แบบต่อเนื่อง	เทอร์โมอิเล็กทริกรับความร้อน แบบไม่ต่อเนื่อง
40		
60		
80		
100		

ตาราง 3.1 แสดงตารางเก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของเทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีและไม่มีแผ่นครีบช่วยระบายความร้อน จากการจ่ายความร้อนที่แตกต่างกัน โดยเก็บข้อมูลค่าแรงดันเฉลี่ย 3 ค่าต่อคาบเวลาในการรับความร้อนที่แตกต่างกัน และตาราง 3.2 แสดงตารางเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ย



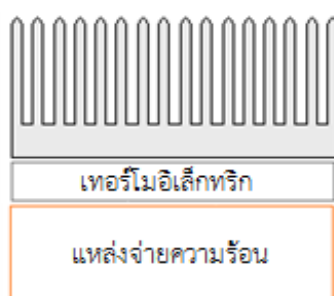
แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีและไม่มีแผ่นครีบบรรเทาความร้อนจากการจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

3.5 การทดลองรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง

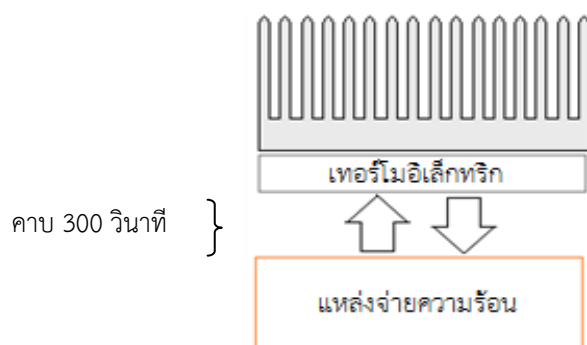
วิธีการทดลองการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องนี้มี 2 วิธีการ ได้แก่

- 1) การจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีแผ่นครีบบรรเทาความร้อน
- 2) การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีแผ่นครีบบรรเทาความร้อน

โดยทดลองจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ แก่เทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล ที่มีแผ่นครีบบรรเทาความร้อนด้วยการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่อง แสดงในภาพประกอบ 3.11 และแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 300 วินาที (ที่มาของตัวเลขจะอธิบายในบทถัดไป) โดยสลับการจ่ายและหยุดจ่ายความร้อนระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล แสดงในภาพ 3.12 เพื่อเปรียบเทียบลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก ระหว่างการจ่ายความร้อนต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง หลังจากการจ่ายความร้อนผ่านไปเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 3.11 แสดงแบบจำลองการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบรรเทาความร้อน



ภาพประกอบ 3.12 แสดงแบบจำลองการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบรรเทาความร้อน



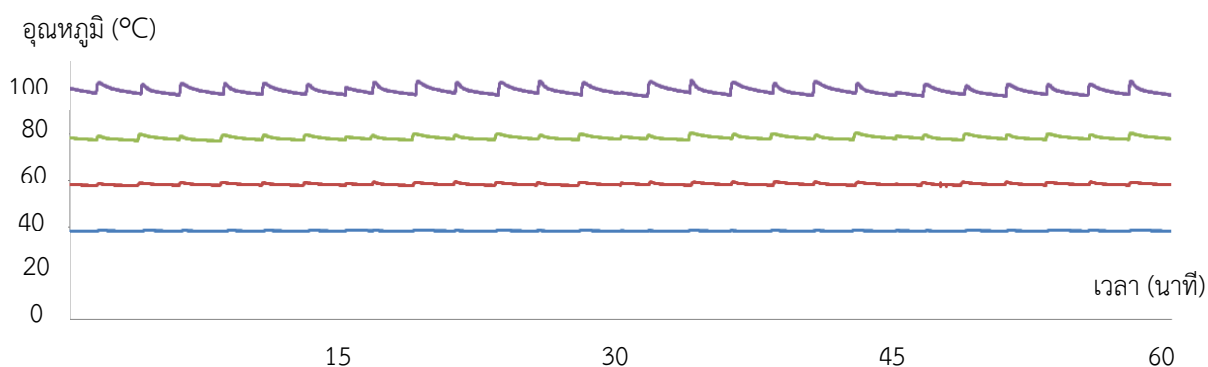
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

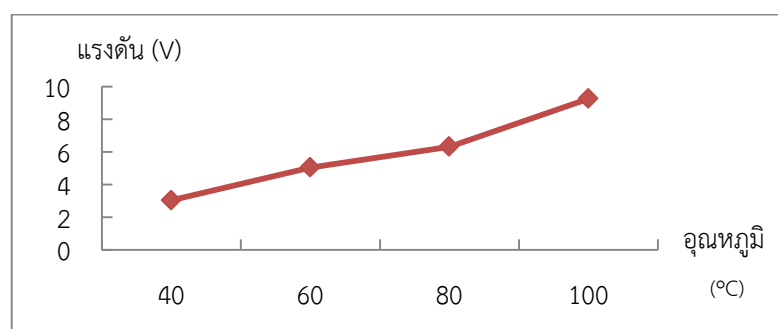
จากบทที่ 3 ผู้วิจัยได้นำเสนออุปกรณ์ในการทดลอง และวิธีดำเนินการวิจัย โดยแบ่งเป็นการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การทดลองอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน การทดลองรักษาและเพิ่มแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลโดยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง และการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องนั้น ในบทนี้ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองทั้ง 4 ส่วน ได้แก่ ผลการทดลองอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน ผลการทดลองการรักษาและเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง และผลการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน

ภาพประกอบ 4.1 แสดงกราฟอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนที่ 40 60 80 และ 100 °C ซึ่งได้จากการแปลงแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมมิเตอร์ ชนิดเค มาเป็นอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน และภาพประกอบ 4.2 กราฟค่าความแตกต่างอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนที่ 40 60 80 และ 100 °C



ภาพประกอบ 4.1 กราฟอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนที่ 40 60 80 และ 100 °C



ภาพประกอบ 4.2 กราฟค่าความแตกต่างอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนที่ 40 60 80 และ 100 °C



ซึ่งจากผลการทดลองที่แสดงในภาพประกอบ 4.2 จะเห็นว่าแหล่งจ่ายความร้อนอุณหภูมิที่ 40 60 80 และ 100 °C ในเวลา 1 ชั่วโมง มีลักษณะสม่ำเสมอ สันเกตจากเส้นกราฟที่ค่อนข้างเรียบ กล่าวคือมีค่าระลอกคลื่น (ripple) ของกราฟอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 7.52 8.41 8.82 และ 9.26 สำหรับที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ โดยแหล่งจ่ายความร้อนที่ 40 °C ให้ค่าความร้อนที่สม่ำเสมอมากที่สุด เห็นได้จากการมีค่าระลอกคลื่นต่ำสุดเปรียบเทียบกับ การจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิอื่น ส่วนค่าระลอกคลื่นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสำหรับระดับ การจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบระบบการรักษา ระดับแรงดันระหว่าง 2 ระบบ โดยใช้แหล่งจ่ายความร้อนชุดเดียวกัน และทำการทดสอบที่ช่วงระดับ ความร้อนเดียวกัน ดังนั้น ค่าความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยนี้จึงไม่มีผล ต่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลอง

4.2 ผลการทดลองการรักษาแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลด้วยการจ่ายความร้อน แบบไม่ต่อเนื่อง

ผลการทดลองการรักษาแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลด้วยการจ่ายความร้อน แบบไม่ต่อเนื่อง แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

- 1) ผลการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิคงที่
- 2) ผลการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิคงที่
- 3) ผลการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิไม่คงที่

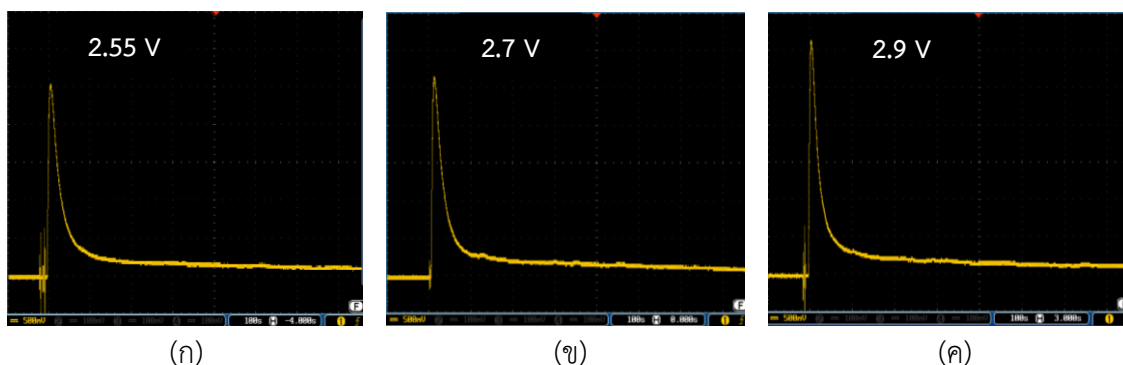
โดยวิธีการที่ (1) เป็นผลการให้ความร้อนจากแหล่งจ่ายความร้อนคงที่อย่างต่อเนื่อง 8 ระดับ คือ 80 90 100 110 120 130 140 และ 150 °C วิธีการที่ (2) เป็นผลการให้ความร้อน แบบไม่ต่อเนื่องเช่นเดียวกับ วิธีการที่ (1) แต่กำหนดเวลาในการรับความร้อน 90 วินาที และหยุดรับ ความร้อน 365 วินาที (ที่มาของตัวเลขได้จาก ผลการทดลองที่ 1) และ วิธีการที่ (3) เป็นผลการให้ ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยแหล่งจ่ายความร้อนปรับเพิ่มขึ้น 10 °C ต่อ 90 วินาที จาก 80 - 120 °C แล้วหยุดจ่ายความร้อนเป็นเวลา 365 วินาที สลับกันแบบนี้ไปเรื่อยๆ

4.2.1 ผลการทดลองที่ (1)

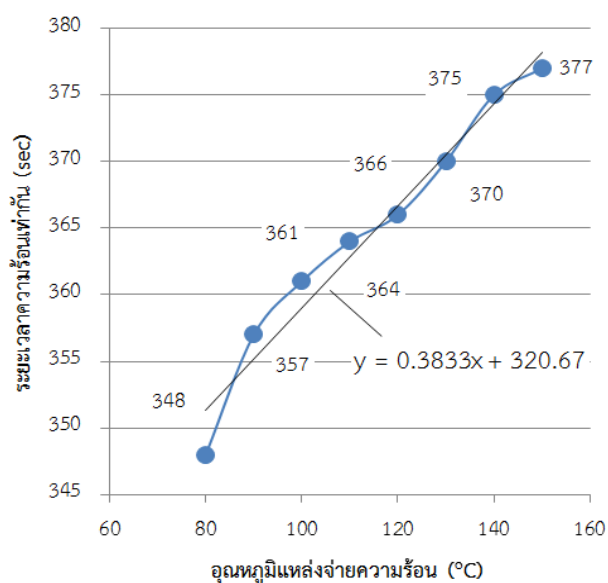
ภาพประกอบ 4.3 แสดงตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการรับความร้อนแบบต่อเนื่อง ของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิแตกต่าง ซึ่งจะเห็นว่า แรงดันที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเกือบเป็นศูนย์ที่ประมาณ 90 วินาที และการใช้แหล่งความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่ามีแนวโน้ม ให้แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงกว่าด้วย ซึ่งสามารถสังเกตได้จากตัวอย่างรูปคลื่นสัญญาณเปรียบเทียบ แรงดันไฟฟ้าขั้วต่อที่ 2.55 2.7 2.9 โวลต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3 (ก)-(ค)

ภาพประกอบ 4.4 แสดงกราฟระยะเวลาด้านร้อนมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับด้านเย็นของ เทอร์โมอิเล็กทริกหลังจากรับความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่าง จากการทดลองพบว่า หลังจากเทอร์โม อิเล็กทริกที่ไม่มีอุปกรณ์ช่วยในการระบายความร้อน ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 80 90 100 110 120 130 140 และ 150 °C ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 90 วินาที อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก จะลดลงเท่ากับอุณหภูมิด้านเย็นเป็นระยะเวลาใกล้เคียงกัน ที่เวลาเฉลี่ยที่ 365 วินาที





ภาพประกอบ 4.3 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการรับความร้อนแบบต่อเนื่องของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ (ก) 110 (ข) 130 และ (ค) 150 °C ;(500mv/div) (100s/div)

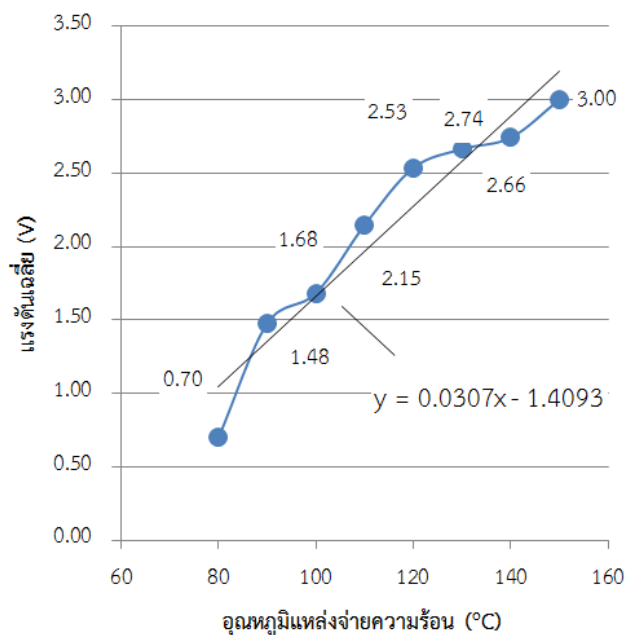


ภาพประกอบ 4.4 กราฟระยะเวลาด้านร้อนมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกหลังจากรับความร้อนที่ 80 90 100 110 120 130 140 และ 150 °C

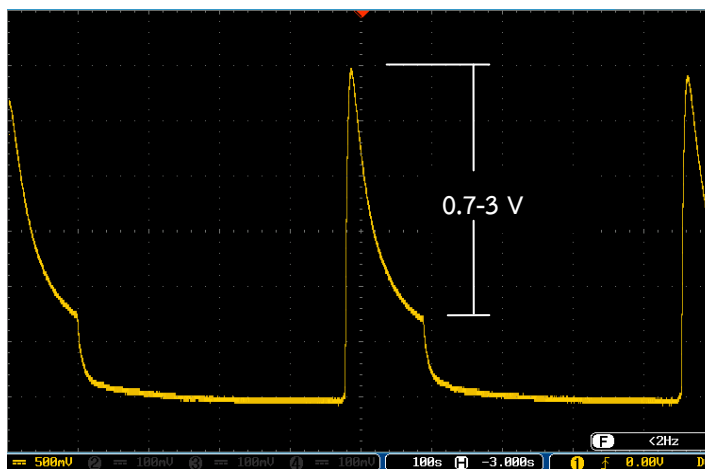
4.2.2 ผลการทดลองที่ (2)

ภาพประกอบ 4.5 แสดงแรงดันไฟฟ้ายอดเทอร์โมอิเล็กทริกจากการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยให้ความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นเวลา 90 วินาทีและหยุดให้ความร้อน 365 วินาที โดยที่แหล่งจ่ายความร้อนมีอุณหภูมิที่ 80 90 100 110 123 130 140 และ 150 °C จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เทคนิคการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 0.7-3.0 โวลต์ สำหรับอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนระหว่าง 80-150 °C ในขณะที่การป้อนความร้อนแบบต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริกให้แรงดันไฟฟ้าที่ประมาณ 0.01-0.06 โวลต์เท่านั้น เทียบกับการทดลองที่ระดับอุณหภูมิแหล่งความร้อนเดียวกัน แสดงในภาพประกอบ 4.6 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการทดลองรับความร้อนอุณหภูมิ 120 °C แบบไม่ต่อเนื่อง





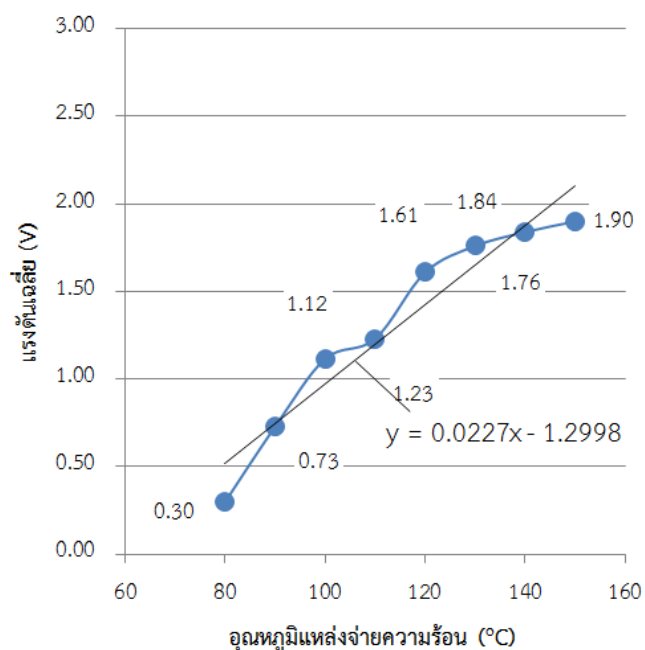
ภาพประกอบ 4.5 กราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกจากการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 4.6 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการทดลองรับความร้อนอุณหภูมิ 120 °C แบบไม่ต่อเนื่อง ;(500mv/div) (100s/div)

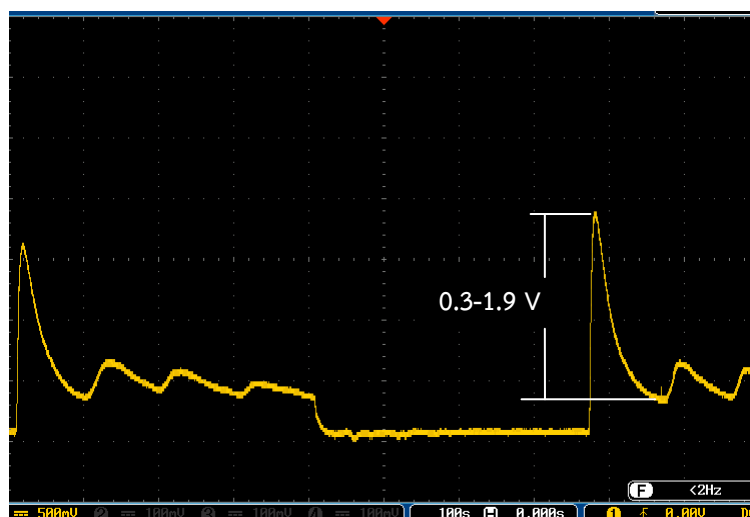
4.2.3 ผลการทดลองที่ (3)

ภาพประกอบ 4.7 แสดงผลการทดลองการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิไม่คงที่ ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกจากการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยให้ความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นเวลา 90 วินาที โดยที่แหล่งจ่ายความร้อนจะถูกปรับให้เพิ่มขึ้น 10 °C ทุกๆ 10 วินาที จาก 80 ถึง 120 °C จากนั้นจะหยุดให้ความร้อน 365 วินาที สลับไปเรื่อยๆ



ภาพประกอบ 4.7 แรงดันเฉลี่ยที่ได้จากทดลองที่ (3) ที่อุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนแตกต่าง

จากผลการทดลอง จะเห็นว่า เทคนิคการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องแบบเพิ่มความร้อนสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าได้ โดยมีค่าในช่วง 0.3-1.9 โวลต์ สำหรับอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนระหว่าง 80-120 °C ในขณะที่การป้อนความร้อนแบบต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริกให้แรงดันไฟฟ้าที่ประมาณ 0.01-0.06 โวลต์ เทียบกับการทดลองที่ระดับอุณหภูมิความร้อนเดียวกัน แสดงในภาพประกอบ 4.8



ภาพประกอบ 4.8 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากการทดลองที่ (3) เมื่อทดสอบให้ความร้อนที่ 80-120 °C ;(500mv/div) (100s/div)



