

การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล  
**ELECTRICITY GENERATION USING THERMOELECTRIC  
MODULE**

นายภัทรารุช จารีกพาณิชย์	รหัส	49361423
นายวัลลภ ปานสุด	รหัส	49363724
นายสุรศักดิ์ เครือเป็ง	รหัส	49363830

คณะวิทยาศาสตร์
ชั้นที่รับ..... 14 กค 2553
เลขทะเบียน..... 15072864 e.2
เลขเรียกหนังสือ..... ๗๕
มหาวิทยาลัยธนบุรี ๖๗๘ก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี  
ปีการศึกษา 2552





## ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

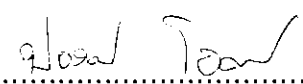
หัวข้อโครงการ	:	การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล
ผู้ดำเนินโครงการ	:	นายภัทรารุช จาริกพาณิชย์ รหัสนิสิต 49361423
	:	นายวัลลภ ปานสุด รหัสนิสิต 49363724
	:	นายสุรศักดิ์ เครือเป็ง รหัสนิสิต 49363830
ที่ปรึกษาโครงการ	:	ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว
สาขาวิชา	:	วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	:	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	:	2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบ โครงการวิศวกรรมเครื่องกล

  
..... ประธานกรรมการ  
(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

  
..... กรรมการ  
(ผศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์)

<b>หัวข้อโครงการ</b>	: การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล			
<b>ผู้ดำเนินโครงการ</b>	นายภัทรารุช	จารึกพาณิชย์	รหัสนิติต	49361423
	นายวัลลภ	ปานสุด	รหัสนิติต	49363724
	นายสุรศักดิ์	เครือเป็ง	รหัสนิติต	49363830
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	: ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว			
<b>สาขาวิชา</b>	: วิศวกรรมเครื่องกล			
<b>ภาควิชา</b>	: วิศวกรรมเครื่องกล			
<b>ปีการศึกษา</b>	: 2552			

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลที่อาศัย ความร้อนทิ้งจากท่อไอเสียรถมอเตอร์ไซด์ โดยมีรูปแบบในการทดลองคือ ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก กับท่อไอเสียรถมอเตอร์ไซด์และด้านเย็นก็ใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อน โดยแบ่งการทดลอง ออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ 1) ทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริก 1 ตัว 2) ทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 ตัว 3) ทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัว ทำการบันทึกอุณหภูมิ,แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัวจะให้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามากที่สุด คือให้แรงดันไฟฟ้า 0.48 โวลต์ และให้กระแสไฟฟ้า 0.0689 แอมแปร์ เมื่อนำมาคำนวณหา ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพที่ต่ำมาก โดยที่เทอร์โมอิเล็กทริก 1 ตัวจะให้ประสิทธิภาพเพียง 0.003% และถ้าใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัวเราก็จะได้ ประสิทธิภาพเท่ากับ 0.01%เท่านั้น เหตุผลก็คือเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลที่ใช้ในการทดลองเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้สำหรับระบายความร้อนให้กับ ซีพียู ของคอมพิวเตอร์และเมื่อใช้เวลานานจะทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกเสียหายได้ ดังนั้นถ้าต้องการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลควรเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรงเพราะจะทำให้ได้ ประสิทธิภาพที่มากขึ้นและระยะเวลาใช้งานก็นานขึ้นด้วย

**Project Title** : Electricity generation using thermoelectric module

**Name** : Mr. Phathrawut Charuekpanit Student ID 49361423  
 Mr. Wallop Pansud Student ID 49363724  
 Mr. Surasak Khruapeng Student ID 49363830

---

**Project Advisor** : Dr.Anunchai Youkaew

**Major** : Mechanical Engineering

**Department** : Mechanical Engineering

**Academic Year** : 2009

.....

### Abstract

This project aims to generate electricity using thermoelectric modules discharged from exhaust heat motorcycle. The model is on trial. Installing thermoelectric motorcycle with the exhaust and the cold air is used as a cooling. Divided trials into three phases: 1 Experiment with thermo electric 1 unit 2) Experiment with thermoelectric 2 units for 3) Experiments with Thermo electric 3 units. The recording temperature, voltage and current every 1 minute for 10 minutes, which showed that the three series will be the voltage and current as possible. Is the voltage 0.48 V and power 0.0689 amperes when used to calculate the performance of thermoelectric found that thermoelectric efficiency low . Thermoelectric 1 unit will be effective only 0.003% and if the thermoelectric 3 units will have performance 0.01% only reason is that thermoelectric modules use to test the thermoelectric used for cooling the CPU of the computer, and when the time will be thermoelectric damage. So if you want to generate electricity by using thermoelectric Modules should use thermoelectric used to thermoelectric generator directly because of the higher performance and time use it. longer with

## กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

จากการที่รายวิชา วิศวกรรมทางวิศวกรรมเครื่องกลบรรจุในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นเหตุให้ได้รับมอบหมายให้จัดทำโครงการเรื่อง “การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล” ในระหว่างการปฏิบัติงานนั้นทำให้กลุ่มของข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ในด้านต่างๆมากมายและปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ดังนี้

- ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูลการทำโครงการและคำแนะนำตลอดการทำโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
- อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และบุคคลท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยช่วยสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำโครงการทางวิศวกรรมจนสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
<hr/>	
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญกราฟ	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ปรัชญาการณั้เทอร์โมอิเล็กทริก	3
2.2 การเกิดกระแสไฟฟ้า	6
2.3 งานไฟฟ้า	6
2.4 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก	8
2.5 สารกึ่งตัวนำ	8
2.6 การนำความร้อน	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 แผนการดำเนินงาน	11
3.2 การออกแบบการทดลอง	12

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	
4.1 กระแสไฟฟ้า และ แรงดันที่ได้เทียบกับเวลา อุณหภูมิ	13
4.2 พลังความร้อนและกำลังไฟฟ้า	18
4.2 ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก	19
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	21
4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง	22
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 สรุปผลการทดลอง	24
5.2 ข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม	25
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก	27
ภาคผนวก ข. ตารางบันทึกผลการทดลอง	28
ประวัติประวัติผู้จัดทำโครงการ	32

## สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า เทียบกับเวลา ของการต่อแบบต่างๆ	13
กราฟที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้า เทียบกับเวลา ของการต่อแบบต่างๆ	13
กราฟที่ 4.3 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา ของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 ตัว	15
กราฟที่ 4.4 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา ของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 ตัว	15
กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า เทียบกับอุณหภูมิ ของการต่อแบบต่างๆ	16
กราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า เทียบกับอุณหภูมิ ของการต่อแบบต่างๆ	16
กราฟที่ 4.7 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิ ของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 ตัว	17
กราฟที่ 4.8 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา ของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 ตัว	17
กราฟที่ 4.9 กราฟความร้อนที่ใส่เข้าไป (Input) เทียบกับเวลา	18
กราฟที่ 4.10 กราฟกำลังที่ได้ (Output) เทียบกับเวลา	18
กราฟที่ 4.11 กราฟประสิทธิภาพเทียบกับเวลา ของการต่อลักษณะต่างๆ	19
กราฟที่ 4.12 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มของประสิทธิภาพเทียบกับเวลา โดยการต่อแบบ อนุกรม 3 ตัว	19



## สารบัญรูปภาพ

---

	หน้า
รูปที่ 2.1 Thomas Johann Seebeck	3
รูปที่ 2.2 แสดงความต่างศักย์ซีเบคและการไหลของกระแสไฟฟ้า	3
รูปที่ 2.3 Jean Charles Athanase Peltier	4
รูปที่ 2.4 แสดงการไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้า	5
รูปที่ 2.5 แสดงการไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้า โทหะชนิด p	6
รูปที่ 2.6 กำลังไฟฟ้าในเทอมกระแสไฟฟ้า ( $I$ ) ความต้านทาน ( $R$ ) และความต่างศักย์ ( $V$ )	7
รูปที่ 2.7 การนำความร้อนผ่านตัวกลางใน 1 มิติพิทัก X	10
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการทดลองตอนที่ 1 และ 2	12

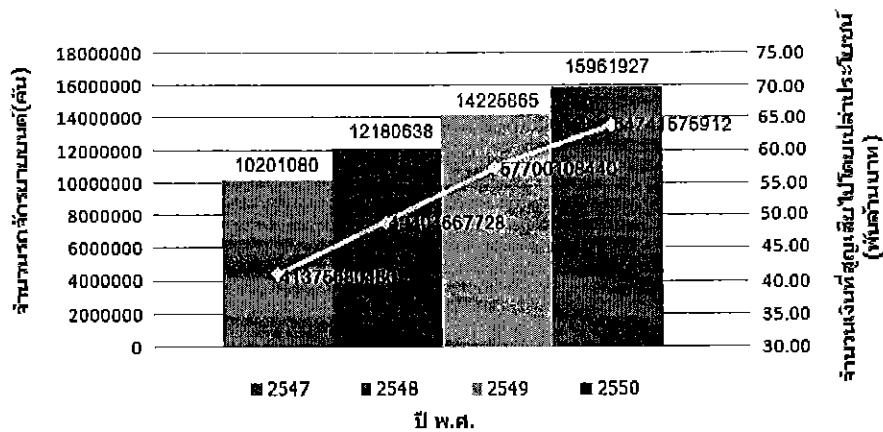
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

การดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นการทำงาน การพักผ่อน หรือแม้แต่การทำกิจกรรมต่างๆ ล้วนแต่เกี่ยวข้องกับเรื่องของการเดินทางทั้งสิ้น อีกทั้งขบวนการพาหนะก็เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์เสียเป็นส่วนใหญ่ เพราะว่ายวดยานพาหนะเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกที่สามารถพาเราเดินทางไปยังที่หมายได้อย่างรวดเร็ว ในประเทศไทยเองจำนวนขบวนการพาหนะได้มีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะจำนวนรถจักรยานยนต์ที่ทุกปีมีแต่จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น ส่งผลต่อการเผาผลาญน้ำมันที่มากตามไปด้วย โดยที่ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เงินซึ่งเงินเครื่องยนต์หลักในรถจักรยานยนต์มีประสิทธิภาพเพียง 22%เท่านั้น นั่นก็หมายความว่าอีก 78% ถูกเผาผลาญไปโดยเปล่าประโยชน์และถูกปล่อยออกมาในรูปของพลังงานความร้อนผ่านทางท่อไอเสีย ซึ่งจากสถิติจำนวนรถจักรยานยนต์ของกรมขนส่งตั้งแต่ปี พ.ศ.2547-2550 ที่ผ่านมา จำนวนรถจักรยานยนต์ได้เพิ่มขึ้นทุกปีและเมื่อนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับพลังงานที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ดังนี้