4.3 ผลการทดลองการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง

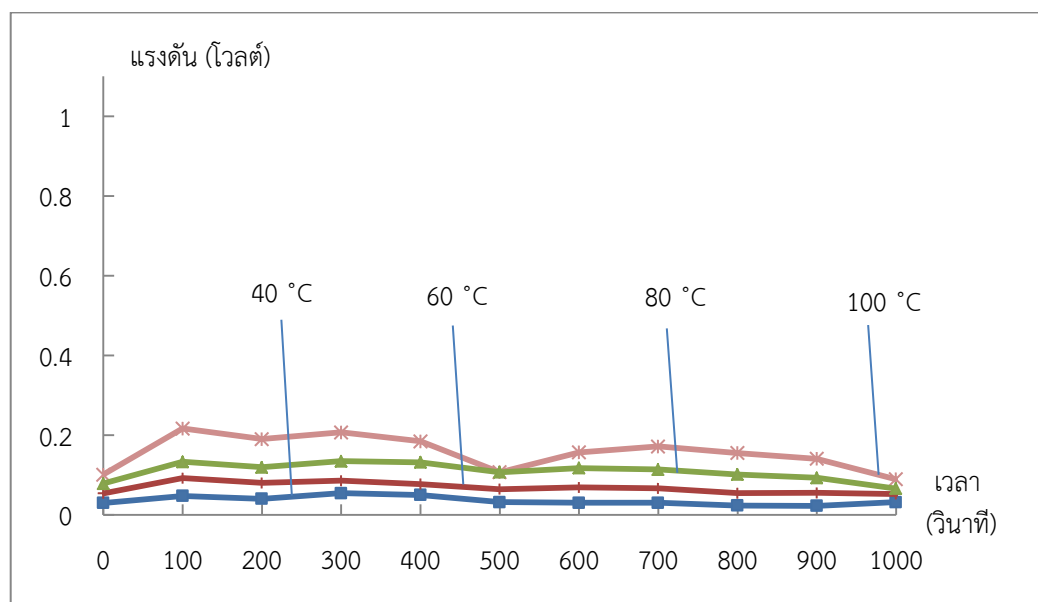
ผลการทดลองเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกจากการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและแบบคาบเวลาที่ 100 200 300 400 500 600 700 800 900 และ 1,000 วินาที แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีอุปกรณ์ช่วยระบายความร้อน

2) ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าจากการให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบช่วยระบายความร้อน

4.3.1 ผลการทดลองที่ (1)

ภาพประกอบ 4.9 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีอุปกรณ์ช่วยระบายความร้อนจากการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 100 200 300 400 500 600 700 800 900 และ 1,000 วินาที ที่อุณหภูมิแหล่งจ่าย 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า คาบเวลาการจ่ายความร้อนที่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกได้ดีที่ 300 วินาที (ซึ่งคาบเวลาดังกล่าวจะใช้ในการทดลอง 4.4 ต่อไป) สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วง 54.2-206.6 มิลลิโวลต์ ที่อุณหภูมิแหล่งจ่าย 40-100 °C ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้มากกว่า การจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตได้ในช่วง 29.7-100.8 มิลลิโวลต์ คิดเป็นร้อยละ 82.1-114.5

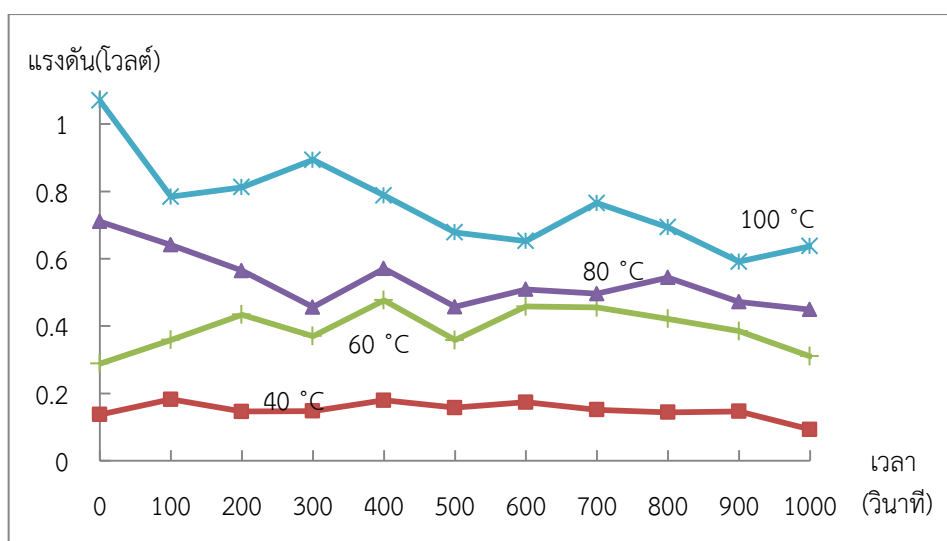


ภาพประกอบ 4.9 กราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจากการจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิและคาบเวลาแตกต่างกัน แก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีอุปกรณ์ช่วยระบายความร้อน

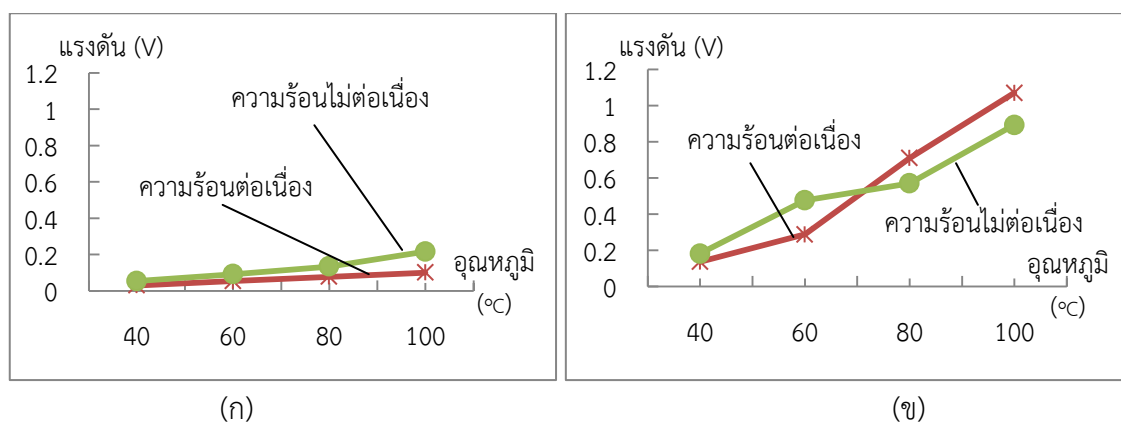


4.3.2 ผลการทดลองที่ (2)

ภาพประกอบ 4.10 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบรรบายความร้อนจากการจ่ายความร้อน ที่คาบเวลา 100 200 300 400 500 600 700 800 900 และ 1,000 วินาที ที่อุณหภูมิแหล่งจ่าย 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า คาบเวลาการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิแหล่งจ่าย 40-60 °C สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วง 182.3-476.6 มิลลิโวลต์ มากกว่าการจ่ายความร้อนต่อเนื่องที่ผลิตได้ 137.3-288.3 คิดเป็นร้อยละ 32.76-57.9 แต่อย่างไรก็ตามการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องช่วงอุณหภูมิ 80-100 °C ผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้ในช่วง 641.0-893.3 มิลลิโวลต์ ซึ่งน้อยกว่าเล็กน้อยเทียบกับการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่ผลิตได้ในช่วง 710.3-1070.0 มิลลิโวลต์ แสดงในภาพประกอบ 4.11



ภาพประกอบ 4.10 กราฟแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจากการจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิและคาบเวลาแตกต่างกัน แก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบรรบายความร้อน



ภาพประกอบ 4.11 กราฟเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจากการจ่ายความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริก (ก) ไม่มีอุปกรณ์ช่วยระบายความร้อน (ข) มีแผ่นครีบบรรบายความร้อน



4.4 ผลการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง

ผลการทดลองรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่

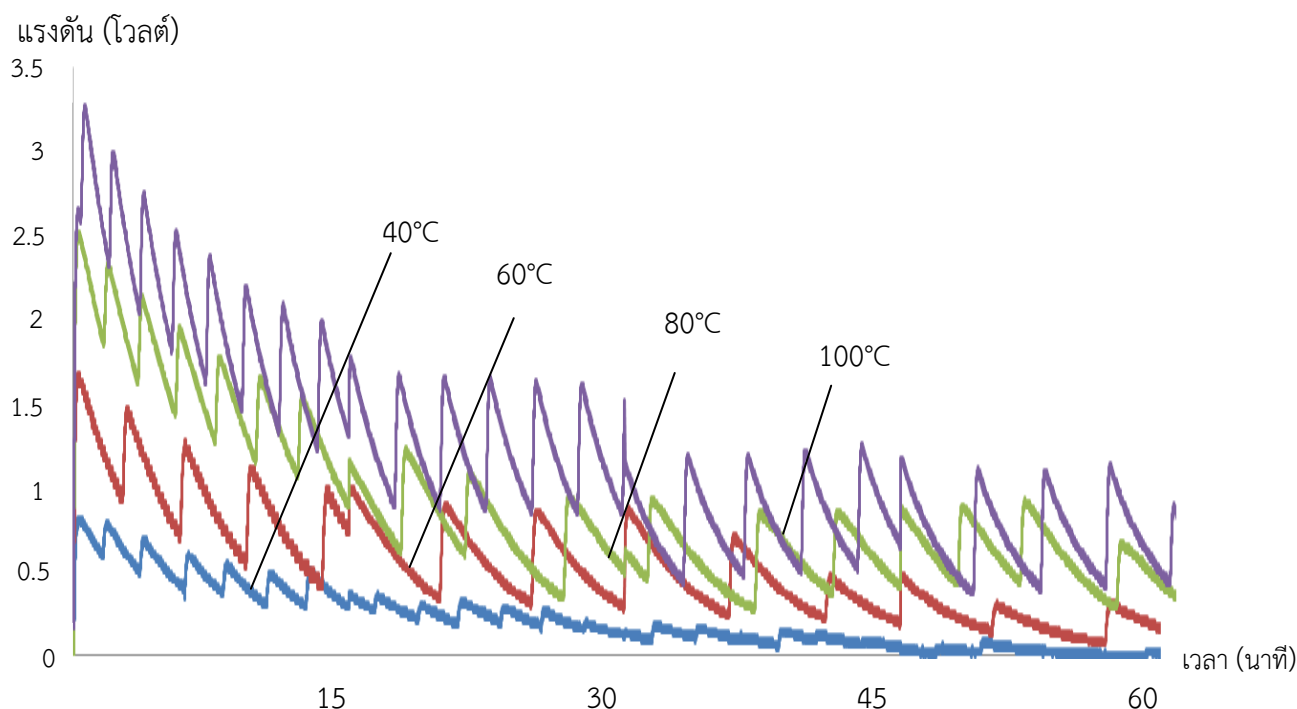
1) ผลการทดลองการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C แก่เทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล

2) ผลการทดลองการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง คาบเวลา 300 วินาที ที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C แก่เทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล

4.4.1 ผลการทดลองที่ (1)

ภาพประกอบ 4.12 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล

จากการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่ามากในช่วงแรกและมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ซึ่งแรงดันไฟฟ้ายอดที่สามารถผลิตได้ในช่วงแรกอยู่ในช่วง 0.82-3.28 โวลต์ แต่หลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมงสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 0.16-1.3 โวลต์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงคิดเป็นร้อยละ 60.36-80.48

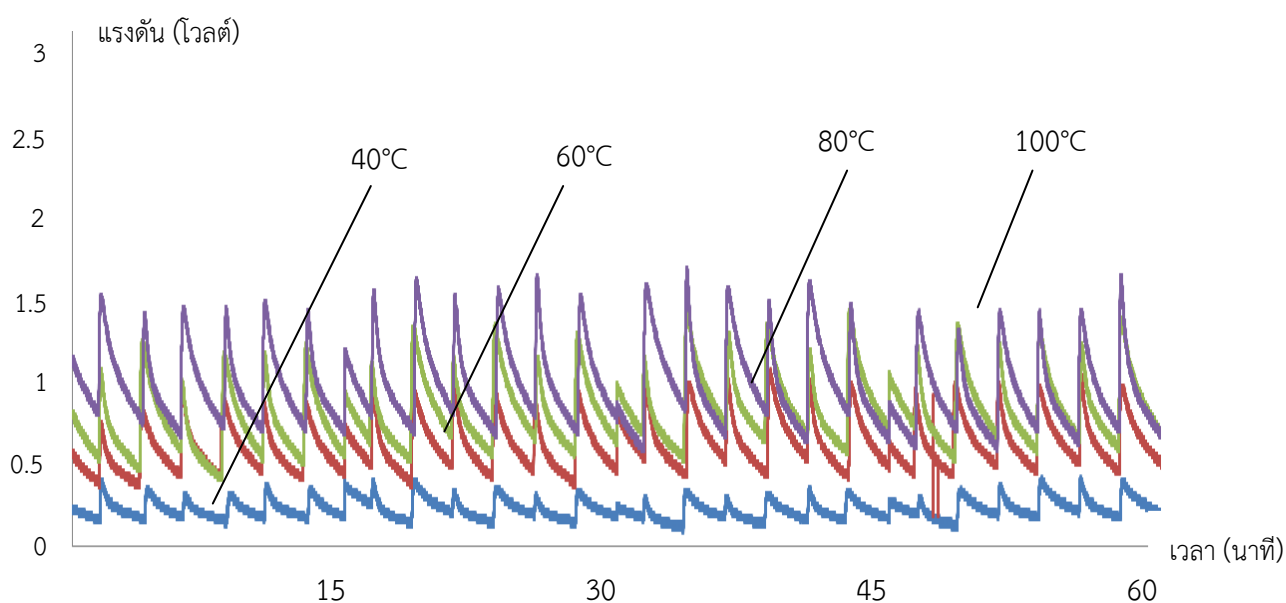


ภาพประกอบ 4.12 กราฟแรงดันไฟฟ้าจากการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C

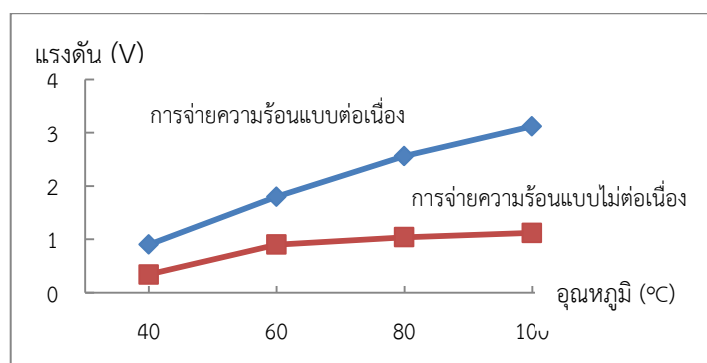


4.4.2 ผลการทดลองที่ (2)

ภาพประกอบ 4.13 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล จากการรับความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 300 วินาที ที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงแรกมีระดับแรงดันใกล้เคียงกับช่วงท้ายเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ซึ่งแรงดันไฟฟ้ายอดที่สามารถผลิตได้ในช่วงแรกอยู่ในช่วง 0.3-4.2 โวลต์ และหลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมง สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 0.3-4.2 โวลต์ ภาพประกอบ 4.14 แสดงกราฟแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงเปรียบเทียบระหว่างการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่าการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริกมีแนวโน้มแรงดันไฟฟ้าลดลงมากในช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นโดยค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงมีค่าในช่วง 1-3 โวลต์ ซึ่งแตกต่างจากการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 300 วินาทีที่แรงดันไฟฟ้าลดลงในช่วง 0.5-1 โวลต์ เท่านั้น



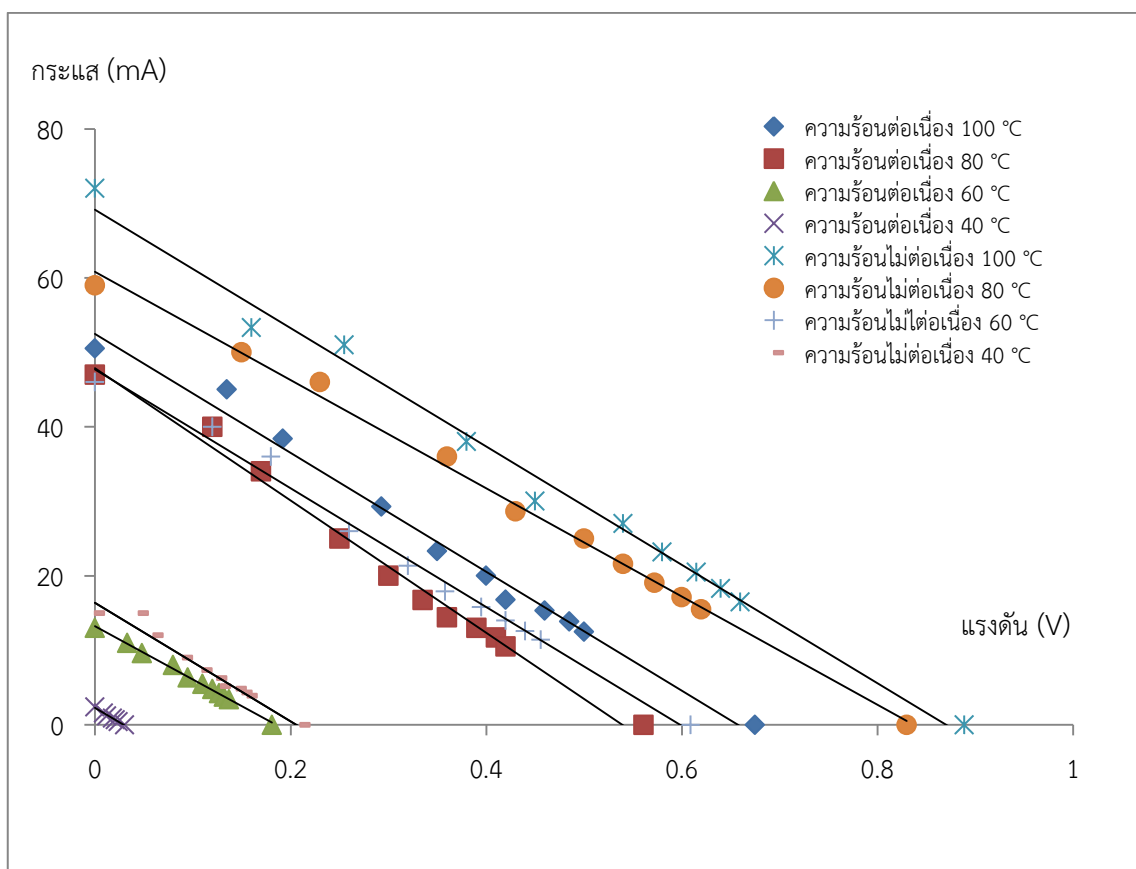
ภาพประกอบ 4.13แรงดันไฟฟ้าจากการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ100°C



ภาพประกอบ 4.14 กราฟแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง ระหว่างการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง



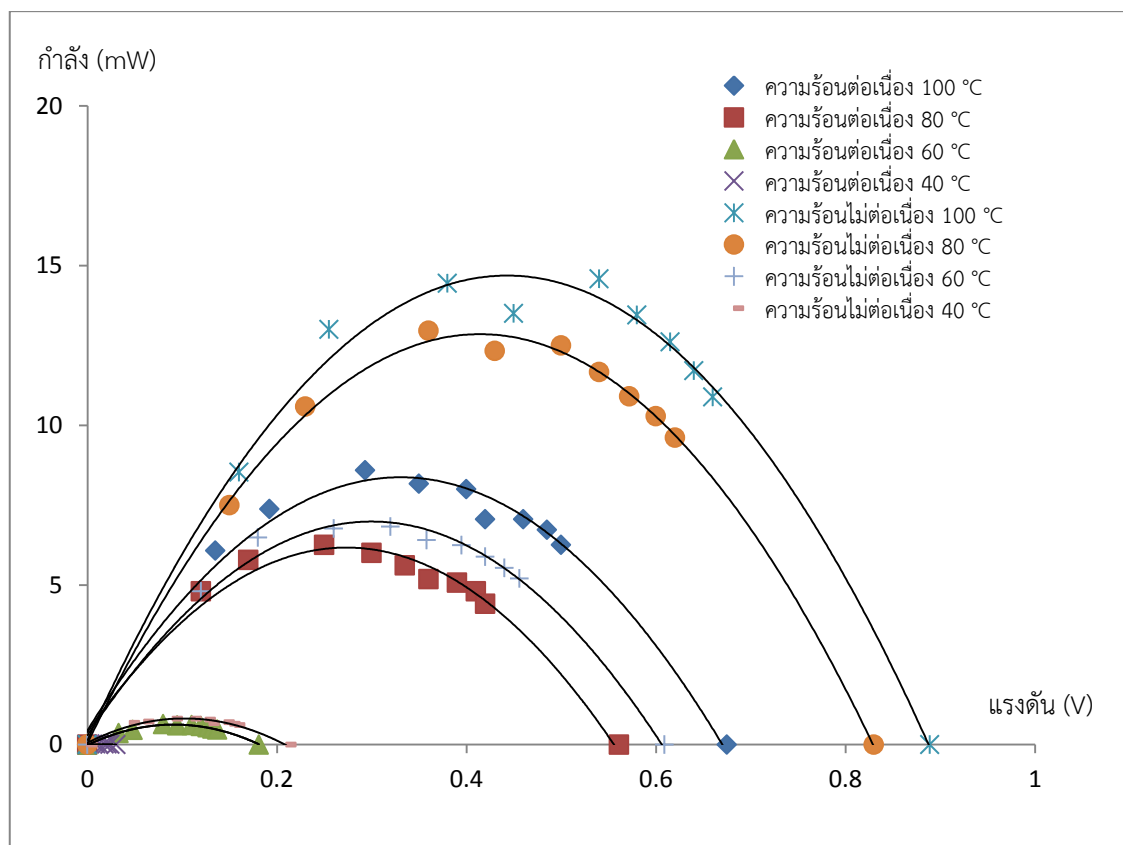
ภาพประกอบ 4.15 แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแส แรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกระหว่างการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิแหล่งจ่าย 40 60 80 และ 100 °C ซึ่งกราฟดังกล่าวเป็นค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าหลังจากการจ่ายความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกผ่านไป 1 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลที่รับการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 300 วินาที สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าสูงสุด และกระแสสูงสุดได้ในช่วง 0.21-0.889 โวลต์ และ 15-67 มิลลิแอมป์ ตามลำดับ มากกว่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและกระแสสูงสุด จากการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตได้ในช่วง 0.03-0.675 โวลต์ และ 2.4-50.5 มิลลิแอมป์ คิดเป็นร้อยละ 31.7-600 และ 32.67-525 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.15 กราฟเปรียบเทียบกระแส แรงดัน ของเทอร์โมอิเล็กทริกระหว่างการจ่ายความร้อน ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C



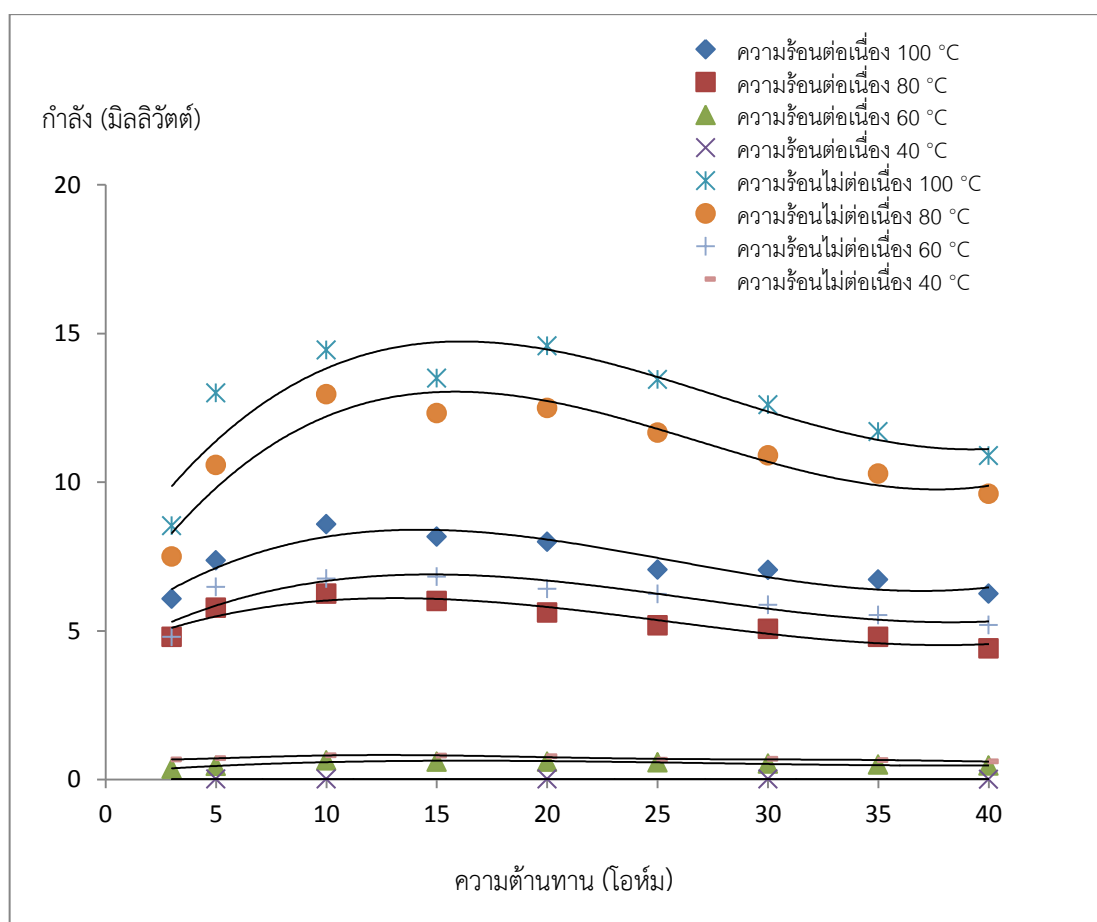
ภาพประกอบ 4.16 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่แรงดันไฟฟ้าแตกต่างกันระหว่างการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40 60 80 100 °C พบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตแรงดันไฟฟ้าช่วง 0.1-0.5 โวลต์ สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด ทั้งแบบการจ่ายความร้อนต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่ผลิตได้ในช่วง 0.18-14.58 มิลลิวัตต์ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงจนเป็นศูนย์ที่แรงดันขณะเปิดวงจร



ภาพประกอบ 4.16 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกที่แรงดันแตกต่างกัน ระหว่างการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 4.17 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่ความต้านทานภาระทางไฟฟ้าแตกต่างกัน ระหว่างการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C พบว่าเมื่อต่อภาระทางไฟฟ้าขนาดในช่วง 10-15 โอห์ม เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดทั้งในแบบการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่ผลิตได้ 0.18-14.58 มิลลิวัตต์ และเมื่อเพิ่มความต้านทานขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีแนวโน้มที่ลดลง



ภาพประกอบ 4.17 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่ความต้านทานภาระทางไฟฟ้าแตกต่างกัน ระหว่างการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน



บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล และอภิปรายผล

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่ด้านร้อน เพื่อแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกลดลง หลังจากการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องแก่เทอร์โมอิเล็กทริก โดยทำการทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริก จำนวน 1 และ 2 โมดูล และจ่ายความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิแตกต่างกันส่วน ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ ไม่มีอุปกรณ์ช่วยในการระบายความร้อน และมีแผ่นครีบบระบายความร้อนอะลูมิเนียมขนาด 7x9 เซนติเมตร สูง 3.5 เซนติเมตรหนา 1 มิลลิเมตร ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) การรักษาแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล ที่ไม่มีแผ่นครีบบช่วยระบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนไม่ต่อเนื่อง ทั้ง 2 แบบ ได้แก่ การจ่ายความร้อน 90 วินาที สลับหยุดจ่ายความร้อน 365 วินาที และการจ่ายความร้อน 90 วินาทีโดยเพิ่มขึ้น 10 °C ต่อ 90 วินาที จาก 80-120 °C สลับหยุดจ่ายความร้อน 365 วินาที พบว่าสามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าได้ 0.7-3.0 โวลต์ และ 0.3-1.91 โวลต์ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการจ่ายความร้อนต่อเนื่องที่มีแรงดันไฟฟ้า 0.01-0.06 โวลต์ สามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าได้สูงกว่า คิดเป็นร้อยละ 57.9-133.3

2) การเพิ่มแรงดันเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลที่มีและไม่มีแผ่นครีบบช่วยระบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนไม่ต่อเนื่อง พบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่นครีบบช่วยระบายความร้อนถูกจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิ 40-100 °C และเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบช่วยระบายความร้อนถูกจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิ 40-60 °C สามารถผลิตแรงดันเฉลี่ยได้ในช่วง 54.2-206.6 มิลลิโวลต์ และ 182.3-476.6 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่สามารถผลิตแรงดันเฉลี่ย 29.7-100.8 โวลต์ และ 137.3-288.3 โวลต์ สามารถเพิ่มแรงดันเฉลี่ยได้สูงกว่า คิดเป็นร้อยละ 82.1-114.5 และ 32.8-57.9

3) การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล ที่มีแผ่นครีบบช่วยระบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับพบว่า พบว่า การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง แรงดันลดลง 0.5-1 โวลต์ ซึ่งลดลงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลาเท่ากัน ที่แรงดันลดลง 1-3 โวลต์ และยังพบอีกว่า การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ในช่วง 0.807-14.58 มิลลิวัตต์ ซึ่งสูงกว่าการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ในช่วง 0.016-8.585 มิลลิวัตต์ เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง อีกด้วย

จากผลการทดลองทั้ง 3 ส่วนพบว่า เทคนิคการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องสามารถปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกได้จริง เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวช่วยลดความร้อนสะสมในเทอร์โมอิเล็กทริกจากการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่อง เทอร์โมอิเล็กทริกมีการระบายความร้อนที่ดีขึ้นจากสองด้านเมื่อหยุดจ่ายความร้อน และแผ่นครีบบระบายความร้อนสามารถระบายความร้อน



ได้เพียงพอต่อปริมาณความร้อนที่ได้รับจากด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก จึงส่งผลให้เทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิไม่สูงมาก ระดับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้สูงขึ้น และระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีความสม่ำเสมอ หลังจ่ายความร้อนผ่านไปเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

5.2 ข้อเสนอแนะ

เทคนิคการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องสามารถปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะที่อาจเป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อยอดหรืออาจจะทำให้ได้ผลการทดลองที่ดียิ่งขึ้นไปอีก ดังต่อไปนี้

1) การจำลองอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนด้วยเตารีดมีข้อดีด้านความสะดวกในออกแบบการทดลองและการทดลอง อย่างไรก็ตาม ลักษณะกราฟอุณหภูมิของความร้อนที่ได้จากเตารีดอาจมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่กำหนดเล็กน้อย ซึ่งหากการวิจัยหรือประยุกต์ใช้ที่ต้องการระดับความร้อนที่คงที่และแม่นยำอาจจำเป็นต้องศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม

2) การทดลองได้ประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกกับการจำลองแหล่งจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องด้วยเตารีด หากประยุกต์ใช้กับแหล่งความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องอื่นที่มีลักษณะการให้ความร้อนที่มีลักษณะเฉพาะแล้ว ผลการผลิตแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกอาจแตกต่างจากที่ได้จากการวิจัยนี้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์เป็นกรณีไป

3) งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง หากต้องการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้กับแหล่งจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่อง อาจจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกรับความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องจากแหล่งจ่ายความร้อนนั้นได้ ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม

4) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นในการปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าโดยทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล หากต้องการนำเทคนิคดังกล่าวนี้ไปประยุกต์ใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริกในการผลิตไฟฟ้าให้ได้ปริมาณมากขึ้น อาจจำเป็นต้องศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในส่วนของการเพิ่มจำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อกำลังในการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

5) สำหรับการทดลองในอนาคตควรเพิ่มการทดลองการควบคุม ΔT และ Delay Time เพื่อให้ทราบผลการปรับปรุงระดับแรงดันที่มีค่าการวัดถูกต้องมากยิ่งขึ้น



เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงานแห่งประเทศไทย. “สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558]. ได้จาก:
http://www.m-society.go.th/article_attach/14501/18153.pdf
- [2] กระทรวงพลังงานแห่งประเทศไทย. “แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558]. ได้จาก:
http://www.enconfund.go.th/pdf/index/REDP_15_yrs.pdf
- [3] “ปริมาณรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558]. ได้จาก :<https://solarsmileknowledge.wordpress.com/solar-cell/ปริมาณรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย/>
- [4] กระทรวงพลังงานแห่งประเทศไทย. “การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558]. ได้จาก
:http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Designer_CH1toCH5.pdf
- [5] “สภาวะโลกร้อน”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558]. ได้จาก
:http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?id=58086. สภาวะโลกร้อน
- [6] “งานและพลังงาน”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558]. ได้จาก
:http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?id=73765
- [7] “การนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้(Waste Heat Recovery)”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558]. ได้จาก
<http://www.dip.go.th/Portals/0/Thermal Energy Book/11การนำความร้อนที่เหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่.pdf>.
- [8] สาธิต ปิยนลินมาศ. “เทอร์โมอิเล็กทริกส์วัสดุผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งอุตสาหกรรม (Thermoelectrics: electricity generator from industrial waste heat) ”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558]. ได้จาก
:http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn219A_p52-55.pdf
- [9] Kyono T, Suzuki R. O, Ono K. “Conversion of unused heat energy to electricity by means of thermoelectric generation in condenser”. IEEE Trans. On Energy Conversion, vol. 18, no. 2, pp. 330–334; Jun. 2003.
- [10] Haidar J. G, Ghajel J. I. “Waste heat recovery from the exhaust of low-power diesel engine using thermoelectric generators”. Proceedings ICT2001. 20 International Conference on Thermoelectrics (Cat. No.01TH8589); 2001.
- [11] Crane D. T, Jackson G. S. “Systems-level optimization of low-temperature thermoelectric waste heat recovery”. IECEC '02. 2002 37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, 2002., 2004. [3.4] 14 Automotive waste heat harvesting for electricity generation using thermoelectric systems – an overview



- [12] Haidar J. G, Ghojel J. I. “Optimization of the thermal regime of thermoelectric generators in waste heat recovery applications”. Twenty-First International Conference on Thermoelectrics, 2002. Proceedings ICT ; 2002.
- [13] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ). “กระบวนการผลิตไฟฟ้า โรงไฟฟ้าจะนะ. กฟผ. ผลิตไฟฟ้าเพื่อความสุคนไทย”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2558]. ได้จาก :http://www.m-society.go.th/article_attach/14501/18153.pdf
- [14] Paulides J. J. H, Post E, Post J, Encica L, Lomonova E. A. “Green turbine: A high speed double turbine solution for sustainable energy harvesting from waste heat”. 2015 Tenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER); Mar. 2015.
- [15] Yunchao S, Mingzhong Y. “Geothermal and waste heat recovery steam turbine”. Proceedings of the 24th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference; 1989.
- [16] Bhatia A, Agarwal S, Khurana S. “Optimal use of waste heat of condenser of thermal power plant”. 2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE), Feb; 2010.
- [17] Matsui N, Matsuo T, Ichiki Y, Kanaboshi T. “A new control method in startup progress for a super turbo generator as a shipboard waste heat recovery system”. 2012 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA); Nov. 2012.
- [18] Alexe F.-N, Darie G, Cenusă V.-E, Tutica D, Norisor M. “Recovery of waste heat from generator into the water preheating circuit, at steam thermal power plants”. 2015 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE); May 2015.
- [19] Nailen R. L. “Watts from Waste Heat-Induction Generators for the Process Industries”. IEEE Trans. on Ind. Applicat., vol. IA-19, no. 3, pp. 470–475; May 1983.
- [20] “TEM Advantages & Main Applications”. [Online]. 2015 [Cited 21 August 2015]; Available from: <http://kryothermtec.com/tem-advantages.html>
- [21] “Advantage & Disadvantages of a Thermoelectric Generator”. [Online]. 2015 [Cited 21 August 2015]; Available from: http://www.ehow.com/info_7856895_advantage-disadvantages-thermoelectric-generator.html
- [22] “Thermal power plant Advantages and Disadvantages”. [Online]. 2015 [Cited 21 August 2015]; Available from: <http://www.powerelectricalblog.com/2007/03/thermal-power-plantadvantages-and.html>



- [23] “การบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2558].
ได้จาก :<http://medi.moph.go.th/center9/toolman/03.pdf>
- [24] “Engineering Scoping Study of Thermoelectric Generator System for Industrial Waste Heat Recovery”. [Online]. 2015 [Cited 22 August 2015]; Available from:
http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/industries_technologies/imf/pdfs/tegg_final_report_13.pdf
- [25] “World’s most efficient thermoelectric material developed”. [Online]. 2015 [Cited 22 August 2015]; Available from:
<http://www.gizmag.com/most-efficient-thermoelectric-material/24210/>
- [26] Han H.S, Young S, Ji T.H, Young-Jun J, Lee D, Sang J.K., Oh D.H, “Heat sink design for a thermoelectric cooling system”. 2008 11th Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems; May 2008.
- [27] Zhou S, Sammakia B.G, White B, Borgesen P. “A multiscale modeling of Thermoelectric Generators for conversion efficiency optimization”. 13th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems; May 2012.
- [28] Bouknadel A, Rah I, Omari H.E. “Comparative study of fin geometries for heat sinks in natural convection”. 2014 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC); Oct. 2014.
- [29] Ekpu M., Bhatti R, Ekere N, Mallik S, Amalu E, Otiaba K. “Investigation of effects of heat sinks on thermal performance of microelectronic package,” 3rd IEEE International Conference on Adaptive Science and Technology (ICAST 2011); Nov. 2011.
- [30] Retnasamy V, Sauli Z, Vairavan R, Taniselass S. Mamat H. “high power LED heat dissipation simulation analysis via heat sink fin variation”. 2014 IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE2014); Aug. 2014.
- [31] Hassan K.S. “Heat exchanger design and development for automotive exhaust waste heat recovery using thermoelectric devices”. (2012) (Order No. 1533228). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (1294045555). Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/1294045555?accountid=50152>
- [32] Voss T. J, Subbian V, Beyette F.R. “Feasibility of energy harvesting techniques for wearable medical devices”. 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; Aug. 2014.
- [33] อธิวัฒน์ อุทาพงษ์. “การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำพร้อมระบบแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย; 2553.



- [34] นิตยา आयुยีน. “การศึกษาผลกระทบทิศทางการไหลของอากาศของระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2549.
- [35] “Thermoelectric Technical Reference Heat Sink Considerations”. [Online]. 2015 [Cited 22 August 2015]; Available from: <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric/thermalRef05>
- [36] Rodriguez A, Vian J. G, Astrain D, Martinez A. “Computational model and test bench for thermoelectric power generation, for thermoelectric parameters dependent on the temperature”. 2006 25th International Conference on Thermoelectrics; 2006.
- [37] Suzuki R. O. “Multi-Layered Thermoelectric Power Generator”. Oct. 2010. AST; vol. 74 pp. 1–8
- [38] Yan Y, Malen J. A. “Periodic heating amplifies the efficiency of thermoelectric energy conversion,” Energy Environ. Sci., vol. 6, no. 4, p. 1267; 2013.
- [39] ทศวรรษ สีตะวัน. “เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก”. พิมพ์ครั้งที่ 3. สกลนคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร; 2556.
- [40] นิตยา आयुยีน. “การออกแบบตู้ทำความเย็นและความร้อนขนาดเล็กโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2549.
- [41] “Flexing Peltier Plate”. [Online]. 2015 [Cited 23 August 2015]; Available from: <http://electronics.stackexchange.com/questions/177046/flexing-peltier-plate-physical-question>
- [42] “Gallery of Peltier Modules China”. [Online]. 2015 [Cited 22 August 2015]; Available from: <http://www.vwmin.org/peltier-modules-china.html>
- [43] นฤชิต ธาระชนผล. “เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์สำหรับอุปกรณ์ส่งแบบไร้สาย”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2555.
- [44] Miyazaki Y, Onoda M, Oku T, Kikuchi M, Ishii Y, Ono Y, Morii Y, Kajitani T. “Modulated Structure of the Thermoelectric Compound [Ca₂CoO₃] 0.62 CoO₂”. Journal of the Physical Society of Japan 71 (2), 491-497 (2002).
- [45] “The Thermoelectric Effects and Non-Equilibrium Thermodynamics”. [Online]. 2015 [Cited 22 August 2015]; Available from: http://www.angelfire.com/pro/riturajkalita/irrev_th_elec.htm
- [46] “The Best Thermoelectric Materials”. [Online]. 2015 [Cited 22 August 2015]; Available from: <http://chemgroups.northwestern.edu/kanatzidis/greatthermo.html>



- [47] นภัทร์พร เพชรน้อย. “การศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของเซรามิกออกไซด์เพอโรฟสไกต์ที่เจือไนโอเบียม”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2555.
- [48] ภาิณี รัตนนิลอมร. “การเตรียมสารกึ่งตัวนำชนิดพี $\text{Cu}_0.5\text{Ag}_{1.5}\text{InSe}_3$ สำหรับการประยุกต์ด้านเทอร์โมอิเล็กทริกโดยวิธีซอล-เจล”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2551.
- [49] ณัฐชนันท์ สำเภา. “การสังเคราะห์และศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของเซรามิก $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ ”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. สกลนคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร; 2551.
- [50] “Using new thin-film techniques to manage thermal and energy problems in embedded designs”. [Online]. 2015 [Cited 19 August 2015]; Available from: <http://www.embedded.com/design/real-world-applications/4007088/Using-new-thin-film-techniques-to-manage-thermal-and-energy-problems-in-embedded-designs>
- [51] “Advanced Thermoelectric Materials and Generator Technology for Automotive Waste Heat at G”. [Online]. 2015 [Cited 19 August 2015]; Available from: http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/thermoelectrics_app_2011/monday/meisner.pdf
- [52] สินเดิม ดีโต. “การศึกษาประสิทธิภาพของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบที่นำความร้อน”. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา; 2550.
- [53] “Thermoelectric Seebeck Generator-TEG”. [Online]. 2015 [Cited 19 August 2015]; Available from: <http://www.everredtronics.com/TEG.html>
- [54] “Next Generation Thermo-Electric Systems - Family of Projects”. [Online]. 2015 [Cited 19 August 2015]; Available from: <http://edge.rit.edu/edge/P07440/public/Home>
- [55] ณรงค์ สัจวารณที. “การศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนจากเตาเศรษฐกิจ”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2552.
- [56] “Electric Power Generated from Waste Heat”. [Online]. 2015 [Cited 19 August 2015]; Available from: http://www.aist.go.jp/aist_e/list/latest_research/2005/20050617/20050617.html
- [57] “การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้(Waste Heat Recovery)”. [ออนไลน์]. 2558 [สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558]. ได้จาก: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_17.pdf



- [58] Kagawa S, Sakamoto M, Hirayama N. “A practical test of a Bi-Te thermoelectric waste heat generator system in an incinerator using oil for heat transfer”. Eighteenth International Conference on Thermoelectrics. Proceedings, ICT’99 (Cat. No.99TH8407); 1999.
- [59] Tsuyoshi A, Kagawa S, Sakamoto M, Matsuura K. “A study of commercial thermoelectric generation in a processing plant of combustible solid waste”. XVI ICT “97. Proceedings ICT”97. 16th International Conference on Thermoelectrics (Cat. No.97TH8291); 1997.
- [60] ไพบุลย์ โกวิทย์เจริญกุล. “การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนเหลือทิ้งด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย; 2550.
- [61] กิติพันธ์ บุญอินทร์. “ระบบระบายความร้อนของเครื่องปลูกผลึกเชิงเดี่ยวของวัสดุแบบบริดจ์แมนโดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี; 2551.
- [62] Ding K, Feng S, Guo C, Zhang G, Chen G. “Structure optimization of heat sink for high power LED street lamp”. Proceedings of 2011 International Conference on Electronics and Optoelectronics; Jul. 2011.
- [63] Leonov V, Fiorini P, Sedky S, Torfs T, Van Hoof C. “Thermoelectric mems generators as a power supply for a body area network”. The 13th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, 2005. Digest of Technical Papers. TRANSDUCERS; 2005.
- [64] Jovanovic V, Ghamaty S, John C. “New Thermoelectric materials and applications” 13th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm); 2012
- [65] Rafiee M Siadatan, A, Afjei E, Abadi E. Z. A. “Improving the efficiency of thermal power plant using thermoelectric material”. 2012 4th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS2012); Jun. 2012.
- [66] Bhansali S, Khunsin W, Reparaz J. S, Wagner M. R, Roqueta J, Santiso J, Abad Mayor, Diaz-Chao B. P, Martin-Gonzalez M, Sotomayor Torres C. M. “SrTiO₃ thin films as high efficient thermoelectric materials”. 19th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC); Sep. 2013.
- [67] Otaki T, Kajiro W, Kobayashi K.i, Yosuke K., “A study on efficient power generation by utilizing temperature difference”. SICE Annual Conference 2010, The Grand Hotel, Taipei, Taiwan; 18-21August 2010



- [68] Park J.-S, Huh C.-S. “A study on improved efficiency and cooling LED lighting using a seebeck effect”. 2012 International Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE); Jul. 2012.
- [69] Yu-bing G, Zheng Z. “Impact of the LED chips placement and heat sink design on the multi-chip LED bump performance by the thermal and optical simulation”. 2014 15th International Conference on Electronic Packaging Technology; May 2014.
- [70] Torfs T, Leonov V, Yazicioglu R. F, Merken P, Van Hoof C, R. Vullers J. M, Gyselinckx B. “Wearable Autonomous Wireless Electro-encephalography System Fully Powered by Human Body Heat”. 2008 IEEE Sensors; Oct. 2008.