จำนวนรถจักรยานยนต์ในแต่ละปีเทียบกับเงินที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์



- กราฟแท่งแสดงจำนวนรถจักรยานยนต์ในแต่ละปี
- กราฟเส้นแสดงจำนวนเงินที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์

\*ข้อมูลสถิติจำนวนรถจักรยานยนต์ พ.ศ. 2547-2550 กรมขนส่งแห่งประเทศไทย

จากกราฟถ้าสมมติว่าจักรยานยนต์ 1 คัน ใน 1 สัปดาห์ต้องเติมน้ำมัน 100 บาท เทียบเป็นเงินที่เราใช้จริงแค่ 22 บาท ส่วนที่เหลืออีก 78 บาทเราเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ นั่นก็หมายความว่า 1 ปีประเทศไทยต้องสูญเสียเงินไปประมาณ 4000 ล้านบาทและจากกราฟจำนวนรถจักรยานยนต์ก็เพิ่มขึ้นทุกๆ ปีนั่นก็หมายความว่าจำนวนเงินที่เสียไปโดยเปล่าประโยชน์ก็จะมีจำนวนมากขึ้นตามไปด้วย

ทั้งนี้หากเราสามารถนำพลังงานที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์มาผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้ก็จะทำให้ลดอัตราเงินที่สูญเสียไปในแต่ละปีได้ จากการศึกษาเรื่องการสร้างพลังงานทดแทนพบว่า เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจเพราะ เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นเทคโนโลยีที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนมาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยไม่ปล่อยมลพิษออกมา หากเราสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากทุกที่มีแหล่งความร้อนทิ้ง เราก็จะสามารถลดการนำเข้าเชื้อเพลิงได้ในปริมาณที่เราคาดไม่ถึง เป้าหมายของเราคือการผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์เนื่องจากในประเทศไทยเราเดินทางโดยใช้รถจักรยานยนต์กันเป็นจำนวนมาก เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นเทคโนโลยีที่เราสามารถนำความสูญเสียเหล่านี้แปรกลับมาเป็นพลังงานได้ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันเราไม่สามารถคุ้มทุนกับเทคโนโลยีนี้แต่อย่างน้อยหากเทคโนโลยีนี้แพร่หลายเราก็สามารถลดความสูญเสียตรงนี้ได้ อีกทั้งหากเทคโนโลยีนี้ได้รับการสนใจเทคโนโลยีนี้ก็จะถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 การสร้างชุดผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลที่อาศัยความร้อนทิ้งจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาหลักการการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบซีบีค

1.3.2 ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กคือขนาด 40 x 40mm ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

1.3.3 ทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลเพียงชนิดเดียวคือเทอร์โมอิเล็กทริก CERAMIC THERMOELECTRIC COOLING MODULE (PELTIER) รุ่น TEC1-12710

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เรียนรู้หลักการและการทำงานของ เทอร์โมอิเล็กทริก

1.4.2 ได้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลที่ใช้อุณหภูมิจากความร้อนทิ้ง

1.4.3 เรียนรู้หลักการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจาก เทอร์โมอิเล็กทริก

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์พื้นฐานทางการผันไฟฟ้าจากความร้อน มีอยู่ด้วยกันดังปรากฏการณ์ที่กล่าวมาแล้วคือ ปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck effect) ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) และปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect) ทั้งสามปรากฏการณ์นี้ มีรากฐานอยู่ที่การผันความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า หรืออาจผันไฟฟ้าไปเป็นความร้อน

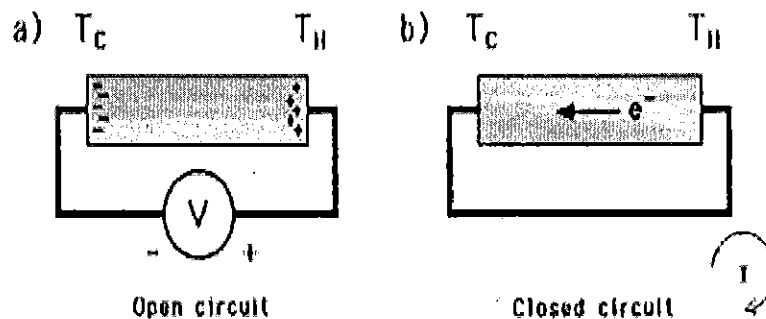
##### 2.1.1. ปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck effect)

ในปี 1821 โทมัส โจแฮนน์ ซีเบ็ค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน กล่าวว่า “ เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรมืด ”



รูปที่ 2.1 Thomas Johann Seebeck

Undated engraving, Deutsches Museum, Munich



รูปที่ 2.2 แสดงความต่างศักย์ซีเบ็คและการไหลของกระแสไฟฟ้า

ปรากฏการณ์ซีเบ็คเป็นปรากฏการณ์ที่มีรากฐานอยู่ที่การผันความร้อนเป็นไฟฟ้า ความสำคัญทางกายภาพของมันสามารถเห็นได้โดยการพิจารณาปรากฏการณ์ของการบังคับเกรเดียนต์ของอุณหภูมิสม่ำเสมอให้ไหลไปตามตัวนำจำกัด ซึ่งในตอนเริ่มแรกตัวนำจะควบคุมการกระจายอย่างสม่ำเสมอของตัวพาหะประจุ แต่ภายใต้เกรเดียนต์อุณหภูมิหนึ่งพาหะอิสระต่าง ๆ ที่ปลายด้านร้อน (Hot end) จะมีพลังงานจลน์มากกว่าที่ปลายด้านเย็น (Cold end) และมีแนวโน้มที่จะแพร่ไปปลายด้านเย็น การเกิดขึ้นของประจุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (Back electromotive force หรือ back e.m.f) ซึ่งตรงกันข้ามกับการไหลของประจุ ความต่างศักย์วงจรเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหลที่เกิดขึ้น เรียกว่า ความต่างศักย์ซีเบ็ค (Seebeck voltage)

สำหรับสมการของ Seebeck effect ถ้าเขียนในรูปของความต่างศักย์และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ จะได้ว่า

$$\Delta V = S\Delta T \quad (2.1)$$

โดยที่

$\Delta V$  = ความต่างศักย์ไฟฟ้า, V

S = สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค, V/K

T = อุณหภูมิ, C

วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Seebeck coefficient) ไม่เท่ากับศูนย์จะเป็นวัสดุ thermoelectric และจะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คเป็นได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ เช่น ในกรณีของสารกึ่งตัวนำ N-type จะมี seebeck coefficient เป็นลบ แต่ P-type จะมี seebeck coefficient เป็นบวก เป็นต้น

### 2.1.2. ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect)

ในปี 1834 ยีน เพลเทียร์ ชาร์เลส อธาเนส (Jean Charles Athanase Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส กล่าวว่า “ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า ”



รูปที่ 2.3 Jean Charles Athanase Peltier

ปรากฏการณ์เพลเทียร์เป็นปรากฏการณ์หนึ่งซึ่งคู่กันกับปรากฏการณ์ซีเบ็ค และถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำระบบหล่อเย็นจากการผันความร้อนจากไฟฟ้า (Thermoelectric refrigeration) ในที่นี้ อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับได้ (Rate of reversible heat absorption,  $Q$ ) ซึ่งส่งมาพร้อมกับการ

ผ่าน กระแสไฟฟ้า ( $I$ ) ผ่านรอยต่อ คือ

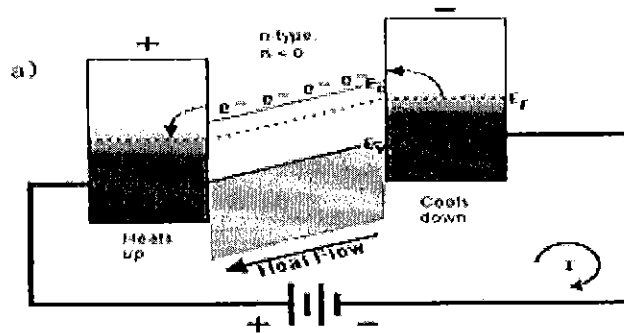
$$Q = \pi_{ab} I \quad (2.2)$$

โดยที่  $\pi$  คือ สัมประสิทธิ์ของเพลเทียร์ของรอยต่อ หาได้จาก

$$\pi = \alpha T \quad (2.3)$$

$\pi < 0$ ; ค่าสัมประสิทธิ์ เพลเทียร์เป็นลบ

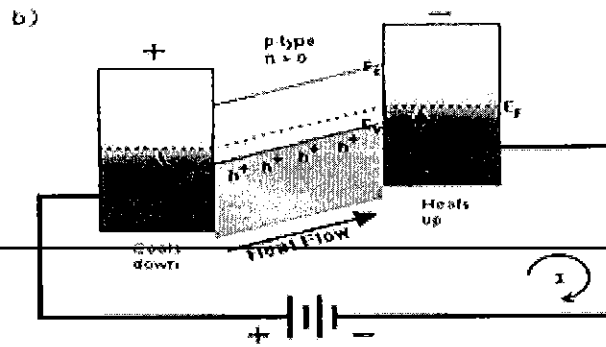
อิเล็กตรอนของอะตอมพลังงานสูงเคลื่อนย้ายจากขั้วมาขั้ว การไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้ามีทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้า

$\pi > 0$ ; ค่าสัมประสิทธิ์ เพลเทียร์เป็นบวก

หลุมพลังงานสูงเคลื่อนย้ายจากขั้วมาขั้ว การไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้า โลหะชนิด p