ภาคผนวก



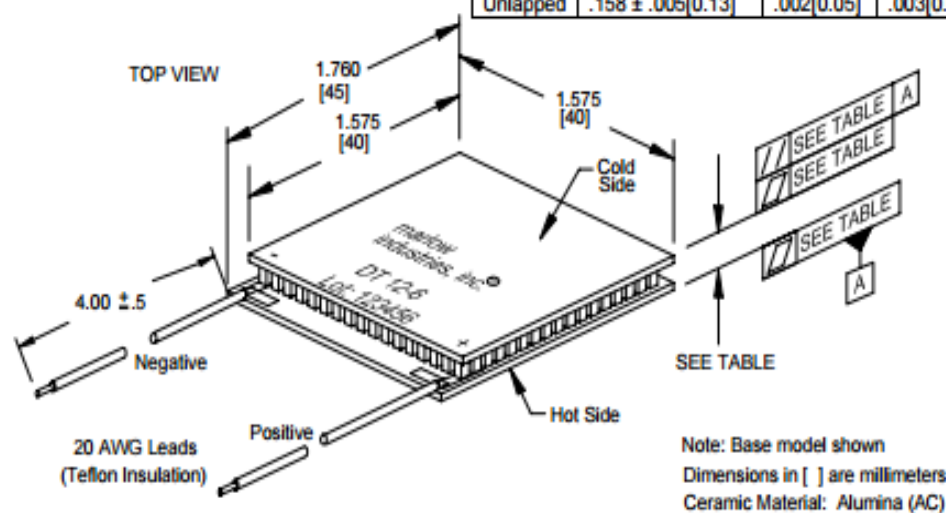
1 ข้อมูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลอง


marlow industries inc.®
Thermoelectric Cooler
DT12-6
Performance Values

Hot Side Temperature (°C)	27°C	50°C
ΔT_{max} (°C-dry N ₂):	66	74
Q _{max} (watts):	54	60
I _{max} (amps):	5.6	5.6
V _{max} (vdc):	14.7	16.4
AC Resistance (ohms):	2.2	---


Mechanical Characteristics

	Height	Flatness	Parallelism
Lapped	.154 ± .001(0.03)	.001(0.03)	.002(0.05)
Unlapped	.158 ± .005(0.13)	.002(0.05)	.003(0.08)


Ordering Options

Model Number	Description
DT12-6-01	Base Model
DT12-6-01L	Lapped Model
DT12-6-01S	Sealed Model
DT12-6-01LS	Lapped and Sealed Model

Features

- Solid state reliability
- Built with high temperature solder with the ability to withstand higher assembly processing temperatures for short periods of time (<160°C)
- Superior nickel diffusion barriers on elements
- High strength for rugged environment
- Porched configuration for improved leadwire strength
- RTV sealing option available to improve reliability in condensing environment
- Lapped option available for multiple module applications.

102-0155, Rev D

ภาพประกอบภาคผนวก 1.1 แสดงคุณลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริก ที่ใช้ในการทดลอง



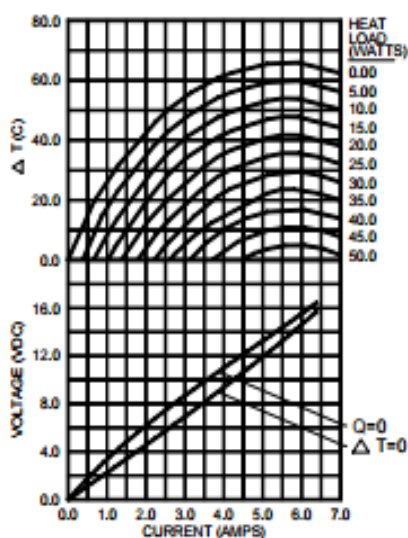
Thermoelectric Cooler

DT12-6

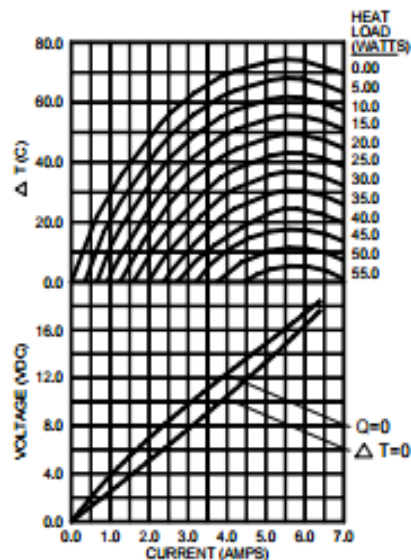
Performance Curves

Environment: One atmosphere dry nitrogen

Hot Side Temperature: 27°C



Hot Side Temperature: 50°C



For performance information in a vacuum or with hot side temperatures other than 27°C or 50°C, consult one of our Applications Engineers.

Installation

Consult Marlow Industries' Thermoelectric Installation Guide or reliability report for more details. For additional information, please contact one of our application engineers for technical support.

Operation Cautions

Maximum storage and operation +150°C.

For maximum reliability, storage and operation below 85°C is recommended. Excessive power cycling and powering through thermostatic (on/off) control is not recommended.



Marlow Industries, Inc.
10451 Vista Park Road
Dallas Texas 75238-1645
TEL: 214-340-4900
FAX: 214-341-5215
Internet: www.marlow.com

Marlow Industries Europe
Aberdeen House, South Road
Haywards Heath
West Sussex RH164NG UK
TEL: +44 (0)1444-443404
FAX: +44 (0)1444-443334

Marlow Industries Asia
1-1-8-401 Uehara
Shibuya-ku, Tokyo
151-0064 JAPAN
TEL: +81 (3) 5454-5280
FAX: +81 (3) 5454-5281

Copyright 2000, Marlow Industries, Inc. Marlow Industries reserves the right to change the design and specifications of products without notice. 102-0155, Rev D

ภาพประกอบภาคผนวก 1.2 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าและกระแสของเทอร์โมอิเล็กทริก
ที่ใช้ในการทดลอง



2 ตารางเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ ของเทอร์โมมิเตอร์ ชนิดเค

K^oC

TABLE 9 Type K Thermocouple — thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-270	-6.458											-270
-260	-6.411	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457	-6.458	-260
-250	-6.404	-6.408	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.438	-6.441	-250
-240	-6.344	-6.351	-6.358	-6.364	-6.370	-6.377	-6.382	-6.388	-6.393	-6.399	-6.404	-240
-230	-6.262	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337	-6.344	-230
-220	-6.158	-6.170	-6.181	-6.192	-6.202	-6.213	-6.223	-6.233	-6.243	-6.252	-6.262	-220
-210	-6.035	-6.048	-6.061	-6.074	-6.087	-6.099	-6.111	-6.123	-6.135	-6.147	-6.158	-210
-200	-5.891	-5.907	-5.922	-5.936	-5.951	-5.965	-5.980	-5.994	-6.007	-6.021	-6.035	-200
-190	-5.730	-5.747	-5.763	-5.780	-5.797	-5.813	-5.829	-5.845	-5.861	-5.876	-5.891	-190
-180	-5.550	-5.569	-5.588	-5.606	-5.624	-5.642	-5.660	-5.678	-5.695	-5.713	-5.730	-180
-170	-5.354	-5.374	-5.395	-5.415	-5.435	-5.454	-5.474	-5.493	-5.512	-5.531	-5.550	-170
-160	-5.141	-5.163	-5.185	-5.207	-5.228	-5.250	-5.271	-5.292	-5.313	-5.333	-5.354	-160
-150	-4.913	-4.936	-4.960	-4.983	-5.006	-5.029	-5.052	-5.074	-5.097	-5.119	-5.141	-150
-140	-4.669	-4.694	-4.719	-4.744	-4.768	-4.793	-4.817	-4.841	-4.865	-4.889	-4.913	-140
-130	-4.411	-4.437	-4.463	-4.490	-4.516	-4.542	-4.567	-4.593	-4.618	-4.644	-4.669	-130
-120	-4.138	-4.166	-4.194	-4.221	-4.249	-4.276	-4.303	-4.330	-4.357	-4.384	-4.411	-120
-110	-3.852	-3.882	-3.911	-3.939	-3.968	-3.997	-4.025	-4.054	-4.082	-4.110	-4.138	-110
-100	-3.554	-3.584	-3.614	-3.645	-3.675	-3.705	-3.734	-3.764	-3.794	-3.823	-3.852	-100
-90	-3.243	-3.274	-3.306	-3.337	-3.368	-3.400	-3.431	-3.462	-3.492	-3.523	-3.554	-90
-80	-2.920	-2.953	-2.986	-3.018	-3.050	-3.083	-3.115	-3.147	-3.179	-3.211	-3.243	-80
-70	-2.587	-2.620	-2.654	-2.688	-2.721	-2.755	-2.788	-2.821	-2.854	-2.887	-2.920	-70
-60	-2.243	-2.278	-2.312	-2.347	-2.382	-2.416	-2.450	-2.485	-2.519	-2.553	-2.587	-60
-50	-1.889	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.103	-2.138	-2.173	-2.208	-2.243	-50
-40	-1.527	-1.564	-1.600	-1.637	-1.673	-1.709	-1.745	-1.782	-1.818	-1.854	-1.889	-40
-30	-1.156	-1.194	-1.231	-1.268	-1.305	-1.343	-1.380	-1.417	-1.453	-1.490	-1.527	-30
-20	-0.778	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.006	-1.043	-1.081	-1.119	-1.156	-20
-10	-0.392	-0.431	-0.470	-0.508	-0.547	-0.586	-0.624	-0.663	-0.701	-0.739	-0.778	-10
0	0.000	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	-0.236	-0.275	-0.314			0
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397	0
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798	10
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203	20
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612	30
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023	40
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436	50
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851	60
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267	70
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682	80
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096	90
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509	100
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920	110
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328	120
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735	130
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138	140
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540	150
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941	160
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340	170
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739	180
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138	190

ภาพประกอบภาคผนวก 2.1 แสดงตารางเทียบแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ ของเทอร์โมมิเตอร์ ชนิดเค

3 ผลการทดลองการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดี่ยว ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง

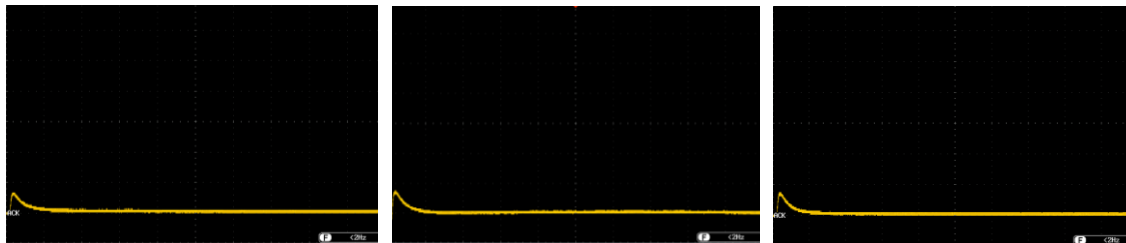
ผลการทดลองการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเดี่ยวด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง แบ่งเป็น 2 ส่วน

- 1) การจ่ายความร้อนอุณหภูมิแตกต่างกันแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่นครีบบระบายความร้อน
 - 2) การจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกันแก่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบระบายความร้อน
- โดยการทดลองทั้ง 2 ส่วนทดลองจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่อง และแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 100 200 300 400 500 600 700 800 900 และ 1,000 วินาที ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



3.2 กรณีเทอร์โมอิเล็กทริกไม่มีแผ่นครีบบัวยระบายความร้อน
การจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่อง

40 °C

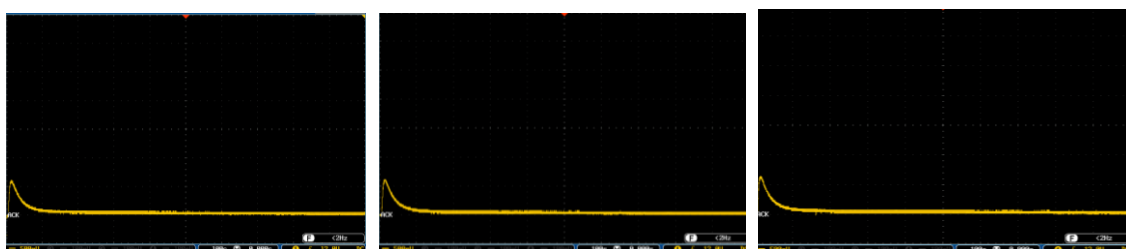


(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.02 โวลต์

(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.035 โวลต์

(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.032 โวลต์

ที่ 60 °C

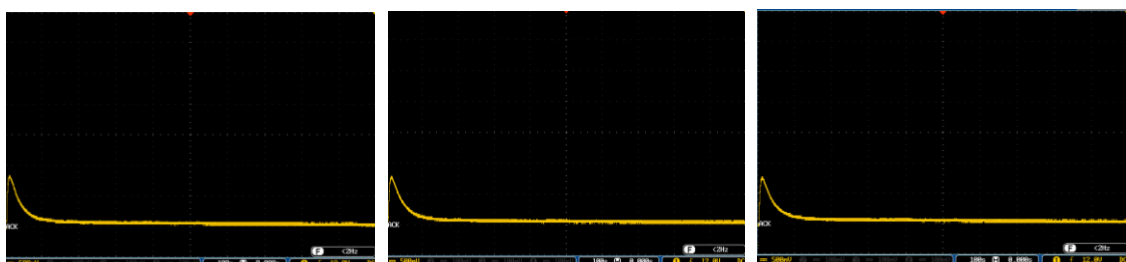


(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.051 โวลต์

(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.052 โวลต์

(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.057 โวลต์

ที่ 80 °C

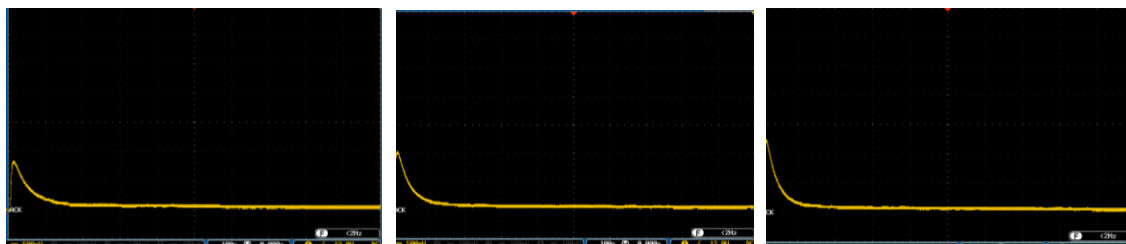


(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.080 โวลต์

(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.077 โวลต์

(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.076 โวลต์

ที่ 100 °C



(ฏ) แรงดันเฉลี่ย 0.098 โวลต์

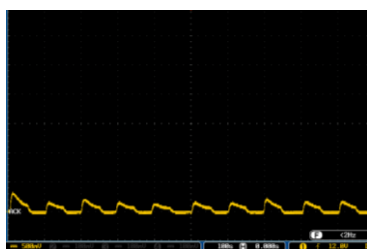
(ฒ) แรงดันเฉลี่ย 0.095 โวลต์

(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.109 โวลต์

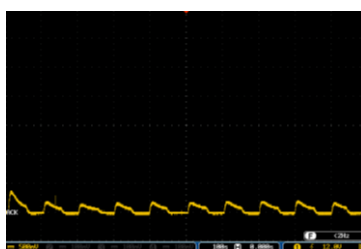
ภาพประกอบภาคผนวก 3.1 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่น
ครีบบัวยระบายความร้อนด้วยการจ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่ 40 60 80 และ 100 °C
ตามลำดับ;(500mv/div) (100s/div)



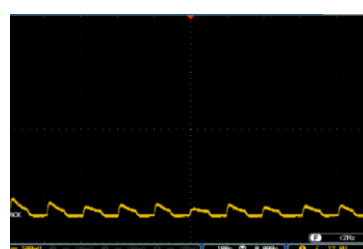
การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 100 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.051 โวลต์

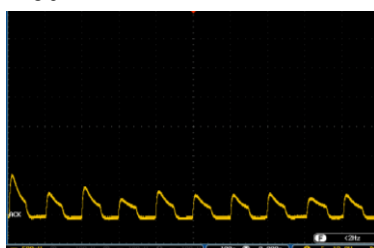


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.045 โวลต์

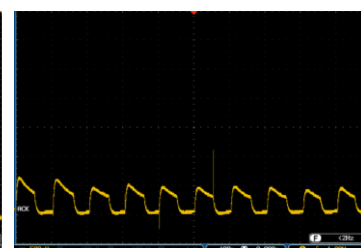


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.045 โวลต์

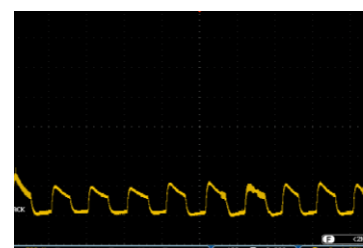
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.085 โวลต์

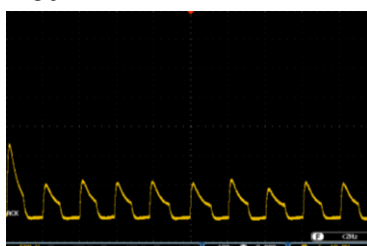


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.098 โวลต์

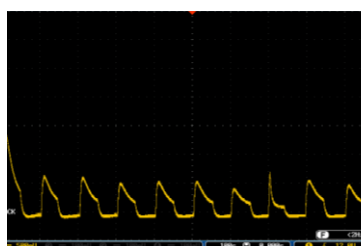


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.091 โวลต์

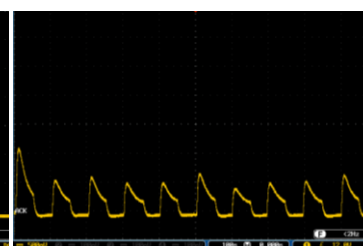
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.130 โวลต์

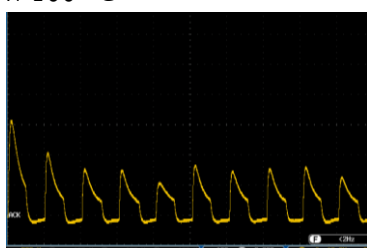


(ฃ) แรงดันเฉลี่ย 0.133 โวลต์

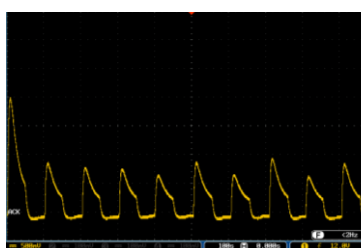


(ฅ) แรงดันเฉลี่ย 0.135 โวลต์

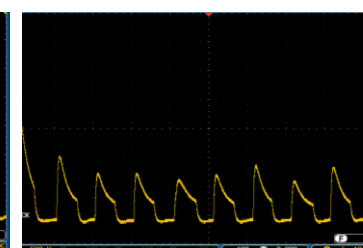
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.215 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.216 โวลต์

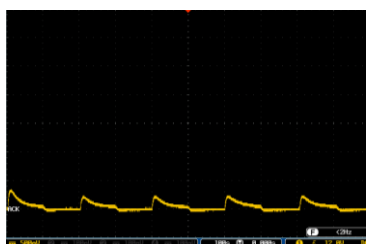


(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.218 โวลต์

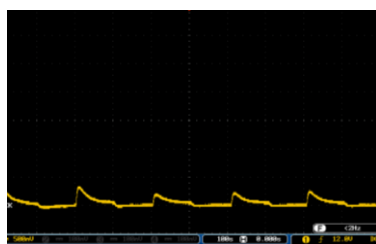
ภาพประกอบภาคผนวก 3.2 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่น
ครีบริบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 100 วินาที ที่ 40 60 80
และ 100 °C ตามลำดับ; (500mv/div) (100s/div)



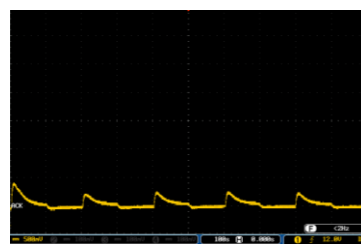
การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 200 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.030 โวลต์

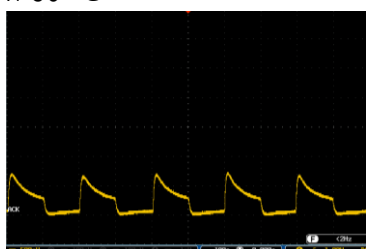


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.046 โวลต์

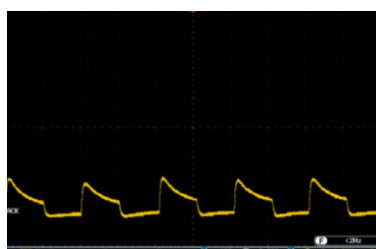


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.043 โวลต์

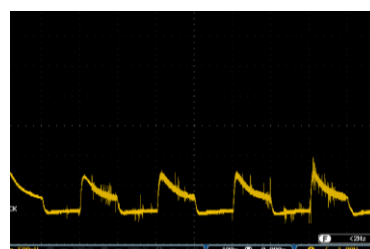
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.847 โวลต์

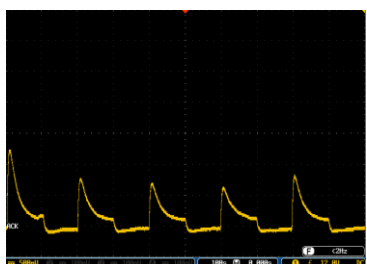


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.077 โวลต์

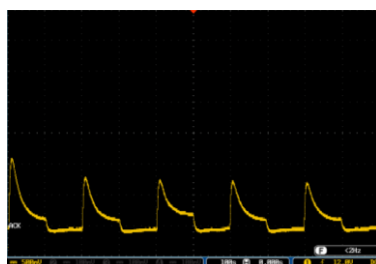


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.078 โวลต์

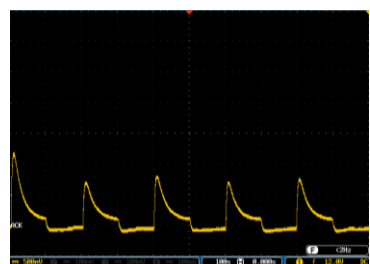
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.115 โวลต์

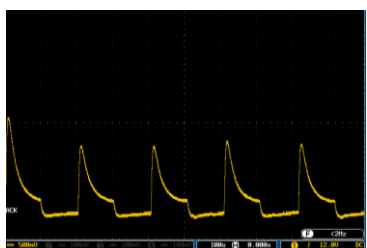


(ฌ) แรงดันเฉลี่ย 0.126 โวลต์

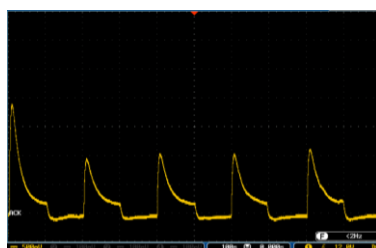


(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.117 โวลต์

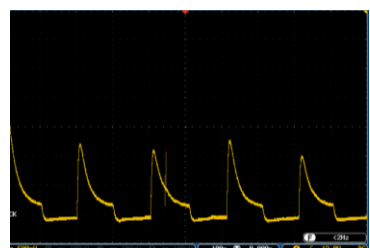
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.184 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.189 โวลต์

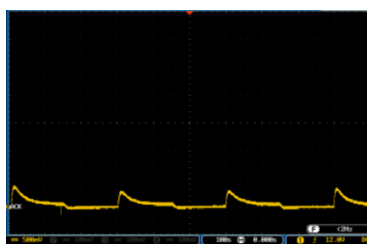


(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.196 โวลต์

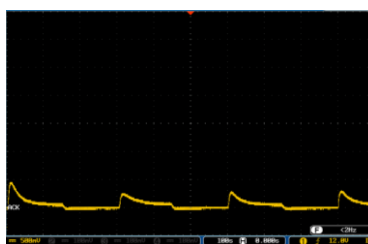
ภาพประกอบภาคผนวก 3.3 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่น
กระจายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 200 วินาที ที่ 40 60 80
และ 100 °C ตามลำดับ; (500mv/div) (100s/div)



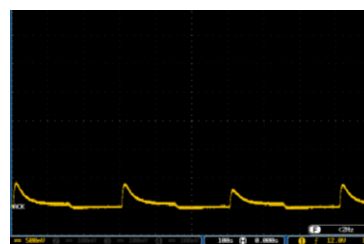
การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 300 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.055 โวลต์

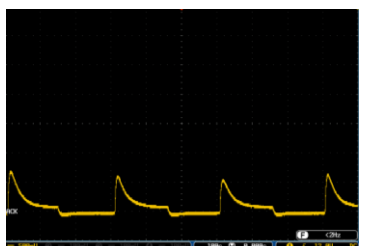


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.051 โวลต์

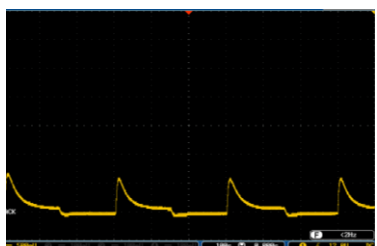


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.058 โวลต์

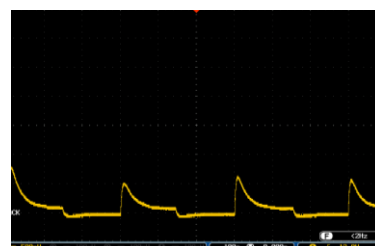
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.081 โวลต์

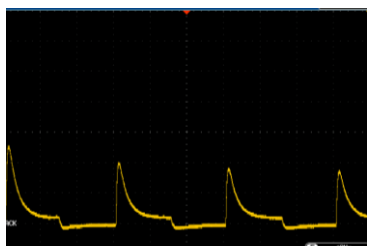


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.088 โวลต์

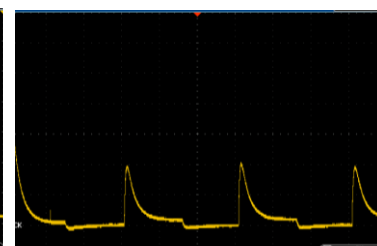


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.086 โวลต์

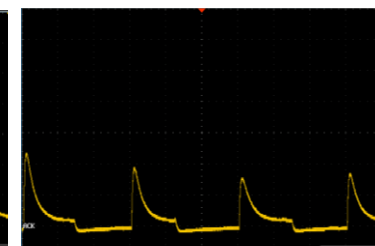
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.152 โวลต์

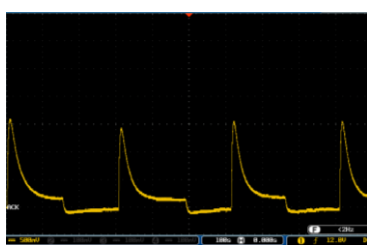


(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.134 โวลต์

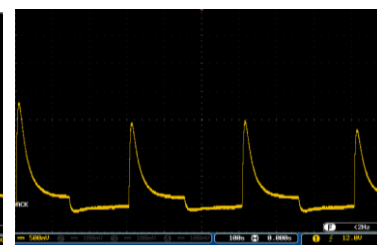


(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.117 โวลต์

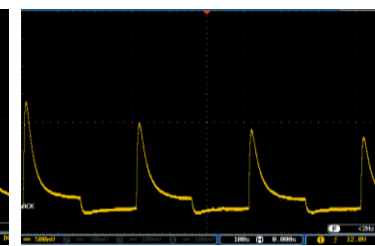
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.198 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.221 โวลต์

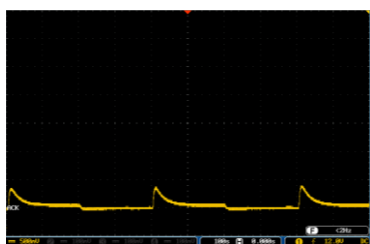


(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.201 โวลต์

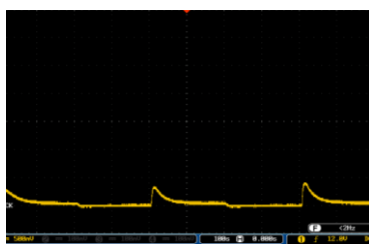
ภาพประกอบภาคผนวก 3.4 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่น
กระจายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 300 วินาที ที่ 40 60 80
และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



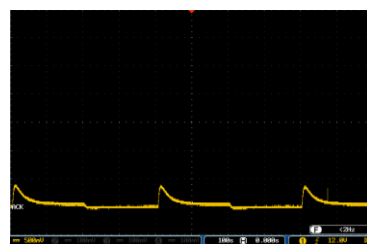
การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 400 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.048 โวลต์

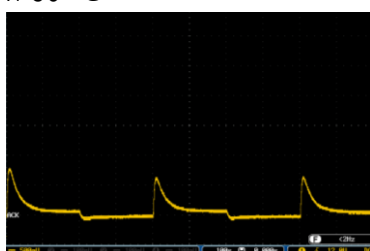


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.048 โวลต์

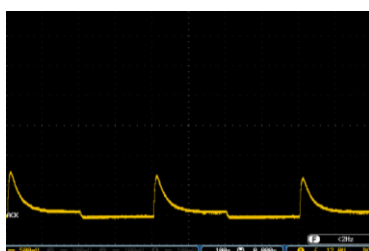


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.053 โวลต์

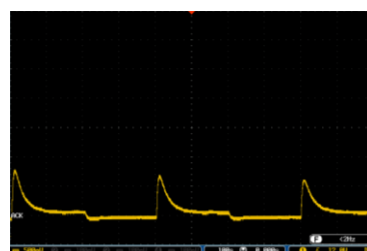
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.077 โวลต์

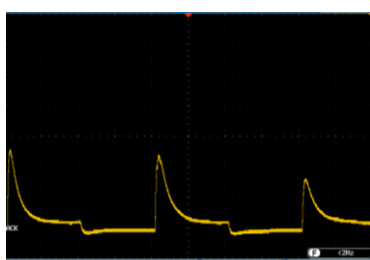


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.079 โวลต์

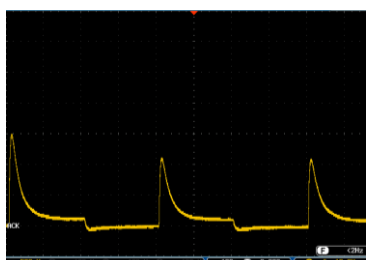


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.073 โวลต์

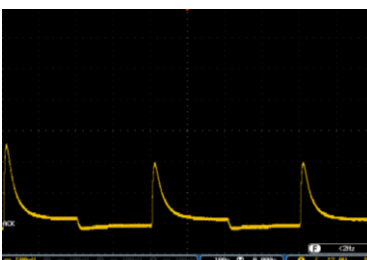
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.146 โวลต์

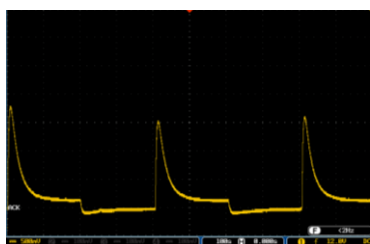


(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.136 โวลต์

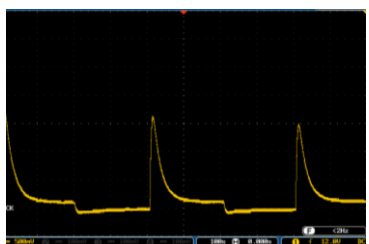


(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.113 โวลต์

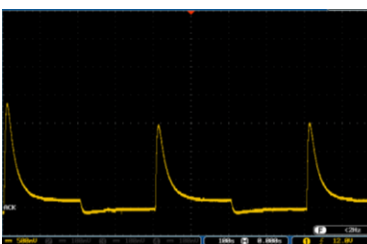
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.181 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.188 โวลต์

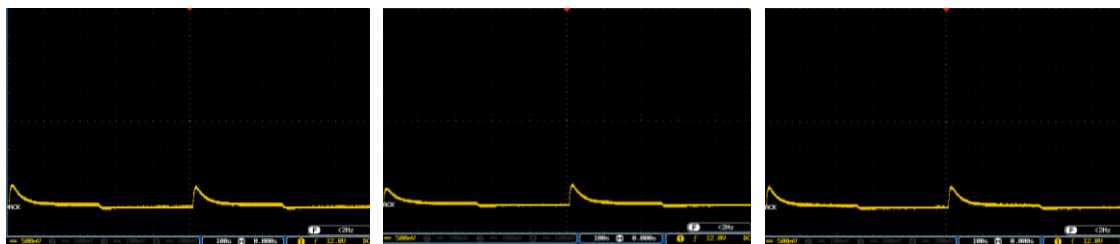


(ฒ) แรงดันเฉลี่ย 0.184 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.5 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่น
ครีระบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 400 วินาที ที่ 40 60 80
และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 500 วินาที
ที่ 40 °C

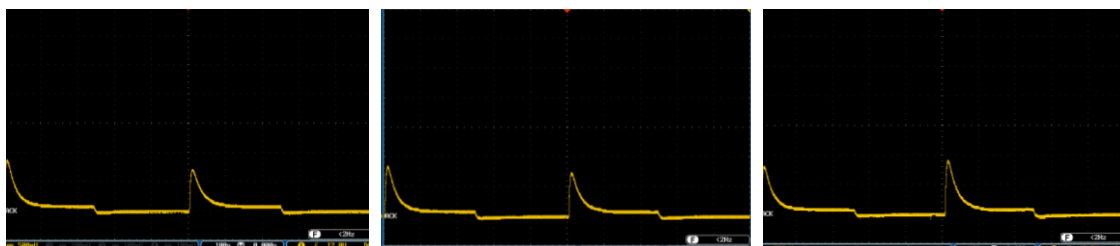


(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.025 โวลต์

(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.038 โวลต์

(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.030 โวลต์

ที่ 60 °C

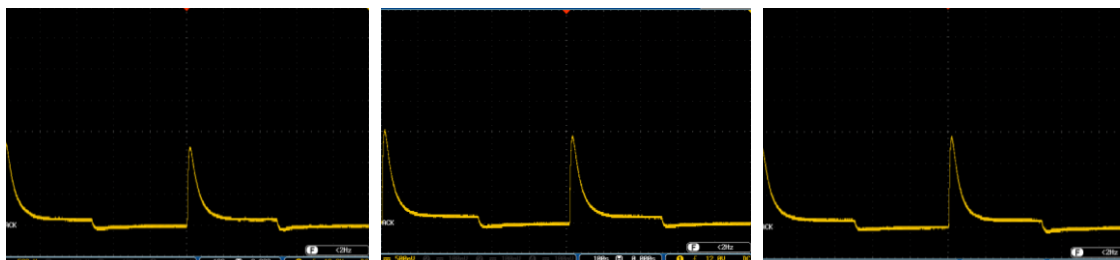


(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.061 โวลต์

(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.065 โวลต์

(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.065 โวลต์

ที่ 80 °C

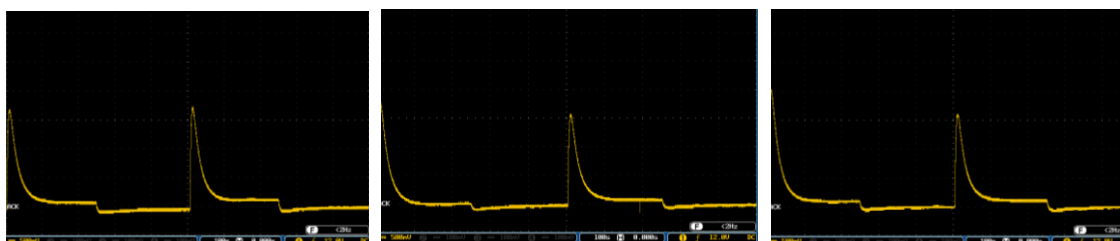


(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.107 โวลต์

(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.114 โวลต์

(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.099 โวลต์

ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.097 โวลต์

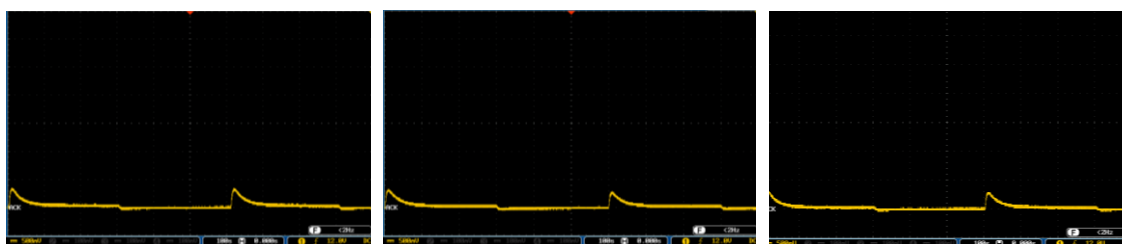
(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.108 โวลต์

(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.134 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.6 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่น
ครีบบระบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 500 วินาที ที่ 40 60 80
และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



การถ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 600 วินาที
ที่ 40 °C

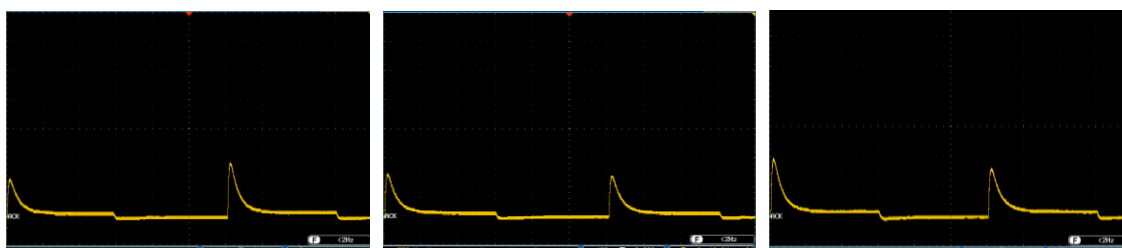


(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.024 โวลต์

(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.034 โวลต์

(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.030 โวลต์

ที่ 60 °C

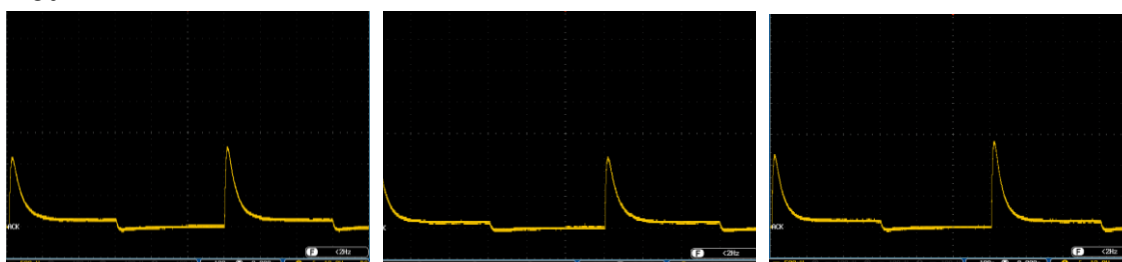


(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.057 โวลต์

(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.063 โวลต์

(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.085 โวลต์

ที่ 80 °C

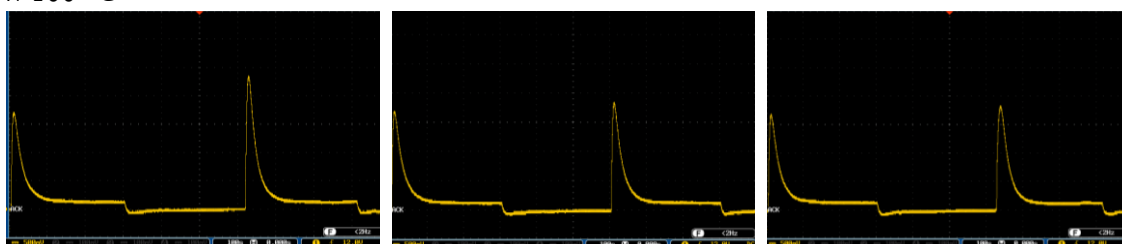


(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.113 โวลต์

(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.124 โวลต์

(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.115 โวลต์

ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.151 โวลต์

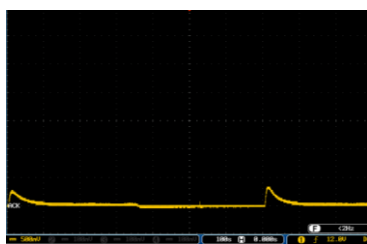
(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.167 โวลต์