## 2.2 การเกิดกระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมหนึ่ง อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมหนึ่งเป็นอิเล็กตรอนวงนอกสุดหรือวาเลนซ์อิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนวงนี้สามารถหลุดเป็นอิสระได้ง่ายเนื่องจากเมื่อมีแรงหรือพลังงานที่มีขนาดมากพอ พลังงานที่อิเล็กตรอนวงนี้ได้รับก็จะกระจายไปให้กับอิเล็กตรอนทุกตัวที่อยู่ในชั้นนี้ ถ้าธาตุใดมีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดน้อย เช่น 1 หรือ 2 ตัว แรงหรือพลังงานที่ได้รับก็จะมากทำให้หลุดเป็นอิสระได้ง่าย แต่ถ้าธาตุใดมีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดมากเมื่อมีแรงหรือพลังงานมากกระทำอิเล็กตรอนทุกตัวก็จะเฉลี่ยรับแรงหรือพลังงานทำให้แรงหรือพลังงานลดลงอิเล็กตรอนก็จะไม่หลุดหรือเคลื่อนที่ไปยังอะตอมอื่น ฉะนั้นธาตุใดที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดน้อยจะสามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ง่ายซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นตัวนำไฟฟ้าและพวกที่มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดมากส่วนใหญ่จะเป็นฉนวนไฟฟ้า

การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมหนึ่งถ้าเป็นไปในทิศทางสะเปะสะปะจะไม่ก่อให้เกิดผลทางไฟฟ้าเพราะประจุที่เกิดขึ้นจะหักล้างกันแต่ถ้าเราทำให้อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมหนึ่งให้มีทิศทางเดียวกันจะก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นมา

## 2.3 งานไฟฟ้า

งานไฟฟ้า (electrical work,  $W_e$ ) คือ พลังงานไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสนามไฟฟ้าเนื่องจากผลของแรงดันไฟฟ้าหรือความต่างศักย์โดยเมื่ออิเล็กตรอน  $N$  คูตอมบ์เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีความต่างศักย์  $V$  งานทางไฟฟ้ามีค่าดังนี้

$$W_e = VN \quad (2.4)$$

เมื่อเขียนในรูปเทียบกับหน่วยเวลาหรือกำลังไฟฟ้า จะได้

$$W_e = VI \quad (2.5)$$

เมื่อ  $W_e =$  กำลังไฟฟ้า

$I =$  (กระแสไฟฟ้าเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดการเคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลา)

เนื่องจาก  $V = IR$

เมื่อ  $R =$  ความต้านทาน

ดังนั้น จึงสามารถคำนวณหา กำลังไฟฟ้า จากความสัมพันธ์ในรูปความต้านทาน ได้ดังนี้

$$W_e = I^2 R \quad (\text{kW}) \quad (2.6)$$

$$\text{หรือ} \quad W_e = \frac{V^2}{R} \quad (\text{kW}) \quad (2.7)$$

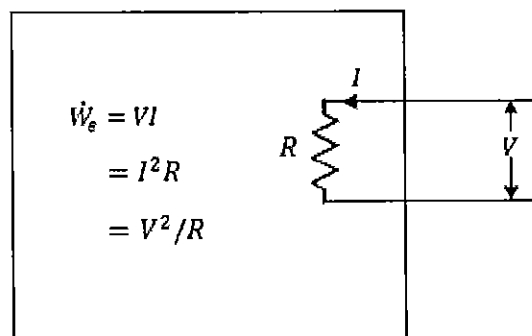
รูปแบบสมการของงานทางไฟฟ้าทั่วไปในช่วงเวลาหนึ่ง  $\Delta t$  เมื่อ  $\Delta t \rightarrow 0$  เป็นดังนี้

$$W_e = \int VI \, dt \quad (\text{kJ}) \quad (2.8)$$

ถ้ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์คงที่ในระหว่างช่วงเวลาที่พิจารณา  $\Delta t$  จะได้ว่า

$$W_e = VI \Delta t \quad (\text{kJ}) \quad (2.9)$$

สมการที่ใช้ในการคำนวณหา กำลังไฟฟ้า ในเทอมของกระแสไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้า และความต่างศักย์สรุปได้ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.6 กำลังไฟฟ้าในเทอมกระแสไฟฟ้า (I) ความต้านทาน (R) และความต่างศักย์ (V)



## 2.4 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

ประสิทธิภาพของวัสดุ TE จะแสดงด้วยค่า “ZT” หรือที่เรียกกันในวงการเรียกว่า Figure of Merit (“ค่าความดี”) โดยวัสดุที่มีค่า ZT ที่สูง หรือมีประสิทธิภาพสูงนั้นต้องมีสมบัติ 3 ประการ ได้แก่

1. พลังงานความร้อนของวัสดุนั้นต้องถูกขนย้ายด้วยประจุไฟฟ้าให้มากที่สุด ซึ่งคือต้องมีค่าซีเบ็คที่สูงนั่นเอง

2. วัสดุนั้นต้องมีแรงต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำ ซึ่งก็คือเป็นสื่อนำไฟฟ้าที่ดี มิเช่นนั้นพลังงานกระแสไฟฟ้าก็จะสูญเสียและเปลี่ยนกลับเป็นความร้อน

3. วัสดุนั้นต้องเป็นสื่อนำความร้อนที่ไม่ดี เพราะโฟนอนจะขนย้ายความร้อนสวนทางกับประจุไฟฟ้า ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของวัสดุ TE ลดลง

อย่างไรก็ดี สมบัติทั้งสามอย่างนี้มักจะมีอยู่ไม่พร้อมกันในวัสดุชนิดหนึ่งๆ อย่างเช่น โลหะและสารกึ่งตัวนำซึ่งเป็นทั้งสื่อนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดี ในขณะที่ฉนวนไฟฟ้าส่วนใหญ่ (เช่น ยางหรือพลาสติก) ก็เป็นสื่อนำความร้อนที่ไม่ดี

## 2.5 สารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) คือ วัสดุเนื้อแข็งผลึกพวกหนึ่งที่มีสมบัติเป็นตัวนำ หรือสื่อไฟฟ้าก้ำกึ่งระหว่างโลหะกับอโลหะหรือฉนวน ความเป็นตัวนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และสิ่งไม่บริสุทธิ์ที่มีเจือปนอยู่ในวัสดุพวกนี้ ซึ่งอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบก็มี เช่น ธาตุเจอร์เมเนียม ซิลิกอน ซิลิเนียม และตะกั่วเทลลูไรด์ เป็นต้น วัสดุกึ่งตัวนำพวกนี้มีความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะตรงข้ามกับโลหะทั้งปวง

ที่อุณหภูมิสัมบูรณ์สมบูรณ์ วัสดุพวกนี้จะไม่ยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านเลย เพราะเนื้อวัสดุเป็นผลึกโควาเลนต์ ซึ่งอิเล็กตรอนทั้งหลายจะถูกตรึงอยู่ในพันธะโควาเลนต์หมด (พันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม) แต่ในอุณหภูมิธรรมดา อิเล็กตรอนบางส่วนมีพลังงาน เนื่องจากความร้อนมากพอที่จะหลุดไปจากพันธะ ทำให้เกิดที่ว่างขึ้น อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเป็นสาเหตุให้สารกึ่งตัวนำนำไฟฟ้าได้เมื่อมีสนามไฟฟ้ามาต่อเข้ากับสารนี้

สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์ เป็นสารที่เกิดขึ้นจากการเติมสารเจือปนลงไปในสารกึ่งตัวนำแท้ เช่น ซิลิกอน หรือเจอร์เมเนียม เพื่อให้ได้สารกึ่งตัวนำที่มีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น สารกึ่งตัวนำไม่บริสุทธิ์นี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ สารกึ่งตัวนำประเภทเอ็น (N-Type) และสารกึ่งตัวนำประเภทพี (P-Type)

ก. สารกึ่งตัวนำประเภท เอ็น (N-Type)

เป็นสารกึ่งตัวนำที่เกิดจากการจับตัวของอะตอมซิลิกอนกับอะตอมของสารหนู ทำให้มีอิเล็กตรอนเกินขึ้นมา 1 ตัว เรียกว่าอิเล็กตรอนอิสระซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในก้อนผลึกนั้นจึงยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลได้เช่นเดียวกับตัวนำทั่วไป

ข. สารกึ่งตัวนำประเภท พี (P-Type)

เป็นสารกึ่งตัวนำที่เกิดจากการจับตัวของอะตอมซิลิกอนกับอะตอมของอะลูมิเนียม ทำให้เกิดที่ว่างซึ่งเรียกว่า โฮล (Hole) ขึ้นในแขนร่วมของอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนข้าง โฮลจะเคลื่อนที่ไปอยู่ในโฮลทำให้ดูคล้ายกับโฮลเคลื่อนที่ได้จึงทำให้กระแสไหลได้

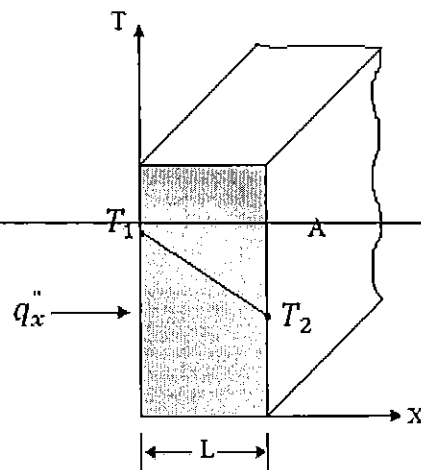
## 2.6 การนำความร้อน

การนำความร้อนหมายถึงการส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยส่งผ่านความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งสู่อีกโมเลกุลอย่างต่อเนื่องกัน การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางแบบการนำความร้อนคำนวณจากกฎของฟูรีเยร์ (Fourier's law)

กฎของ ฟูรีเยร์กล่าวว่า สำหรับการนำความร้อนผ่านตัวกลางในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อน ( $Q_x$ ) ผ่านตัวกลางในทิศทางนั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหลของความร้อน (A) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางในทิศทางดังกล่าว ( $\frac{dT}{dx}$ )

สำหรับการนำความร้อนในทิศทาง x ภายใต้สภาวะคงตัว (steady state) อุณหภูมิในตัวกลาง  $T=T(x)$  จากกฎของฟูรีเยร์

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (W) \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.7 การนำความร้อนผ่านตัวกลางใน 1 มิติพิกัด X

โดยที่  $k$  คือค่าคงที่สัดส่วน ซึ่งเรียกว่า ค่าสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) ของตัวกลาง มีหน่วยเป็น  $W/m \cdot k$  ฟลักซ์ความร้อนผ่านตัวกลางสามารถคำนวณได้จาก

$$q_x'' = \frac{\dot{Q}_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (W/m^2) \quad (2.11)$$