(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.151 โวลต์

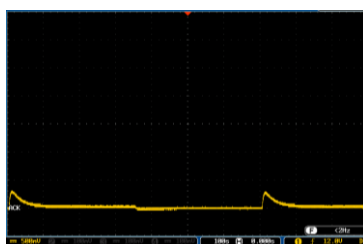
ภาพประกอบภาคผนวก 3.7 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ที่ไม่มีแผ่น
ครีระบายความร้อน ด้วยการถ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 600 วินาที ที่ 40 60 80
และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



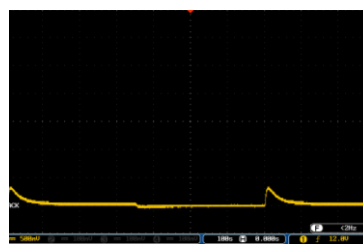
การถ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 700 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.024 โวลต์

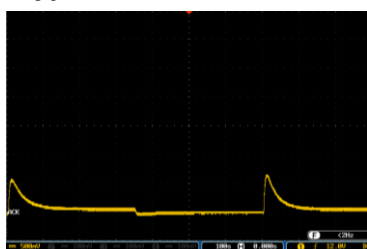


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.024 โวลต์

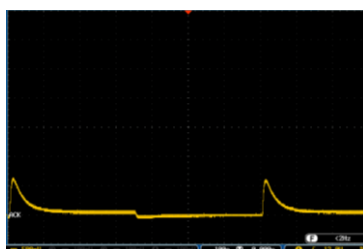


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.030 โวลต์

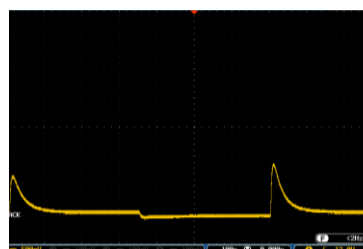
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.064 โวลต์

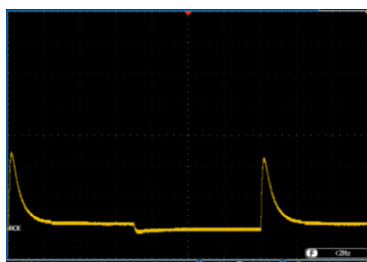


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.065 โวลต์

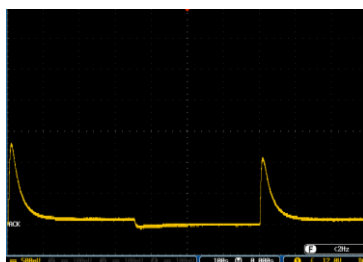


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.068 โวลต์

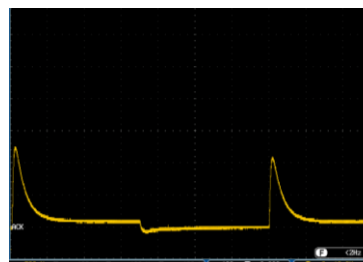
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.111 โวลต์

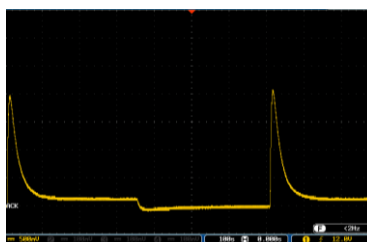


(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.110 โวลต์

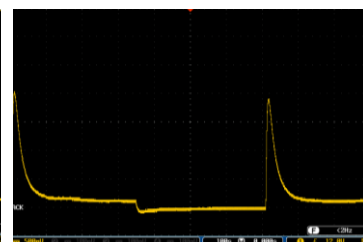


(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.119 โวลต์

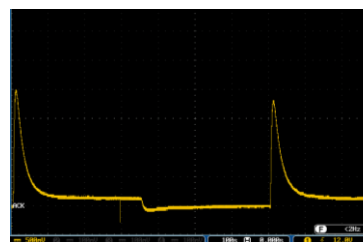
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.168 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.172 โวลต์

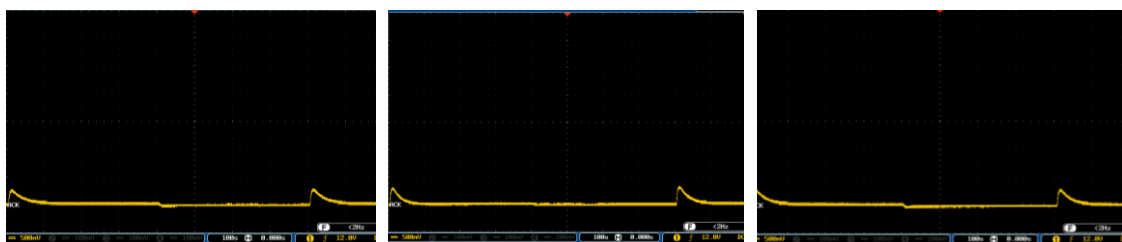


(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.174 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.8 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่น
กระจายความร้อน ด้วยการถ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 700 วินาที ที่ 40 60 80
และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 800 วินาที
ที่ 40 °C

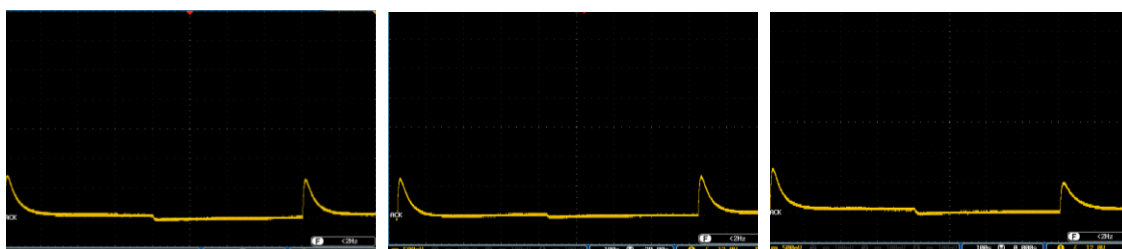


(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.022 โวลต์

(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.025 โวลต์

(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.021 โวลต์

ที่ 60 °C

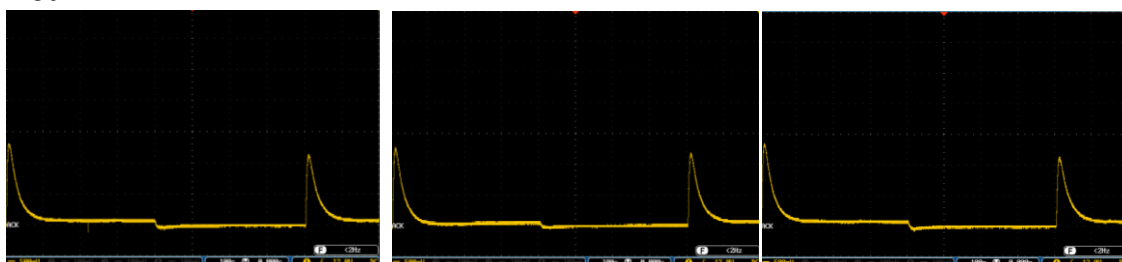


(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.034 โวลต์

(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.058 โวลต์

(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.068 โวลต์

ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.098 โวลต์

(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.101 โวลต์

(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.104 โวลต์

ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.147 โวลต์

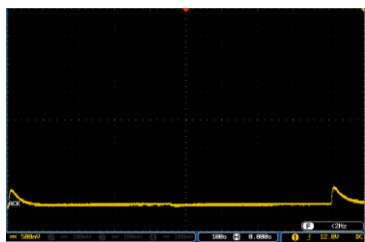
(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.159 โวลต์

(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.159 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.9 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ที่ไม่มีแผ่น
กระจายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 800 วินาที ที่ 40 60 80
และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



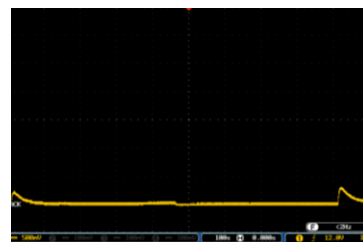
การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 900 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.026 โวลต์

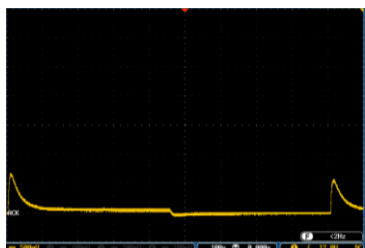


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.019 โวลต์

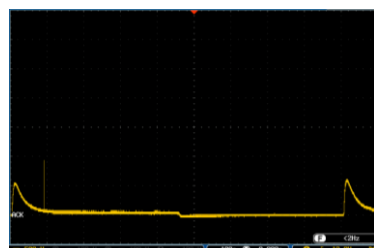


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.018 โวลต์

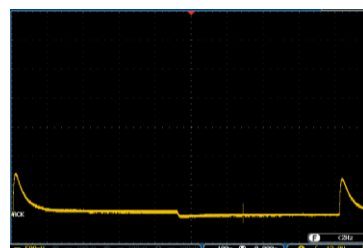
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.048 โวลต์

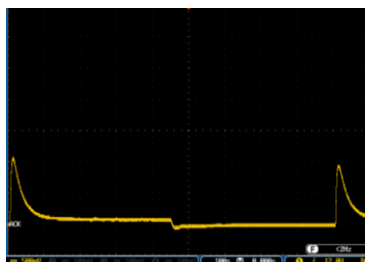


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.056 โวลต์

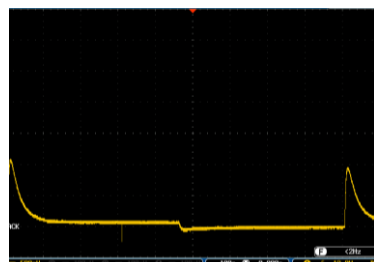


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.068 โวลต์

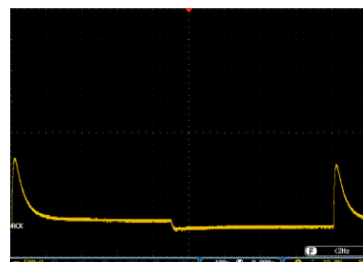
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.087 โวลต์

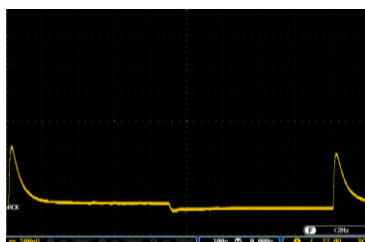


(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.088 โวลต์



(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.102 โวลต์

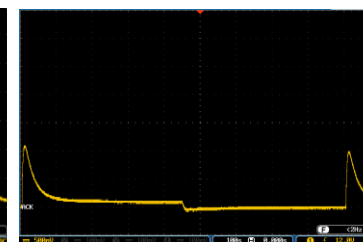
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.122 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.133 โวลต์

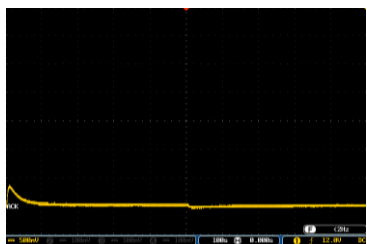


(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.166 โวลต์

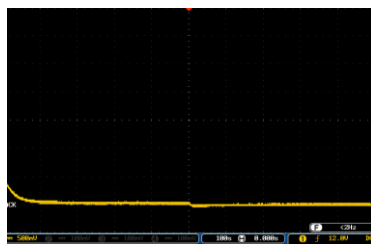
ภาพประกอบภาคผนวก 3.10 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่น
ครีบบระบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 900 วินาที ที่ 40 60 80
และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



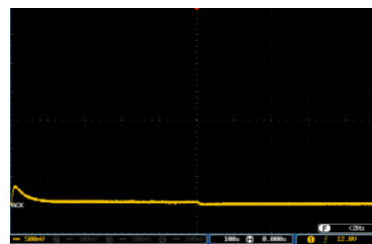
การถ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 1,000 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.022 โวลต์

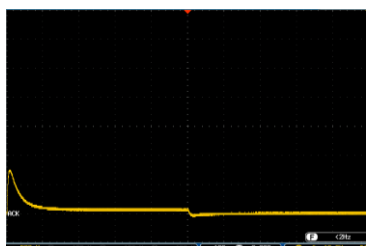


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.024 โวลต์

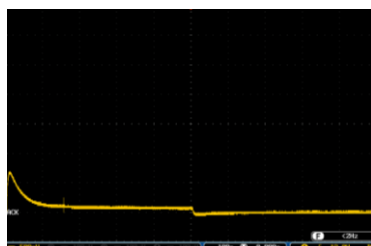


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.047 โวลต์

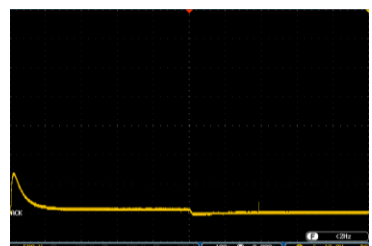
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.056 โวลต์

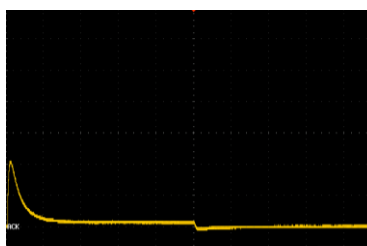


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.050 โวลต์

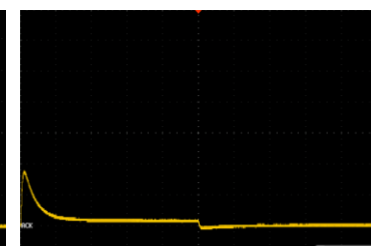


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.048 โวลต์

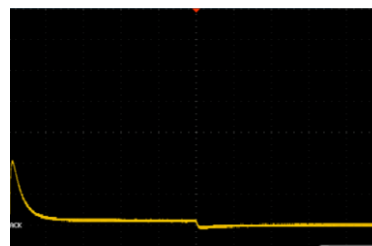
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.067 โวลต์

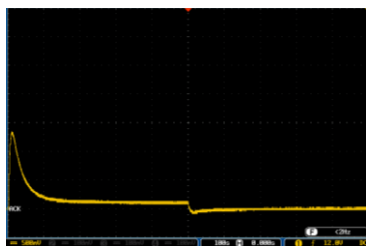


(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.063 โวลต์

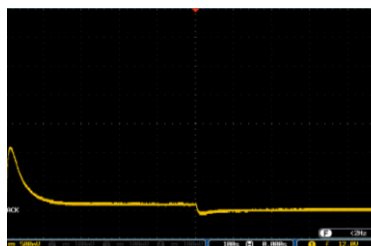


(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.067 โวลต์

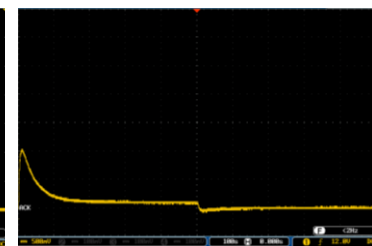
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.087 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.095 โวลต์



(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.084 โวลต์

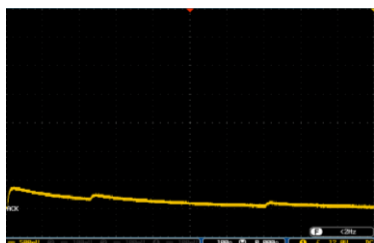
ภาพประกอบภาคผนวก 3.11 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีแผ่น
กระจายความร้อน ด้วยการถ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 1,00 วินาที ที่ 40 60 80
และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



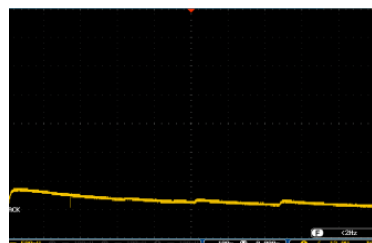
3.2 กรณีเทอร์โมอิเล็กทริกมีแผ่นครีบบัช่วยระบายความร้อน

การถ่ายความร้อนแบบต่อเนื่อง

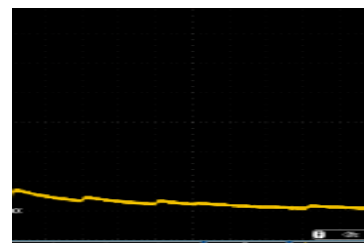
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.162 โวลต์

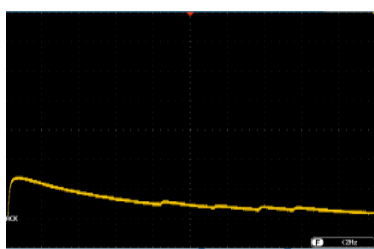


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.123 โวลต์

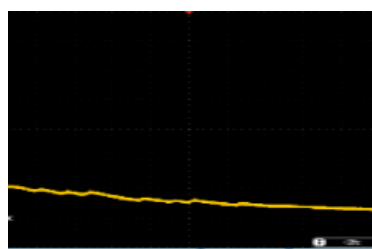


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.127 โวลต์

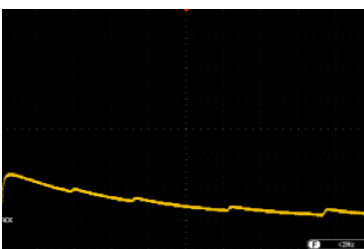
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.295 โวลต์

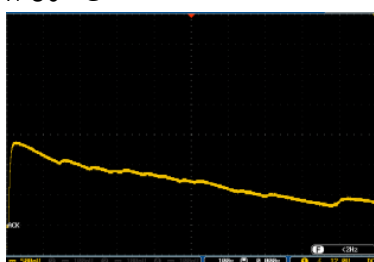


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.277 โวลต์

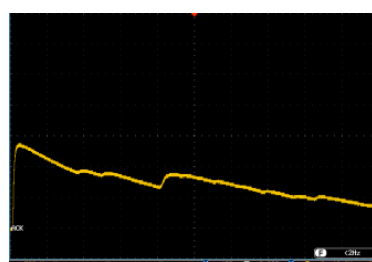


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.293 โวลต์

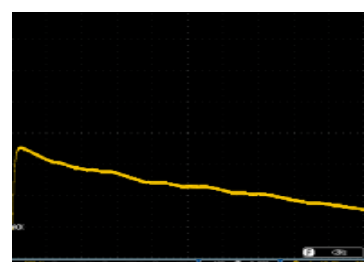
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.735 โวลต์

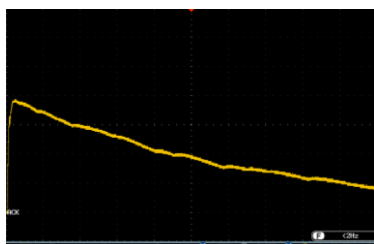


(ฃ) แรงดันเฉลี่ย 0.721 โวลต์

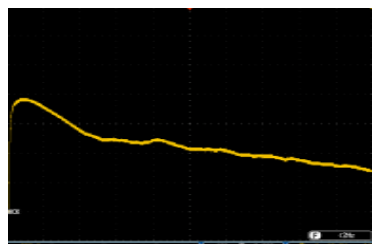


(ฅ) แรงดันเฉลี่ย 0.675 โวลต์

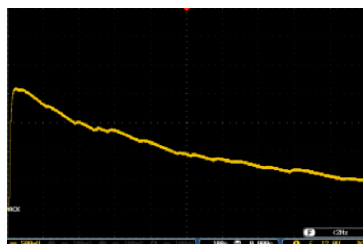
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 1.140 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 1 โวลต์

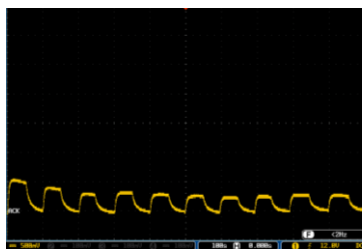


(ด) แรงดันเฉลี่ย 1.070 โวลต์

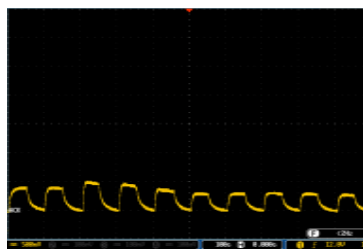
ภาพประกอบภาคผนวก 3.1 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบบัช่วยระบายความร้อนด้วยการถ่ายความร้อนแบบต่อเนื่องที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



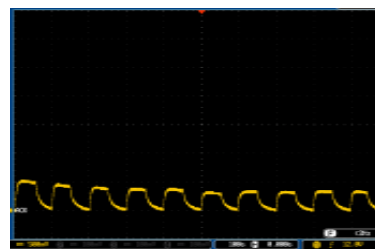
การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 100 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.180 โวลต์

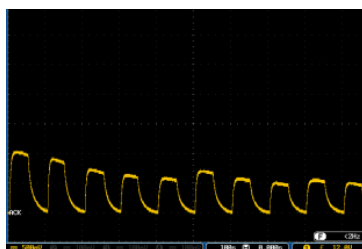


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.161 โวลต์

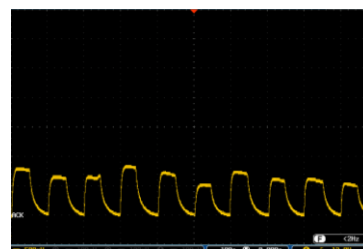


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.206 โวลต์

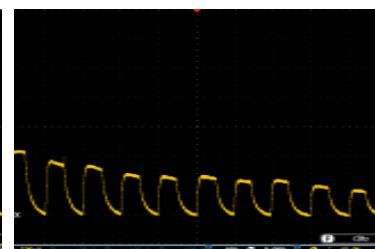
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.348 โวลต์

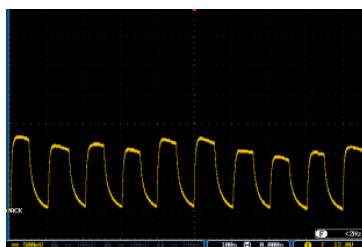


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.362 โวลต์

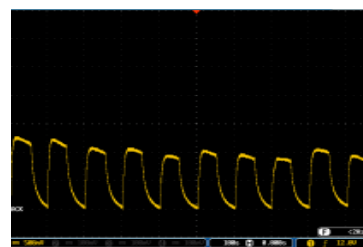


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.366 โวลต์

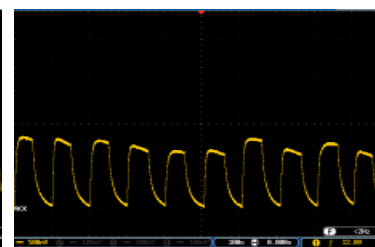
ที่ 80 °C



(ซ) แรงดันเฉลี่ย 0.601 โวลต์

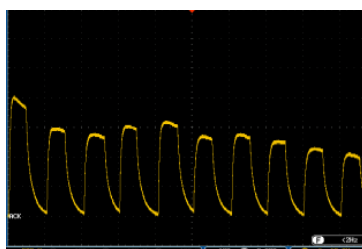


(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.659 โวลต์

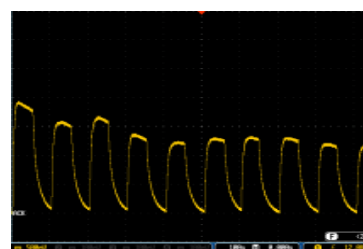


(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.663 โวลต์

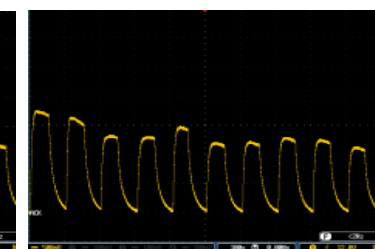
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.8 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.803 โวลต์

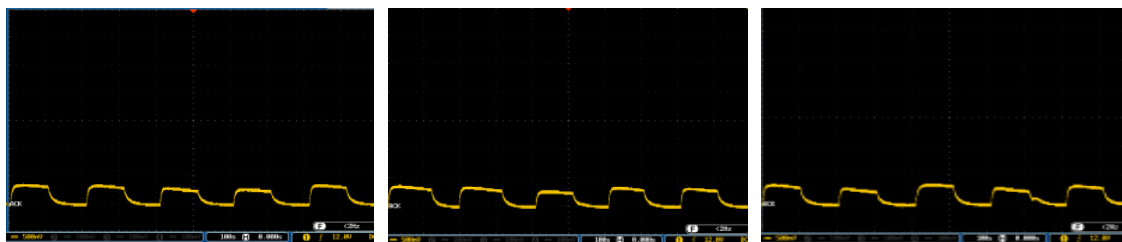


(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.749 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.2 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบริบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 100 วินาที ที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ ;(500mv/div) (100s/div)



การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 200 วินาที
ที่ 40 °C

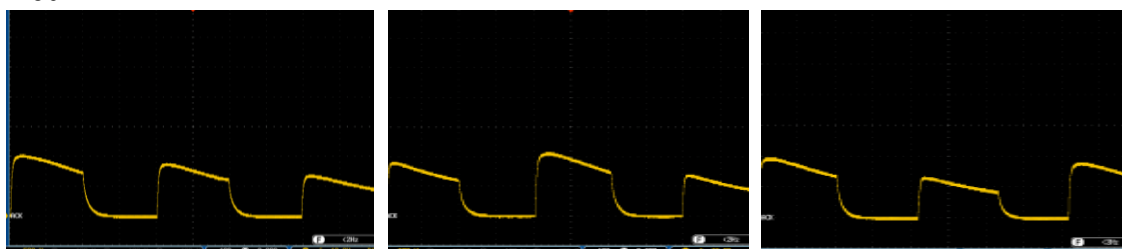


(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.154 โวลต์

(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.146 โวลต์

(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.139 โวลต์

ที่ 60 °C

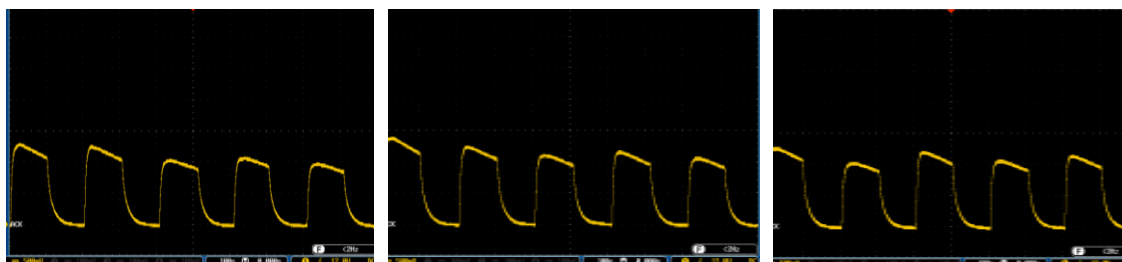


(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.444 โวลต์

(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.436 โวลต์

(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.422 โวลต์

ที่ 80 °C

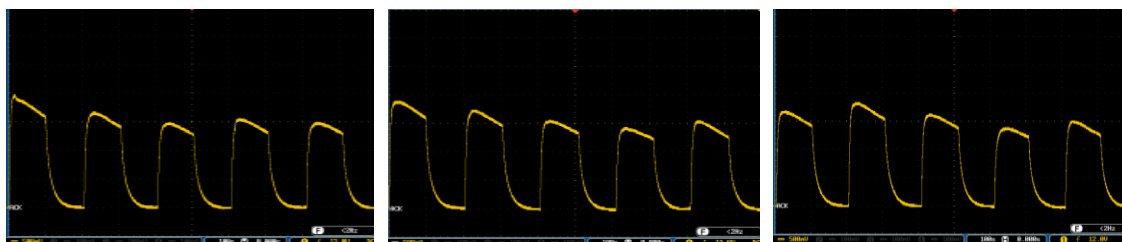


(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.587 โวลต์

(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.554 โวลต์

(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.553 โวลต์

ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.824 โวลต์

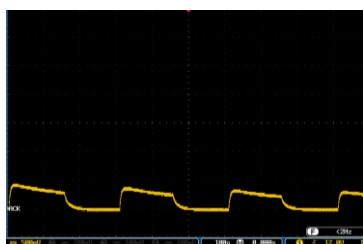
(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.810 โวลต์

(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.802 โวลต์

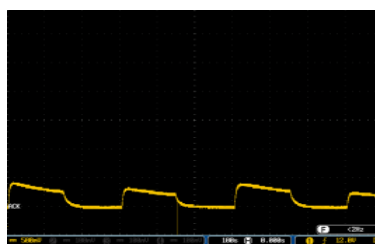
ภาพประกอบภาคผนวก 3.3 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบริบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 200 วินาที ที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ ;(500mv/div) (100s/div)



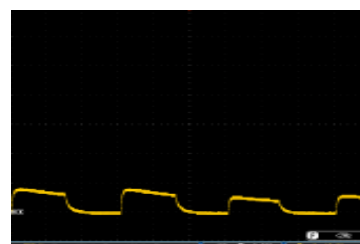
การถ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 300 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.143 โวลต์

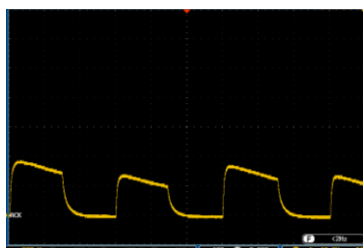


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.149 โวลต์

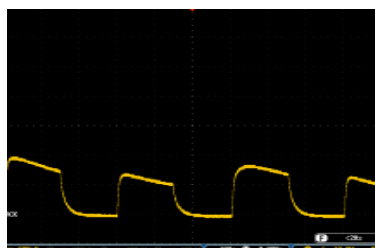


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.151 โวลต์

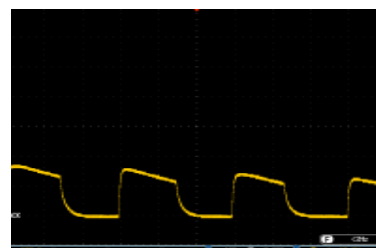
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.378 โวลต์

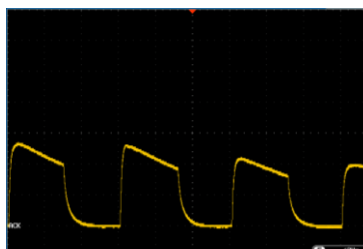


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.376 โวลต์

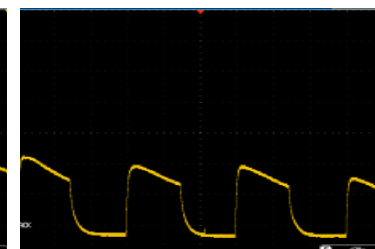


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.357 โวลต์

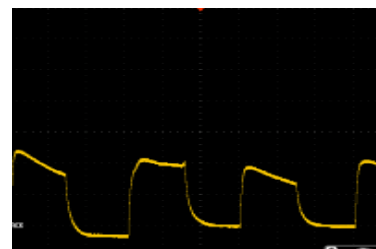
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.386 โวลต์

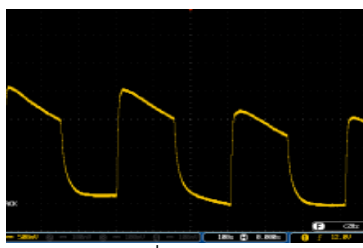


(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.486 โวลต์

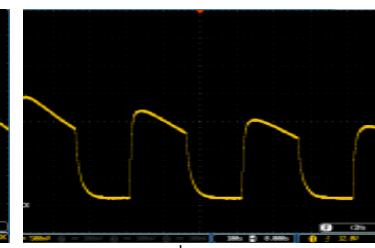


(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.596 โวลต์

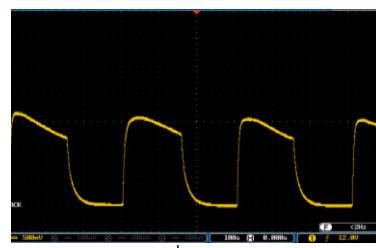
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.915 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.957 โวลต์

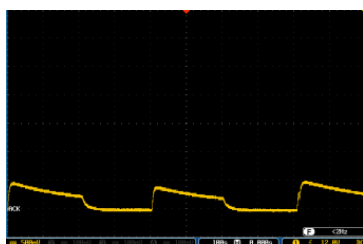


(ฒ) แรงดันเฉลี่ย 0.808 โวลต์

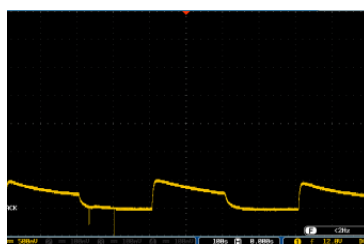
ภาพประกอบภาคผนวก 3.4 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบริบายความร้อน ด้วยการถ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 300 วินาที ที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ ;(500mv/div) (100s/div)



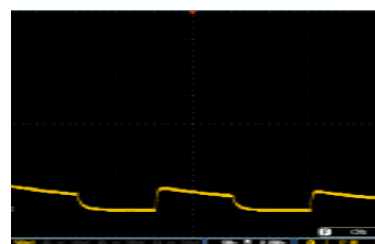
การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 400 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.193 โวลต์

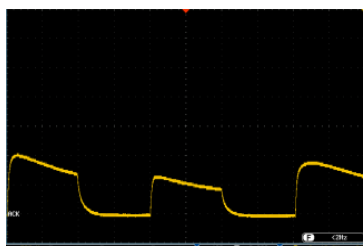


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.177 โวลต์

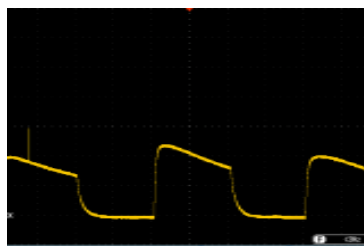


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.169 โวลต์

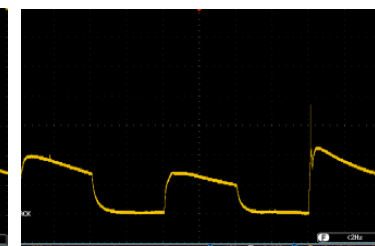
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.478 โวลต์

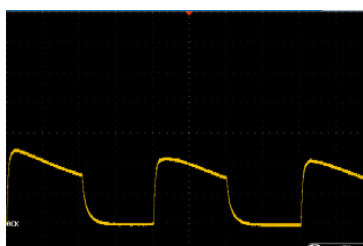


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.539 โวลต์

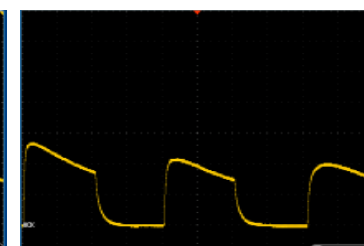


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.413 โวลต์

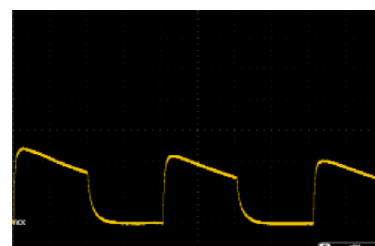
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.582 โวลต์

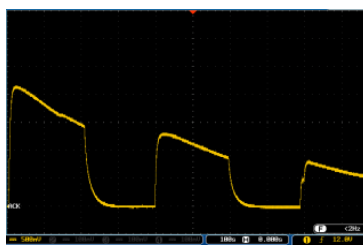


(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.576 โวลต์

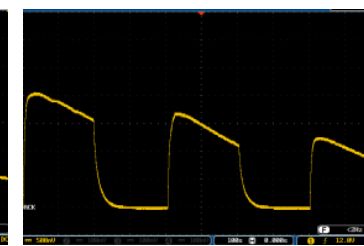


(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.554 โวลต์

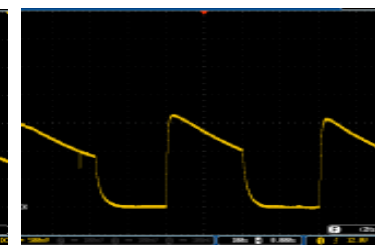
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.863 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.725 โวลต์

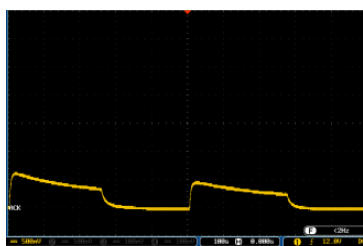


(ฒ) แรงดันเฉลี่ย 0.776 โวลต์

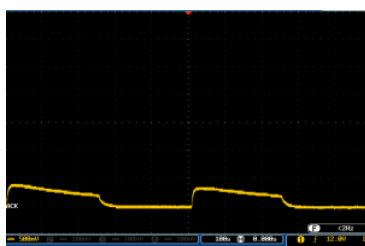
ภาพประกอบภาคผนวก 3.5 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบริบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 400 วินาที ที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



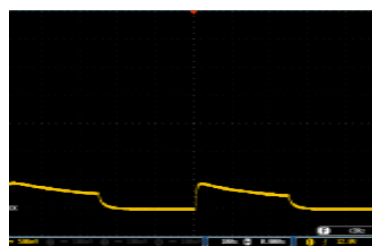
การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 500 วินาที
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.148 โวลต์

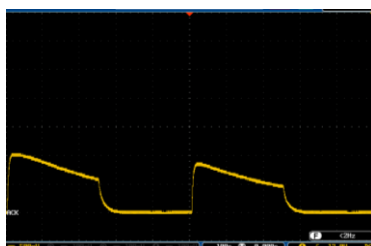


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.160 โวลต์

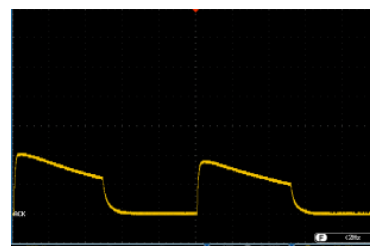


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.154 โวลต์

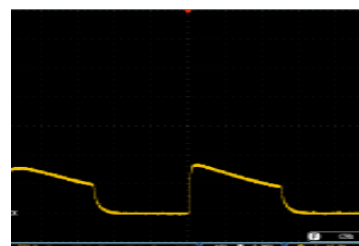
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.387 โวลต์

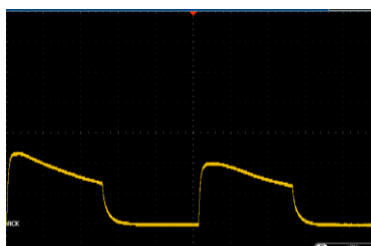


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.368 โวลต์

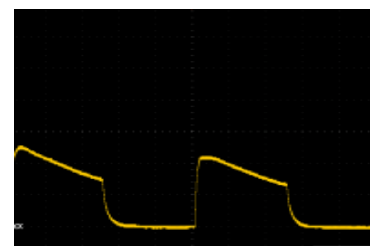


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.320 โวลต์

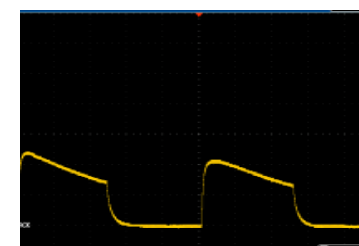
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.475 โวลต์

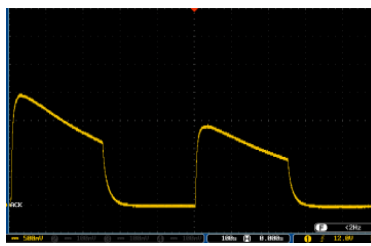


(ฃ) แรงดันเฉลี่ย 0.439 โวลต์

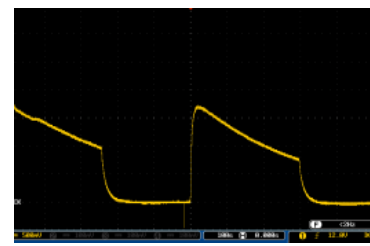


(ฅ) แรงดันเฉลี่ย 0.448 โวลต์

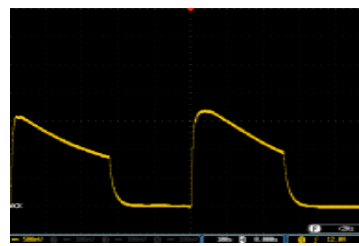
ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.695 โวลต์



(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.663 โวลต์

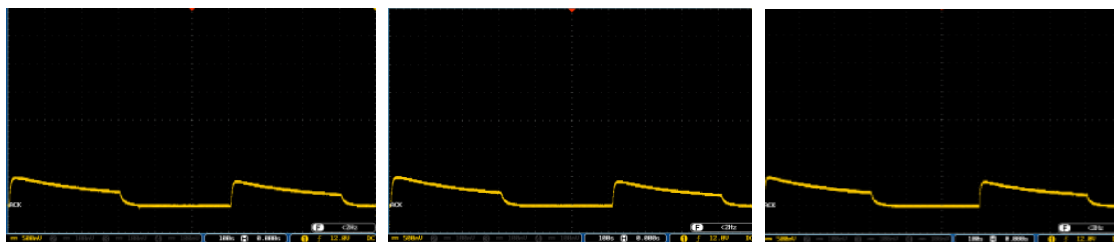


(ฒ) แรงดันเฉลี่ย 0.677 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.6 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบริบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 500 วินาที ที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 600 วินาที
ที่ 40 °C