ในสมการ (2.10) และ (2.11) ถ้าอุณหภูมิของตัวกลางลดลงตามทิศทาง  $+x$  พบว่าค่าของ  $dT/dx$  เป็นลบ ดังนั้นถ้า  $\dot{Q}_x$  หรือ  $q_x''$  มีเครื่องหมายบวกแสดงว่า  $\dot{Q}_x$  หรือ  $q_x''$  มีทิศทางการไหลในทิศทาง  $+x$

ภายใต้สภาวะคงตัวและตัวกลางมี  $k$  เป็นค่าคงที่ อุณหภูมิ  $T(x)$  เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น ดังรูปที่ 1.1 ดังนั้น

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} = \frac{-(T_1 - T_2)}{L} \quad (2.12)$$

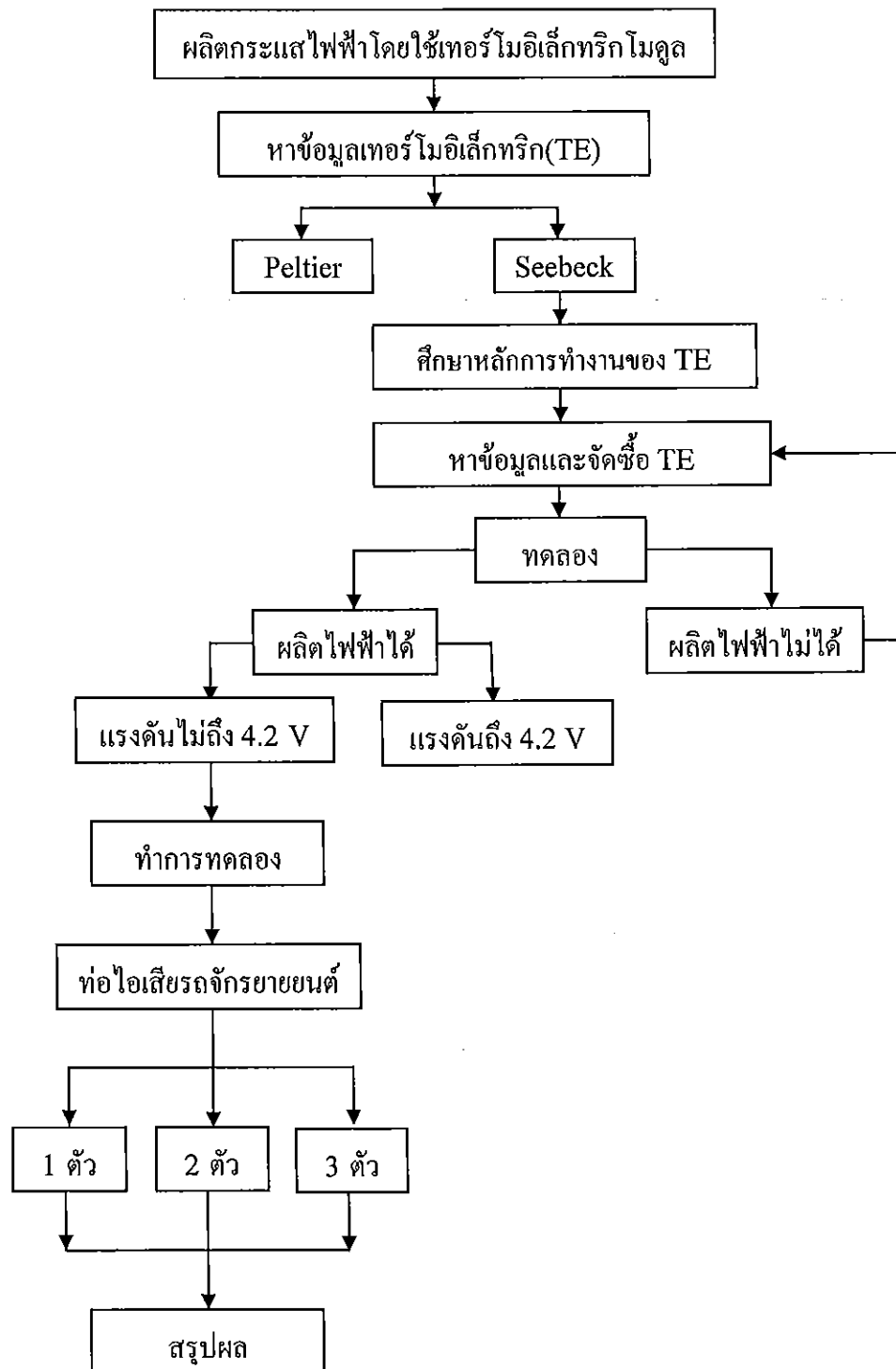
ดังนั้น

$$q_x'' = \frac{k(T_1 - T_2)}{L} = \frac{kA\Delta T}{L} \quad (W/m^2) \quad (2.13)$$

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินโครงการ

### 3.1 แผนการดำเนินงาน



### 3.2 การออกแบบการทดลอง

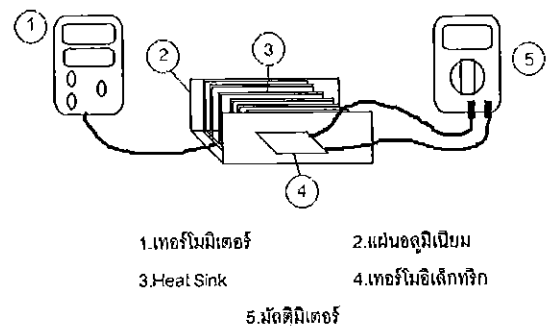
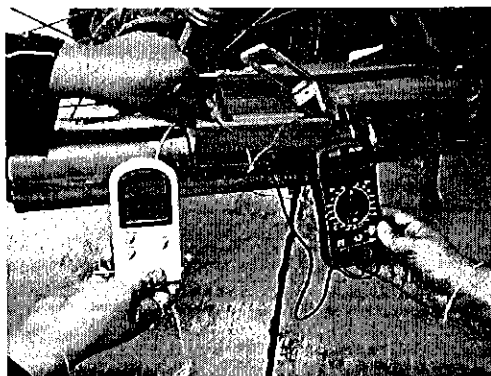
การออกแบบการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ตอนดังนี้

**ตอนที่ 1** ทำการทดลองโดยใช้ความร้อนจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์กับอากาศ

- 1.1 ทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆดังรูปที่ 3.1ก ซึ่งทำการทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัว
- 1.2 ทำการทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 1,2,3 ตามลำดับบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า (V) กระแส (I) และอุณหภูมิ (T) โดยทำการจดบันทึกค่าทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 10 นาที
- 1.3 ทำการทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริกโดยทำการต่ออนุกรมระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 1-2, 1-3, 2-3 ตามลำดับบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า (V) กระแส (I) และอุณหภูมิ (T) โดยทำการจดบันทึกค่าทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 10 นาที
- 1.4 ทำการทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริกโดยทำการต่ออนุกรมระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 1-2-3 บันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า (V) กระแส (I) และอุณหภูมิ (T) โดยทำการจดบันทึกค่าทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 10 นาที

**ตอนที่ 2** ทำการทดลองโดยใช้ความร้อนจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์กับน้ำแข็ง

- 2.1 ทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆดังรูป3.1ก ซึ่งทำการทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัว
- 2.2 ทำการทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 1,2,3 ตามลำดับบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า (V) กระแส (I) และอุณหภูมิ (T) โดยทำการจดบันทึกค่าทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 10 นาที
- 2.3 ทำการทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริกโดยทำการต่ออนุกรมระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 1-2, 1-3,2-3 ตามลำดับบันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า (V) กระแส (I) และอุณหภูมิ (T) โดยทำการจดบันทึกค่าทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 10 นาที
- 2.4 ทำการทดลองกับเทอร์โมอิเล็กทริกโดยทำการต่ออนุกรมระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 1-2-3 บันทึกค่า แรงดันไฟฟ้า (V) กระแส (I) และอุณหภูมิ (T) โดยทำการจดบันทึกค่าทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 10 นาที



ก.แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง

ข.แสดงแผนภาพเครื่องมือวัดต่างๆ

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการทดลองตอนที่ 1 และ 2

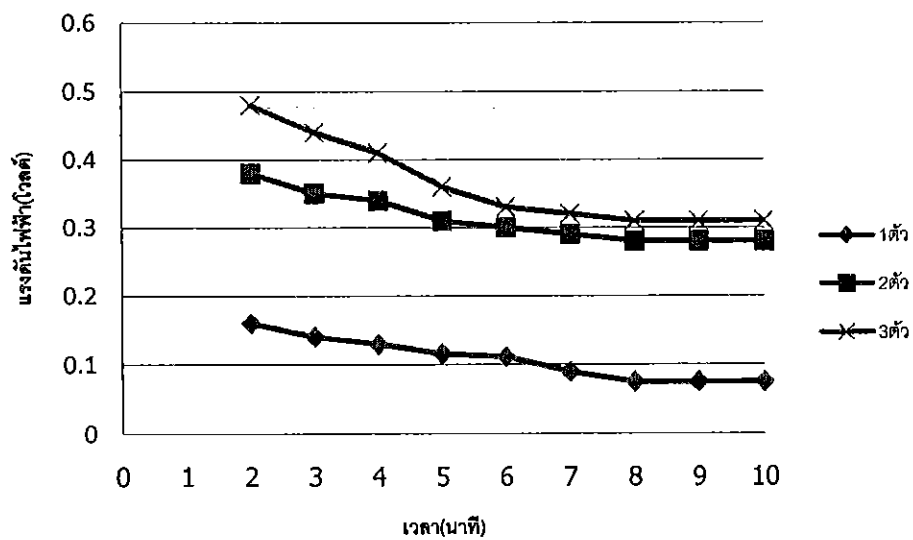
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

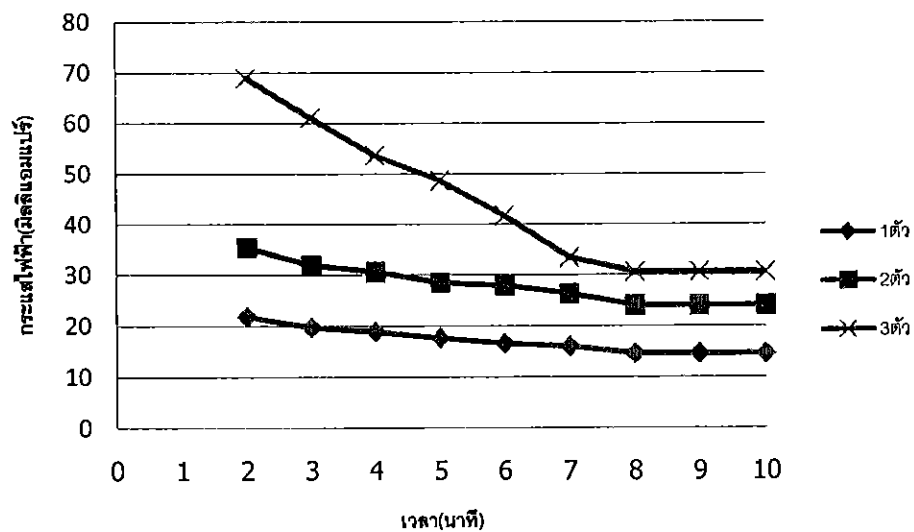
จากการทดลองและเก็บข้อมูล โดยใช้ความร้อนจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์และใช้ความเย็นจากอากาศ จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 1 ถึง 11 ในภาคผนวก ซึ่งทำการเก็บข้อมูลดังนี้ กระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้าและความแตกต่างของอุณหภูมินำข้อมูลที่ได้มาหาประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก

#### 4.1 กระแสไฟฟ้า และ แรงดันไฟฟ้า

4.1.1 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้ของการต่อแบบต่างๆ ทำการบันทึกค่าทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 10 นาที



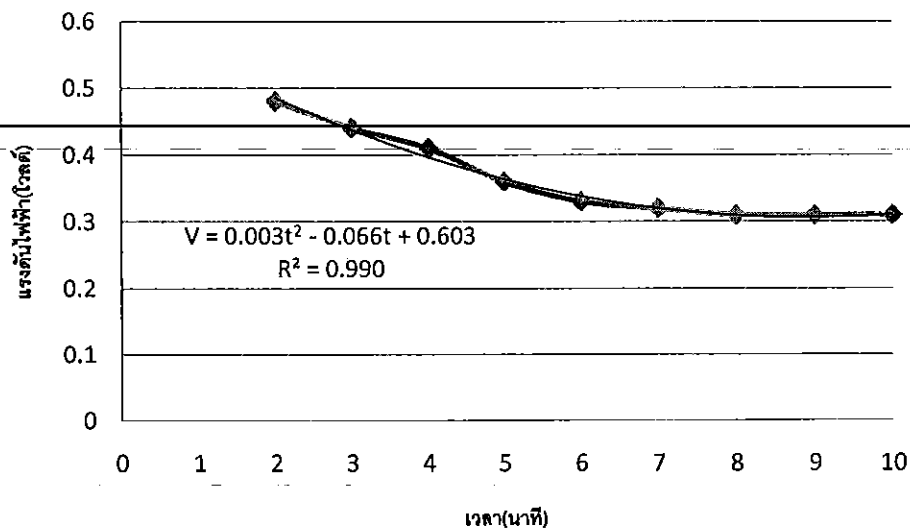
กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า เทียบกับเวลา ของเทอร์โมอิเล็กทริก



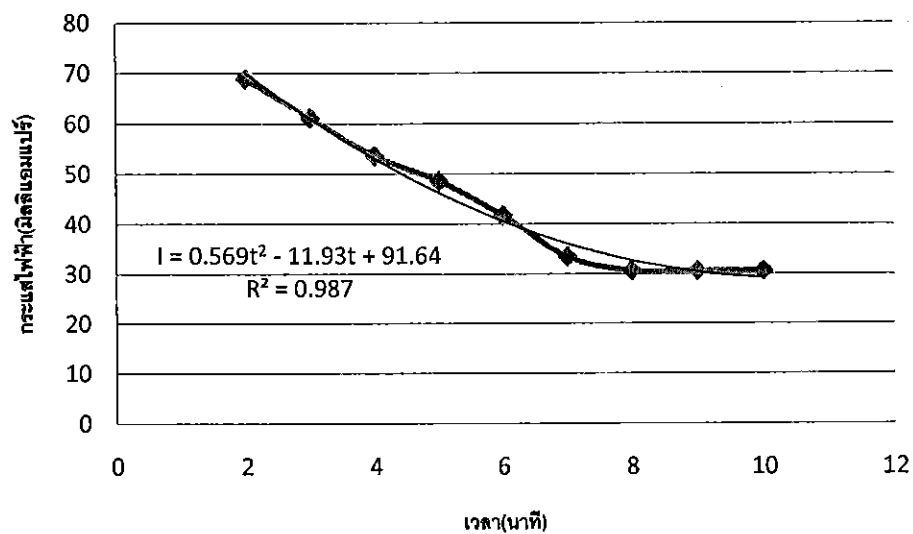
กราฟที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า เทียบกับเวลา ของเทอร์โมอิเล็กทริก

จากกราฟที่ 4.1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและจากกราฟ 4.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที และเริ่มครั้งที่ที่เวลาผ่านไป 7 นาที และจากการทดลองโดยใช้ความร้อนจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์และความเย็นจากอากาศ จะเห็นว่าเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัวจะให้กระแส และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาคือ 2 ตัว และ 1 ตามลำดับ โดยแรงดันที่วัดได้สูงสุดคือ 0.48 โวลต์ กระแสที่วัดได้สูงสุดคือ 0.0689 แอมแปร์

#### 4.1.2 เส้นแนวโน้มของแรงดันและกระแสไฟฟ้าและสมการแสดงแรงดันและกระแสไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ



กราฟที่ 4.3 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา ของเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัว

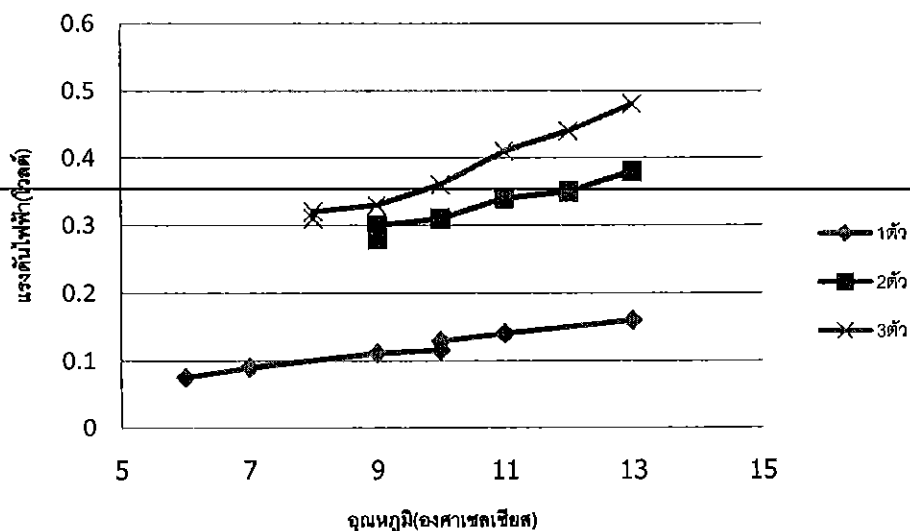


กราฟที่ 4.4 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา ของเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัว

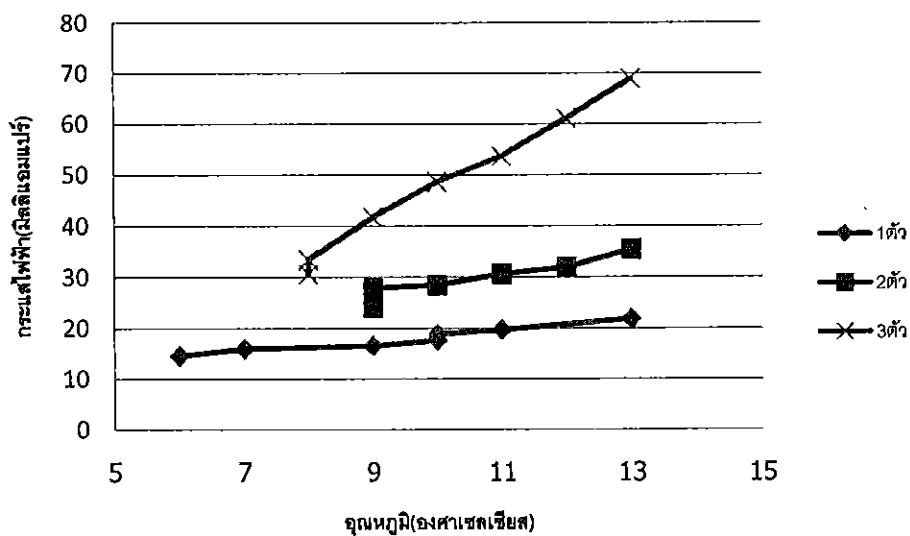
จากกราฟที่ 4.3 แสดงถึงเส้นแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อเวลาสูงขึ้นและจากกราฟก็สามารถใช้สมการ  $V = 0.003t^2 - 0.066t + 0.603$  ในการทำนายกระแสไฟฟ้าในเวลาอื่นๆได้ ซึ่งพบว่ายิ่งเวลามากขึ้น กระแสก็ยิ่งน้อยลงไปด้วย และจากกราฟ 4.4 แสดงถึงเส้นแนวโน้มของแรงดันเมื่อใช้สมการ  $I = 0.569t^2 - 11.93t + 91.64$  ทำนายแรงดันไฟฟ้าในช่วงอื่นๆก็พบว่าเมื่อเวลามากขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะน้อยลงตามไปด้วย



#### 4.1.3 แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้ของเทอร์โมอิเล็กทริก เทียบกับอุณหภูมิ ณ เวลาต่างๆ



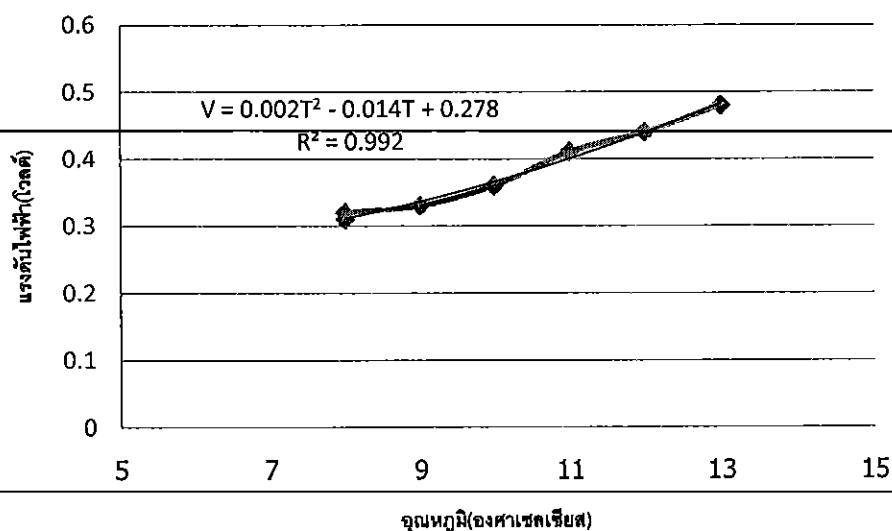
กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า เทียบกับอุณหภูมิ ของการต่อแบบต่างๆ