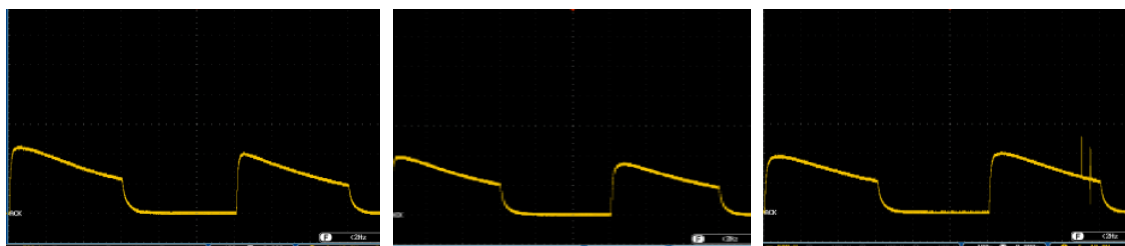


(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.173 โวลต์

(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.175 โวลต์

(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.174 โวลต์

ที่ 60 °C

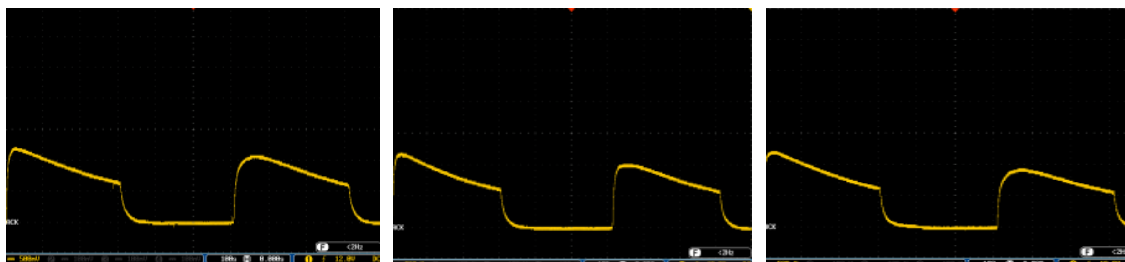


(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.428 โวลต์

(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.479 โวลต์

(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.467 โวลต์

ที่ 80 °C

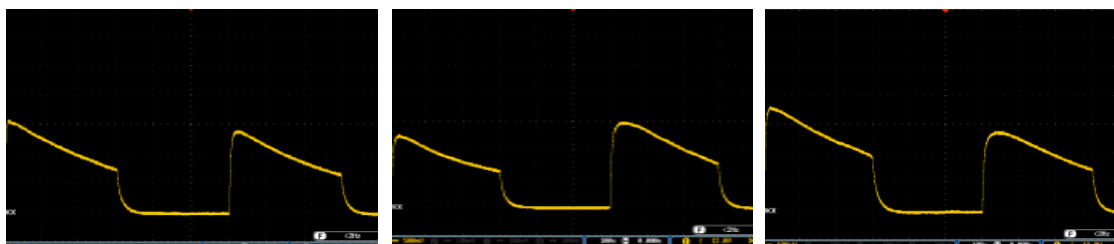


(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.497 โวลต์

(ฅ) แรงดันเฉลี่ย 0.533 โวลต์

(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.502 โวลต์

ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.609 โวลต์

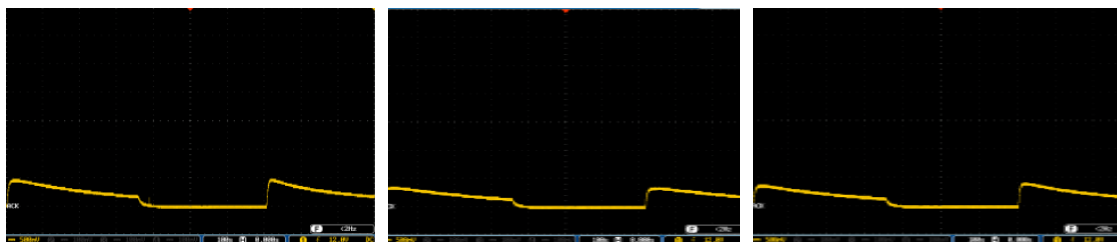
(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.624 โวลต์

(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.702 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.7 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบริบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 600 วินาที ที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 700 วินาที
ที่ 40 °C

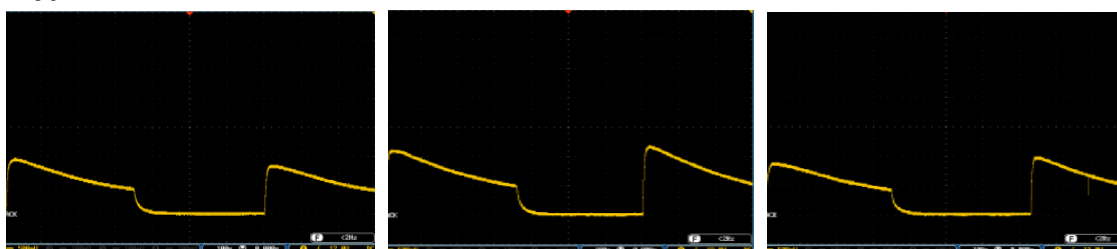


(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.136 โวลต์

(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.155 โวลต์

(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.143 โวลต์

ที่ 60 °C

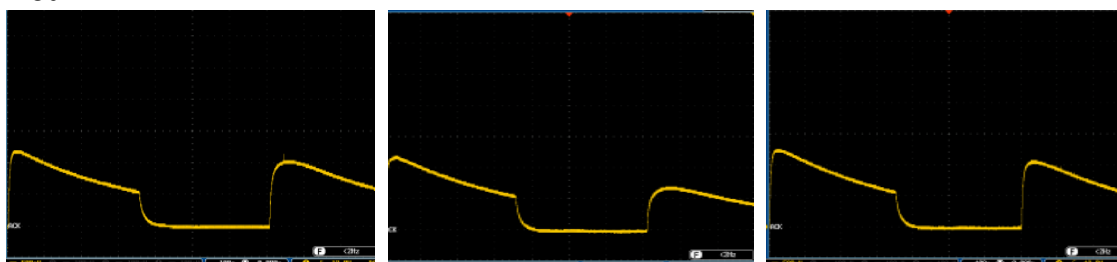


(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.528 โวลต์

(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.417 โวลต์

(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.421 โวลต์

ที่ 80 °C

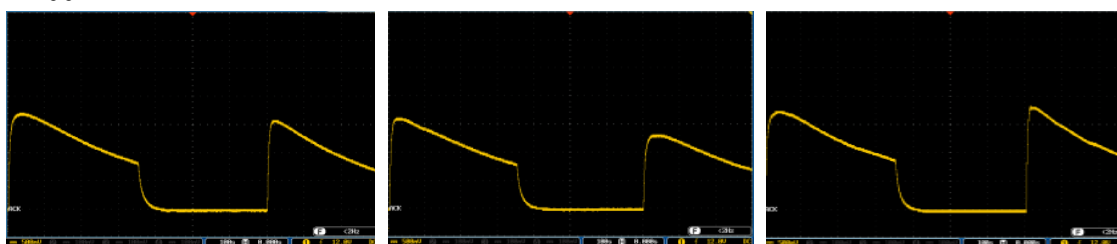


(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.444 โวลต์

(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.525 โวลต์

(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.540 โวลต์

ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.709 โวลต์

(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.764 โวลต์

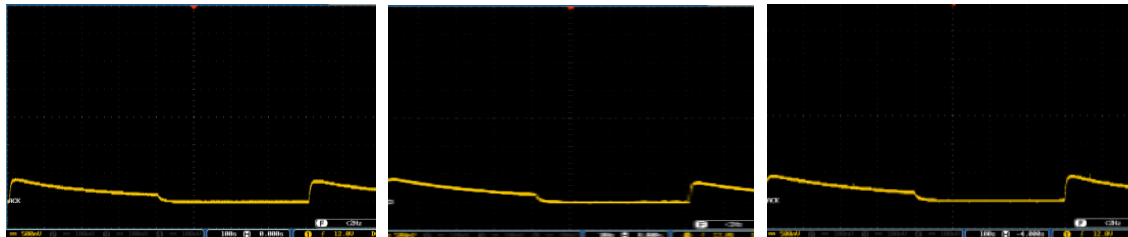
(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.823 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.8 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นคริสตัลระบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 700 วินาที ที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)

การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 800 วินาที



ที่ 40 °C

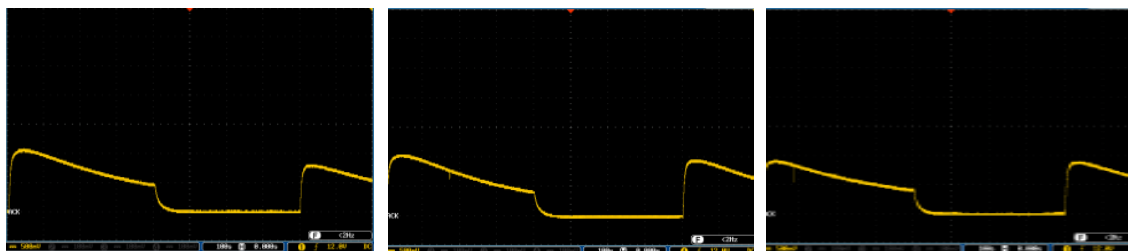


(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.145 โวลต์

(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.123 โวลต์

(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.163 โวลต์

ที่ 60 °C

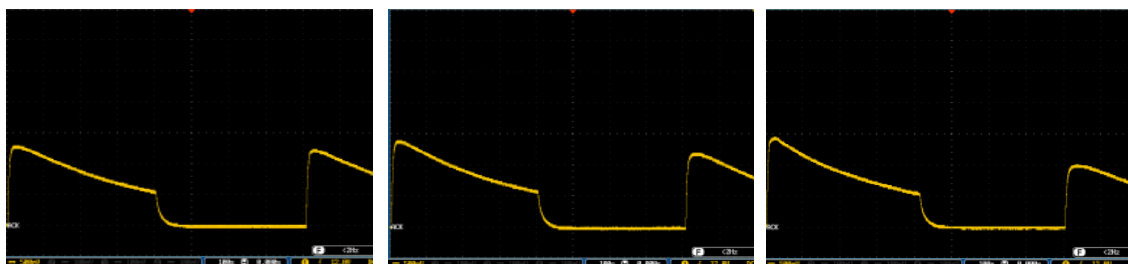


(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.431 โวลต์

(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.432 โวลต์

(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.402 โวลต์

ที่ 80 °C

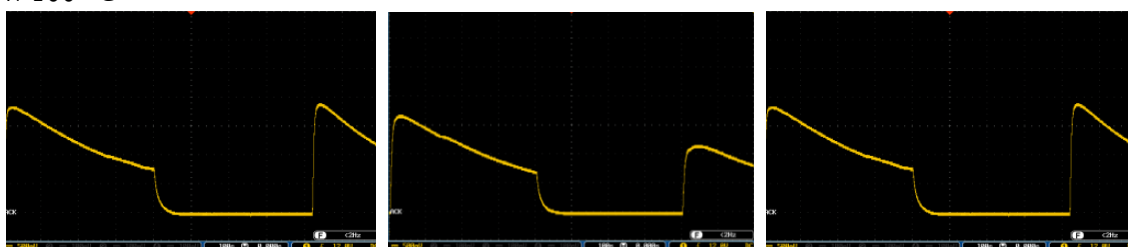


(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.522 โวลต์

(ญ) แรงดันเฉลี่ย 0.542 โวลต์

(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.538 โวลต์

ที่ 100 °C



(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.747 โวลต์

(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.636 โวลต์

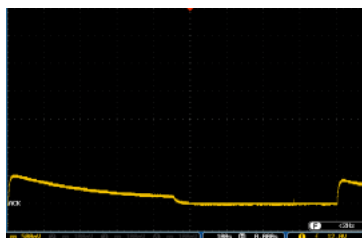
(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.715 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.9 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ที่มีแผ่นครีบริบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 800 วินาที ที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)

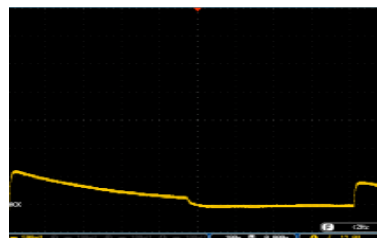
การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 900 วินาที



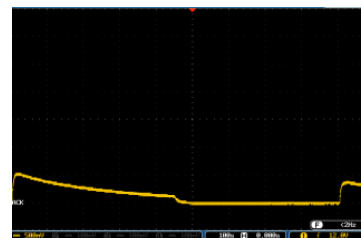
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.159 โวลต์

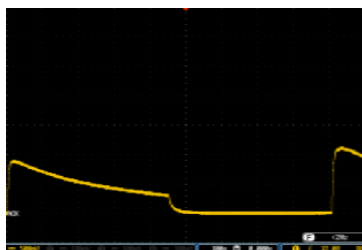


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.143 โวลต์

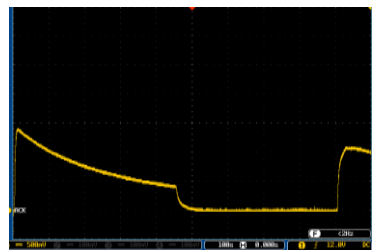


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.138 โวลต์

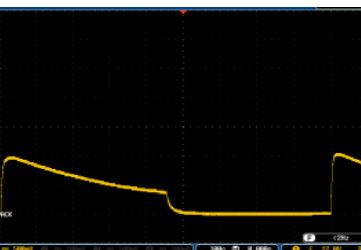
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.434 โวลต์

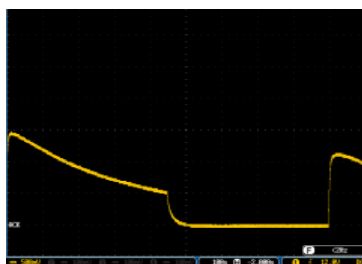


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.388 โวลต์

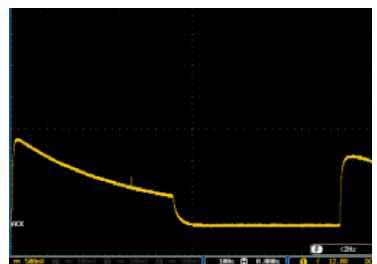


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.383 โวลต์

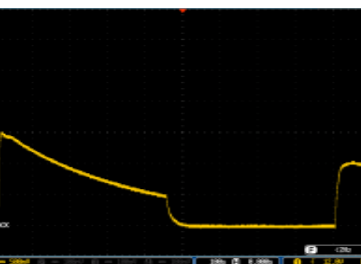
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.439 โวลต์

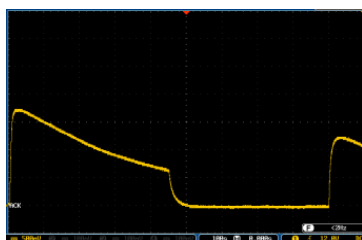


(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.502 โวลต์

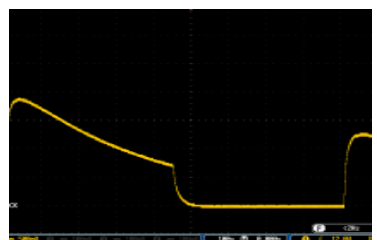


(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.475 โวลต์

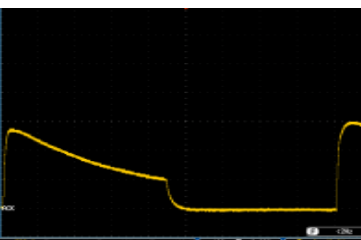
ที่ 100 °C



(ฏ) แรงดันเฉลี่ย 0.661 โวลต์



(ถ) แรงดันเฉลี่ย 0.606 โวลต์



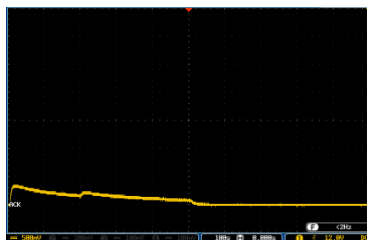
(ด) แรงดันเฉลี่ย 0.642 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.10 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่น
 กระจายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 900 วินาที ที่ 40 60 80
 และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)

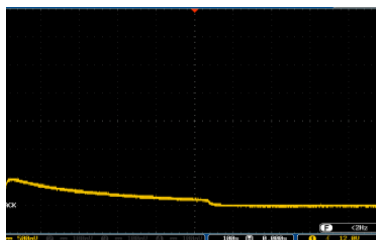
การจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ที่คาบเวลา 1,000 วินาที



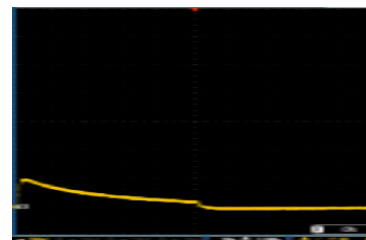
ที่ 40 °C



(ก) แรงดันเฉลี่ย 0.111 โวลต์

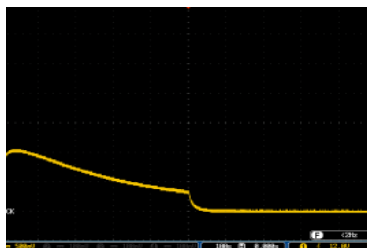


(ข) แรงดันเฉลี่ย 0.076 โวลต์

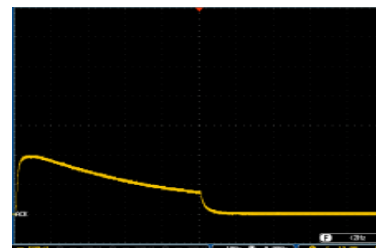


(ค) แรงดันเฉลี่ย 0.091 โวลต์

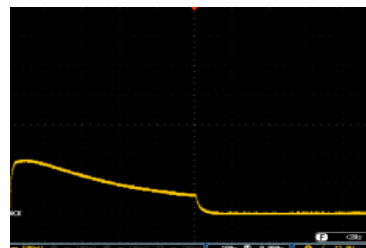
ที่ 60 °C



(ง) แรงดันเฉลี่ย 0.326 โวลต์

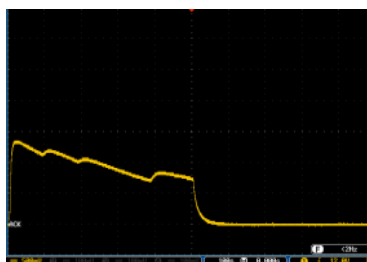


(จ) แรงดันเฉลี่ย 0.322 โวลต์

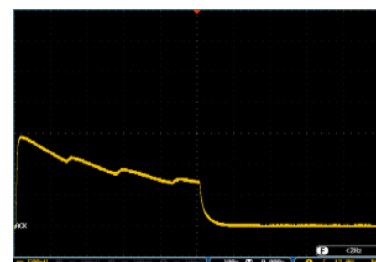


(ฉ) แรงดันเฉลี่ย 0.283 โวลต์

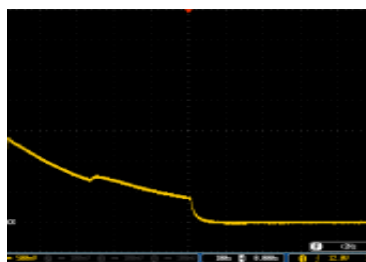
ที่ 80 °C



(ช) แรงดันเฉลี่ย 0.488 โวลต์

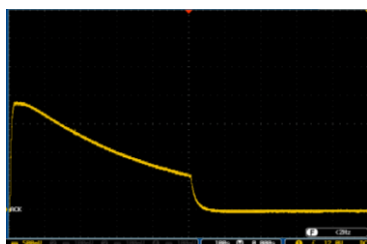


(ฐ) แรงดันเฉลี่ย 0.484 โวลต์

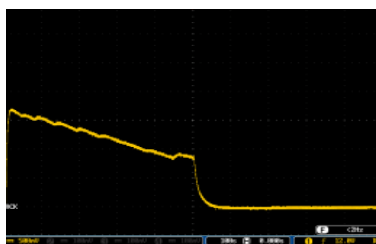


(ฑ) แรงดันเฉลี่ย 0.375 โวลต์

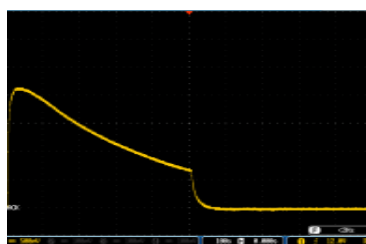
ที่ 100 °C



(ฎ) แรงดันเฉลี่ย 0.685 โวลต์



(ฏ) แรงดันเฉลี่ย 0.575 โวลต์



(ถ) แรงดันเฉลี่ย 0.659 โวลต์

ภาพประกอบภาคผนวก 3.11 แสดงลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแผ่นครีบริบายความร้อน ด้วยการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่องที่คาบเวลา 1,00 วินาที ที่ 40 60 80 และ 100 °C ตามลำดับ ; (500mv/div) (100s/div)



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายปิยพัฒน์ พานเมือง
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2532
จังหวัด และประเทศเกิด	จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2551 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสารคามพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000 พ.ศ.2554 ปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ.2559 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ที่อยู่ติดต่อได้	บ้านเลขที่ 157/1 หมู่ 24 ตำบล หัวขวาง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัด มหาสารคาม 44140