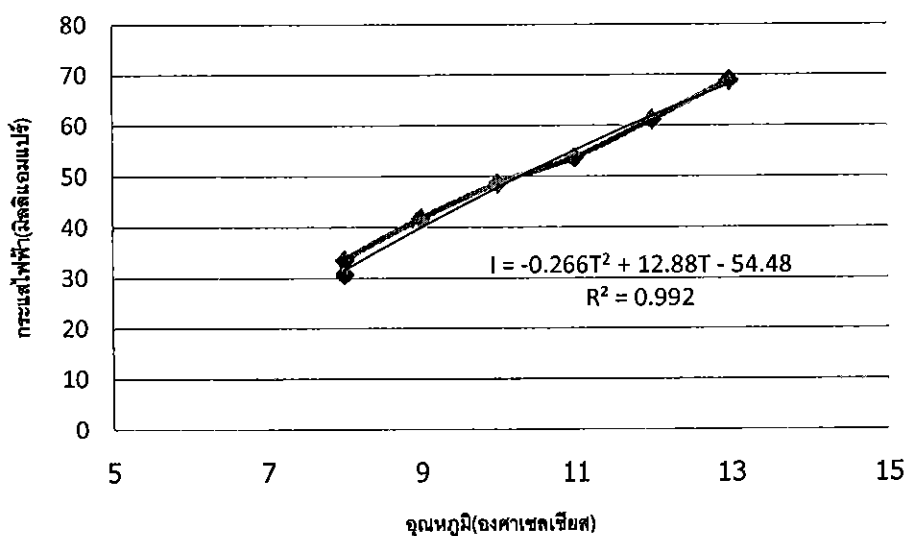
กราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า เทียบกับอุณหภูมิ ของการต่อแบบต่างๆ

จากกราฟที่ 4.5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและจากกราฟ 4.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และจะเริ่มลดลงเมื่ออุณหภูมิมีน้อยลง จากการทดลองโดยใช้ความร้อนจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์และความเย็นจากอากาศ จะเห็นว่า เทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัวจะให้กระแส และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด รองลงมา 2 ตัว และ 1 ตามลำดับ โดยแรงดันที่วัดได้สูงสุดคือ 0.48 โวลต์ กระแสที่วัดได้สูงสุดคือ 0.0689 แอมแปร์

#### 4.1.4 เส้นแนวโน้มของแรงดันและกระแสไฟฟ้าและสมการแสดงแรงดันและกระแสไฟฟ้า ณ อุณหภูมิต่างๆ



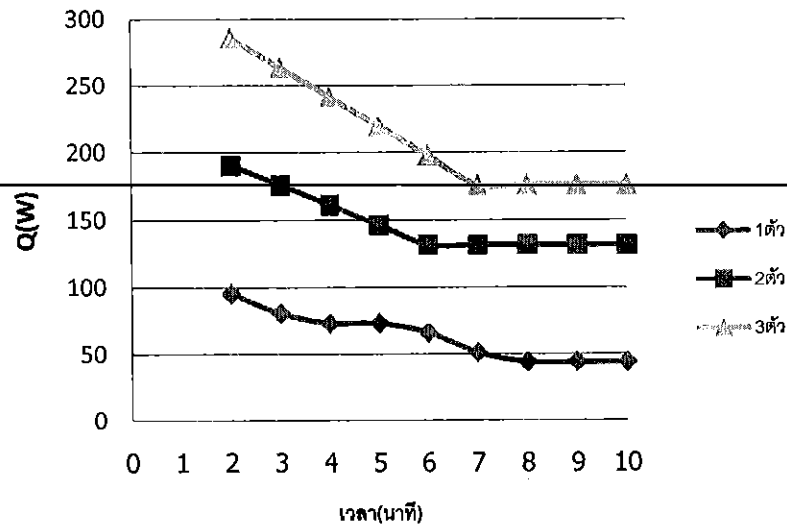
กราฟที่ 4.7 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิ ของเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัว



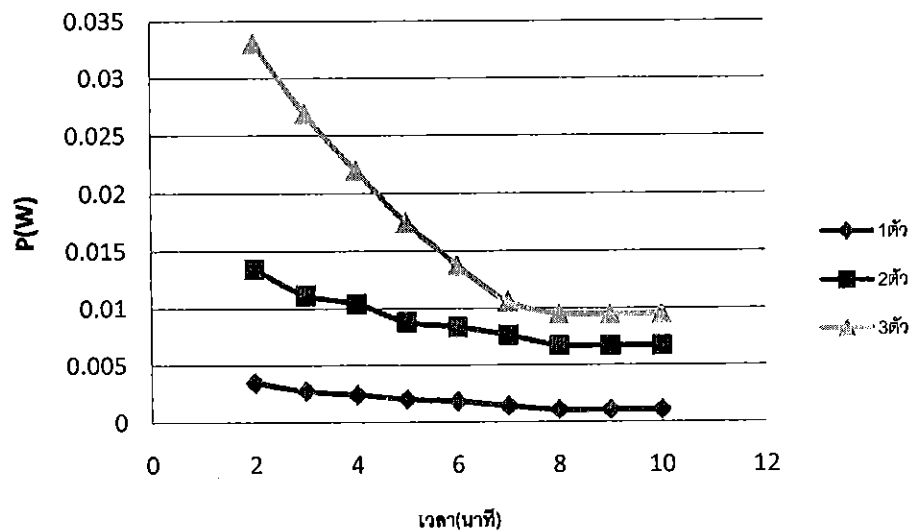
กราฟที่ 4.8 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มของกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา ของเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัว

จากกราฟที่ 4.6 แสดงถึงเส้นแนวโน้มของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและจากกราฟก็สามารถใช้สมการ  $V = 0.002T^2 - 0.014T + 0.278$  ในการทำนายกระแสไฟฟ้าในเวลาอื่นๆ ได้ ซึ่งพบว่ายิ่งอุณหภูมิมากขึ้น กระแสก็ยิ่งมากขึ้นไปด้วย และจากกราฟ 4.7 แสดงถึงเส้นแนวโน้มของแรงดันเมื่อใช้สมการ  $I = -0.266T^2 + 12.88T - 54.48$  ทำนายแรงดันไฟฟ้าในช่วงอื่นๆ ก็พบว่าเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

## 4.2 พลั๊กความร้อนและกำลังไฟฟ้า



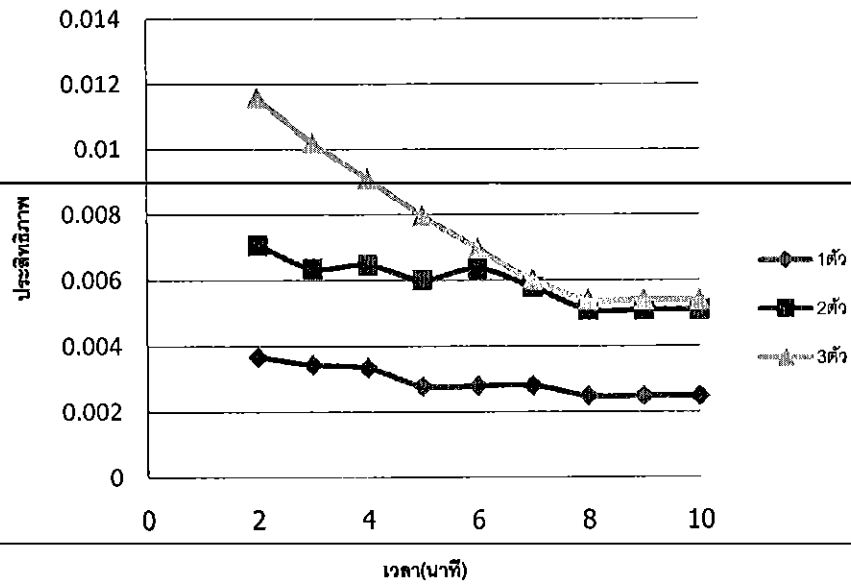
กราฟที่ 4.9 กราฟ Heat flux (Input) เทียบกับเวลา



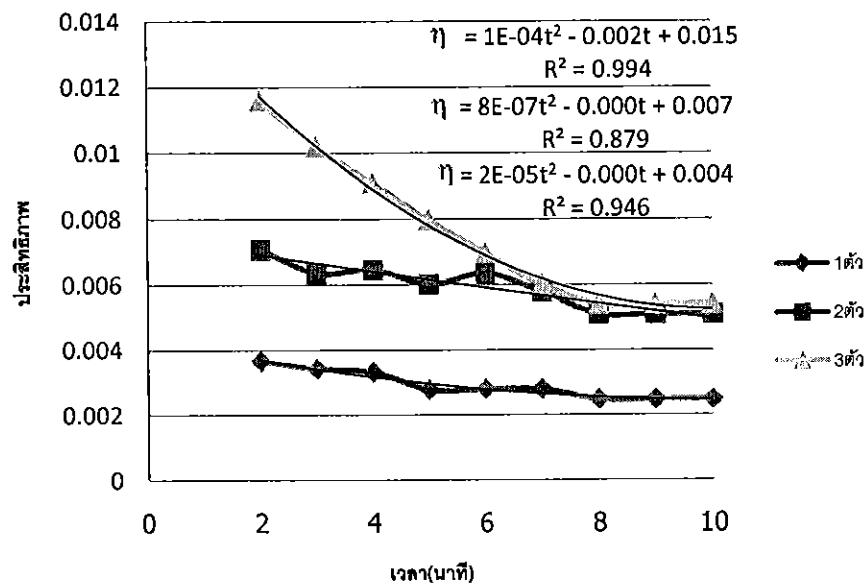
กราฟที่ 4.10 กราฟกำลังที่ได้ (Output) เทียบกับเวลา

จากกราฟที่ 4.9 แสดงถึงความร้อนที่ใส่เข้าไปในระบบ (Input) จะพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ความร้อนก็ยิ่งลดลงเรื่อยๆ และจากกราฟที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงกำลังที่ได้ (Output) จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปกำลังที่ได้ก็จะลดลงเรื่อยๆเช่นกันซึ่งกำลังที่ได้นี้ก็จะแปรผันไปตามความร้อนที่ลดลงด้วย

### 4.2 ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก



กราฟที่ 4.11 กราฟประสิทธิภาพเทียบกับเวลา ของการเทอร์โมอิเล็กทริก



กราฟที่ 4.12 กราฟแสดงเส้นแนวโน้มของประสิทธิภาพเทียบกับเวลาของเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัว

จากกราฟที่ 4.11 แสดงถึงประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกจะพบว่าประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นต่ำมากโดยที่เทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัวจะให้ประสิทธิภาพสูงสุด และเมื่อเวลาผ่านไป ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะยิ่งต่ำลงไปด้วย และจากกราฟเราจะสังเกตเห็นเมื่อเวลาผ่านไป 7 นาที ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัว ลดลงใกล้เคียงกับ ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก 2 ตัว และจากกราฟที่ 4.12 แสดงให้เห็นเส้นแนวโน้มของประสิทธิภาพ พบว่ายิ่งเวลาผ่านไปมากเท่าไรประสิทธิภาพก็ยิ่งน้อยตามไปด้วย ถึงแม้ว่าการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัวจะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดแต่ประสิทธิภาพที่ได้ก็ยังคงต่ำอยู่ดี

### 4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเมื่อเริ่มแรก ด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับความร้อนจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ซึ่งมีอุณหภูมิโดยประมาณอยู่ที่ 50-60 °C และอีกด้านหนึ่งซึ่งเป็นด้านเย็นได้รับอุณหภูมิจากอากาศซึ่งเป็นอุณหภูมิห้อง มีอุณหภูมิโดยประมาณอยู่ที่ 25-30 °C ทำให้ทั้งสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้นทำให้ช่วงนี้เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้และจากการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าก็พบว่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าก็เริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนผ่านไป 2 นาที กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าก็จะเริ่มลดลงเนื่องจากอุณหภูมิฝั่งร้อนเริ่มที่จะถ่ายเทมายังฝั่งเย็นมากขึ้นทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านลดลงด้วย จนผ่านไป นาทีที่ 7-8 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าก็เริ่มที่จะคงที่เนื่องจากฝั่งเย็นเริ่มมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับฝั่งร้อน (แสดงในกราฟที่ 4.1 และ 4.2) และเมื่อเวลาผ่านไปเรื่อยๆ จะพบว่าทั้งสองฝั่งของเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีอุณหภูมิที่เท่ากันส่งผลให้กระแสไฟฟ้าและแรงดันที่ได้ลดลงไปด้วย (แสดงในกราฟที่ 4.5 และ 4.6) ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลองโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัวจะให้แรงดันและกระแสไฟฟ้ามากกว่า การใช้ 2 และ 1 ตัว

การคำนวณหาประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกจากสมการ  $\eta = \frac{P}{Q}$  (แสดงในภาคผนวก ก) พบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพต่ำมากคือจากการหาประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 ตัวพบว่าประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.003% และประสิทธิภาพสูงสุดคือใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 3 ได้ประสิทธิภาพเพียง 0.01% เท่านั้น โดยที่ในช่วงเริ่มแรกประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกจะเพิ่มขึ้นจนเวลาผ่านไป 2 นาทีประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะยิ่งลดลงเรื่อยๆ จนเวลาผ่านไป 7-8 นาทีประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะเริ่มมีค่าคงที่ที่ 0.005% (แสดงในกราฟ 4.8) และจากกราฟที่ 4.9

#### 4.4 วิจัยผลลัพธ์การทดลอง

เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล CERAMIC THERMOELECTRIC COOLING MODULE (PELTIER) รุ่น TEC1-12710 มีหลักการทำงานคือเมื่อจ่ายไฟให้กับตัวโมดูลนี้แล้ว จะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ คืออีกด้านหนึ่งจะร้อน และอีกด้านหนึ่งจะเย็น โดยที่ความเย็นที่ได้ จะถูกนำไปใช้ในการทำความเย็นระบายความร้อนให้กับ CPU ของคอมพิวเตอร์ส่วนด้านที่ร้อนก็ต้องมีการระบายความร้อนทิ้งโดย Heat sink, พัดลม หรือตัดไฟที่จ่ายให้โมดูลนี้เพราะถ้าความร้อนมากเกินไปเทอร์โมอิเล็กทริกอาจเสียหายได้

จากการทดลองหาประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกพบว่า ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล CERAMIC THERMOELECTRIC COOLING MODULE (PELTIER) รุ่น TEC1-12710 มีประสิทธิภาพสูงสุดแค่ 0.003% เท่านั้นถึงแม้จะใช้เทอร์โมอิเล็กทริกถึง 3 ตัว แล้ว ประสิทธิภาพที่ได้ก็ยังน้อยมากอยู่ดี โดยเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยการต่อเทอร์โมอิเล็กทริกแบบอนุกรม 3 ตัวคือมีประสิทธิภาพ 0.01% เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ทดลองเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทำ ความเย็น ซึ่งวัสดุที่ใช้ผลิตมีความบางทำให้ความร้อนถ่ายเทไปยังด้านเย็นส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิมีน้อยมากทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าน้อยตามไปด้วย และจากการทดลองพบว่าเมื่อทำการทดลองหลายๆครั้งเทอร์โมอิเล็กทริกบางตัวมี ประสิทธิภาพที่น้อยไปกว่าเดิมและเสียหายไปในที่สุด

ผู้ทดลองได้ลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก CERAMIC THERMOELECTRIC COOLING MODULE (PELTIER) รุ่น TEC1-12710 กับเทอร์โมอิเล็กทริก TEG -12630-3.4 ได้ข้อมูลตามตารางต่อไปนี้

อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า	ประสิทธิภาพ	กำลังไฟฟ้า(W)
TEG -12630-3.4 (Seebeck)	4.1%	2.6
TEC1-12710 (Peltier)	0.003%	0.0034

จากตารางพบว่า TEG -12630-3.4 มีประสิทธิภาพ 4.1% ซึ่งมากกว่า TEC1-12710 ที่มีประสิทธิภาพเพียง 0.003% เท่านั้น และในปัจจุบัน TEG รุ่นต่างๆได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นถึง 15% แล้ว

ในส่วนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้ทำการทดลองไปนั้นจะพบว่ามีประสิทธิภาพที่ต่ำมาก ซึ่งในตอนแรกผู้ทำการทดลองมีสมมติฐานว่าการต่อแบบอนุกรมจะช่วยให้ได้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแต่ที่จริงแล้วการต่ออนุกรมมากตัวไม่ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกมากขึ้นเลย ถึงอย่างไรก็ตามเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลองนั้น เหมาะสมกับการทำความเย็นเพื่อระบายความร้อนให้กับซีพียูของคอมพิวเตอร์มากกว่า แต่หากเราใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

แบบ Generator อาจได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นเพราะ เทอร์โมอิเล็กทริกแบบ Generator นั้นจะทนต่อ อุณหภูมิที่สูงได้เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการทำเทอร์โมอิเล็กทริกแบบ Generator นั้นจะเป็นวัสดุที่มีค่า ความต้านทานต่ำทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าได้มากขึ้น และถ้าในอนาคต เทคโนโลยีด้านเทอร์โมอิเล็กทริกแพร่หลาย มีการใช้กันในวงกว้าง ราคาเริ่มถูกลง คงเป็นที่สนใจไม่ น้อยเพราะเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กสามารถใช้ได้ในทุกที่ที่มีแหล่งความร้อน



## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่า แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จะมากที่สุด โดยการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัว โดยแรงดันที่วัดได้สูงสุดคือ 0.48 โวลต์ กระแสที่วัดได้สูงสุดคือ 0.0689 แอมแปร์ รองลงมาคือการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 2 ตัว และ 1 ตัว ตามลำดับ ในช่วงเริ่มต้นของการทดลอง แรงดันและกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นสูงสุดค่าหนึ่งจนถึงเวลาหนึ่งแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ณ เวลาหนึ่งแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะเริ่มคงที่ สาเหตุที่ในช่วงแรกแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นเพราะความแตกต่างของอุณหภูมิที่มาก หลังจากนั้นเมื่อทำการทดลองไปเรื่อยๆ ทั้ง 2 ฟังของเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีอุณหภูมิที่เท่ากันอันเนื่องมาจากความบางของตัวเทอร์โมอิเล็กทริกจึงทำให้มีการถ่ายเทความร้อนมายังด้านที่เย็นกว่า จนถึงเวลาหนึ่งทั้ง 2 ด้านก็จะมีอุณหภูมิที่เท่ากันจึงทำให้แรงดันและกระแสไฟฟ้ามีค่าคงที่นั่นเอง

ในส่วนของคุณภาพนั้น จะพบว่า ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกจะได้มากที่สุด โดยการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 3 ตัวเช่นกัน โดยประสิทธิภาพสูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริกจะอยู่ที่ 0.1% ดังนั้นเมื่อนำเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทำความเย็น มาทำเป็นตัวผลิตกระแสไฟฟ้าจึงทำให้ประสิทธิภาพต่ำอย่างเห็น และจากการทดลองก็พบว่า เทอร์โมอิเล็กทริก CERAMIC THERMOELECTRIC COOLING MODULE (PELTIER) รุ่น TEC1-12710 ไม่เหมาะสมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าเลยทั้งในด้านของคุณภาพที่ต่ำมากและการทนต่ออุณหภูมิที่สูง ซึ่งตัวโมดูลนั้นทนต่ออุณหภูมิที่สูงไม่ได้และเมื่อมีการใช้งานไปในเวลาที่ยาวนานตัวโมดูลเองก็จะเสื่อมสภาพไปในที่สุด

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ประสิทธิภาพที่ได้มีค่าน้อยมาก ซึ่งอาจเป็นเพราะเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลองเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทำความเย็น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นต่ำมาก และ เทอร์โมอิเล็กทริกก็ทนอุณหภูมิได้ไม่สูงนักทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกเกิดความเสียหายเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สูง และทนต่ออุณหภูมิได้ดีควรใช้เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรง

2. เนื่องจากปัญหาเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิไม่คงที่ อาจปรับปรุงชิ้นงานเพื่อให้สามารถควบคุมความแตกต่างของอุณหภูมิได้ดียิ่งขึ้น โดยการออกแบบจนวนและติดตั้งลงในชิ้นงานเพื่อไม่ให้ความร้อนจากฝั่งร้อนถ่ายเทมายังฝั่งเย็น

**บรรณานุกรม**

ปฐ.  
จษร 8 ก  
2552  
c. 2

1. ฝ่ายเทพ พิชญษากร. **เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก** (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปี ที่เผยแพร่)สืบค้นข้อมูลวันที่ 19 มิถุนายน 2551 จาก <http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/180/index180.htm>
2. ธนรัฐ ศวีระกุล. **การวัดและเครื่องมือวัดความดันทางวิศวกรรมเครื่องกล** (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่)สืบค้นข้อมูลวันที่ 19 มิถุนายน 2551 จาก <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20090630Thanarat15.pdf> ใ 5072864
3. [http://freenergynews.com/Directory/ThermoElectric/101\\_archive.htm](http://freenergynews.com/Directory/ThermoElectric/101_archive.htm)
4. [http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=show&article\\_id=906](http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=show&article_id=906)
5. [http://www.kmutt.ac.th/EEM\\_conference/Proceedings/index\\_files/PDF/ENP8\\_Battery.pdf](http://www.kmutt.ac.th/EEM_conference/Proceedings/index_files/PDF/ENP8_Battery.pdf)
6. [http://www.asianproducts.com/product/A12601016108483958\\_P12601032060840400/power-generation-modules-teg.html](http://www.asianproducts.com/product/A12601016108483958_P12601032060840400/power-generation-modules-teg.html)

---

**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก

## วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก

เมื่อประสิทธิภาพคือ  $\eta = \frac{q''}{W_e}$ 

จากสมการ 2.13

$$\begin{aligned} q_x'' &= \frac{k(T_1 - T_2)}{L} = \frac{kA\Delta T}{L} \text{ (w/m}^2\text{)} \\ &= \frac{15.1 \times 0.0016 \times 10}{0.0033} \\ &= 73.21 \end{aligned}$$

เมื่อ

ค่าสภาพการนำความร้อนของสแตนเลส  $k=15.1 \text{ w/m.k}$ พื้นที่ของเทอร์โมอิเล็กทริก  $A=0.0016 \text{ m}^2$ ความแตกต่างของอุณหภูมิ  $\Delta T = 283.15\text{K}$ ความหนาของท่อไอเสีย  $L=0.0033 \text{ m}$ 

จากสมการ 2.5

$$\begin{aligned} W_e &= VI \\ &= 0.1213 \times 0.0179 \\ &= 0.002171 \end{aligned}$$

เมื่อ

แรงดันไฟฟ้า  $V=0.1213$ กระแสไฟฟ้า  $I=0.0179$ 

จะได้

$$\eta = \frac{0.002171}{73.21} = 2.91 \times 10^{-5}$$

\*หมายเหตุ ประสิทธิภาพที่คำนวณได้แสดงในภาคผนวก ข

## ภาคผนวก ข

## ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 1

เวลา(นาที)	V(v)	I(mA)	$\Delta T(^{\circ}C)$	S (V/ $^{\circ}C$ )	P(w)	Q(W)	Efficiency
1	0.1213	17.9	11	0.011027	0.002171	80.53333	0.002696
2	0.16	21.8	13	0.012308	0.003488	95.17576	0.003665
3	0.1403	19.7	11	0.012755	0.002764	80.53333	0.003432
4	0.1297	18.8	10	0.01297	0.002438	73.21212	0.003331
5	0.1155	17.6	10	0.01155	0.002033	73.21212	0.002777
6	0.1116	16.5	9	0.0124	0.001841	65.89091	0.002795
7	0.09	15.9	7	0.012857	0.001431	51.24848	0.002792
8	0.0752	14.5	6	0.012533	0.00109	43.92727	0.002482
9	0.0752	14.5	6	0.012533	0.00109	43.92727	0.002482
10	0.0752	14.5	6	0.012533	0.00109	43.92727	0.002482

ตารางที่ 2 ผลการทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 2

เวลา(นาที)	V(v)	I(mA)	$\Delta T(^{\circ}C)$	S (V/ $^{\circ}C$ )	P(w)	Q(W)	Efficiency
1	0.1283	18.9	10	0.01283	0.002425	73.21212	0.003312
2	0.1594	20.9	13	0.012262	0.003331	95.17576	0.0035
3	0.1423	19.7	12	0.011858	0.002803	87.85455	0.003191
4	0.1303	17.7	11	0.011845	0.002306	80.53333	0.002864
5	0.1139	16.9	9	0.012656	0.001925	65.89091	0.002921
6	0.1103	15.5	9	0.012256	0.00171	65.89091	0.002595
7	0.0994	13.8	8	0.012425	0.001372	58.5697	0.002342
8	0.0832	11.3	7	0.011886	0.00094	51.24848	0.001835
9	0.0832	11.3	7	0.011886	0.00094	51.24848	0.001835
10	0.0832	11.3	7	0.011886	0.00094	51.24848	0.001835

ตารางที่ 3 ผลการทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 3

เวลา(นาที)	V(v)	I(mA)	$\Delta T(^{\circ}C)$	S (V/ $^{\circ}C$ )	P(w)	Q(W)	Efficiency
1	0.1294	20.1	11	0.011764	0.002601	80.53333	0.00323
2	0.1602	22.3	13	0.012323	0.003572	95.17576	0.003754
3	0.1398	18.9	11	0.012709	0.002642	80.53333	0.003283
4	0.1324	17.7	11	0.012036	0.002343	80.53333	0.00291
5	0.1115	16.9	9	0.012389	0.001884	65.89091	0.00286
6	0.1097	15.7	9	0.012189	0.001722	65.89091	0.002614
7	0.0883	14.4	7	0.012614	0.001272	51.24848	0.002481
8	0.0819	13.6	7	0.0117	0.001114	51.24848	0.002173
9	0.0819	13.6	7	0.0117	0.001114	51.24848	0.002173
10	0.0819	13.6	7	0.0117	0.001114	51.24848	0.002173

ตารางที่ 4 ผลการทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 1 ต่ออนุกรมกับตัวที่ 2

เวลา(นาที)	V(v)	I(mA)	$\Delta T(^{\circ}C)$	S (V/ $^{\circ}C$ )	P(w)	Q(W)	Efficiency
1	0.34	30.5	11	0.030909	0.01037	161.0667	0.00643833
2	0.38	35.4	13	0.029231	0.013452	190.3515	0.00706693
3	0.35	31.9	12	0.029167	0.011165	175.7091	0.00635425
4	0.34	30.6	11	0.030909	0.010404	161.0667	0.00645944
5	0.31	28.4	10	0.031	0.008804	146.4242	0.00601267
6	0.3	27.9	9	0.033333	0.00837	131.7818	0.00635141
7	0.29	26.3	9	0.032222	0.007627	131.7818	0.0057876
8	0.28	24	9	0.031111	0.00672	131.7818	0.00509934
9	0.28	24	9	0.031111	0.00672	131.7818	0.00509934
10	0.28	24	9	0.031111	0.00672	131.7818	0.00509934

ตารางที่ 5 ผลการทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 1 ต่ออนุกรมกับตัวที่ 3

เวลา(นาที)	V(v)	I(mA)	$\Delta T(^{\circ}C)$	S (V/ $^{\circ}C$ )	P(w)	Q(W)	Efficiency
1	0.32	29.7	10	0.032	0.009504	146.4242	0.00649073
2	0.38	35.3	14	0.027143	0.013414	204.9939	0.00654361
3	0.36	32.1	12	0.03	0.011556	175.7091	0.00657678
4	0.35	31.9	12	0.029167	0.011165	175.7091	0.00635425
5	0.32	28.4	11	0.029091	0.009088	161.0667	0.00564238
6	0.3	27.3	10	0.03	0.00819	146.4242	0.00559334
7	0.27	25.4	10	0.027	0.006858	146.4242	0.00468365
8	0.26	23.8	9	0.028889	0.006188	131.7818	0.00469564
9	0.26	23.8	9	0.028889	0.006188	131.7818	0.00469564
10	0.26	23.8	9	0.028889	0.006188	131.7818	0.00469564

ตารางที่ 6 ผลการทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 2 ต่ออนุกรมกับตัวที่ 3

เวลา(นาที)	V(v)	I(mA)	$\Delta T(^{\circ}C)$	S (V/ $^{\circ}C$ )	P(w)	Q(W)	Efficiency
1	0.33	33.6	10	0.033	0.011088	146.4242	0.00757252
2	0.39	36.5	13	0.03	0.014235	190.3515	0.00747827
3	0.37	32.3	12	0.030833	0.011951	175.7091	0.00680158
4	0.36	29.8	11	0.032727	0.010728	161.0667	0.0066606
5	0.34	28.5	11	0.030909	0.00969	161.0667	0.00601614
6	0.33	27.4	10	0.033	0.009042	146.4242	0.00617521
7	0.31	26.5	9	0.034444	0.008215	131.7818	0.00623379
8	0.29	25.2	9	0.032222	0.007308	131.7818	0.00554553
9	0.29	25.2	9	0.032222	0.007308	131.7818	0.00554553
10	0.29	25.2	9	0.032222	0.007308	4131.36	0.00017689

ตารางที่ 7 ผลการทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกตัวที่ 1 ต่ออนุกรมกับตัวที่ 2 และตัวที่ 3

เวลา(นาที)	V(v)	I(mA)	$\Delta T(^{\circ}C)$	S (V/ $^{\circ}C$ )	P(w)	Q(W)	Efficiency
1	0.38	52.1	11	0.034545	0.019798	241.6	0.008194536
2	-0.48	-68.9	13	0.036923	0.033072	-285.5273	-0.011582781
3	0.44	61.1	12	0.036667	0.026884	263.5636	0.010200193
4	0.41	53.6	11	0.037273	0.021976	241.6	0.009096026
5	0.36	48.6	10	0.036	0.017496	219.6364	0.007965894
6	0.33	41.7	9	0.036667	0.013761	197.6727	0.006961507
7	0.32	33.4	8	0.04	0.010688	175.7091	0.006009934
8	0.31	30.6	8	0.03875	0.009486	175.7091	0.005398696
9	0.31	30.6	8	0.03875	0.009486	175.7091	0.005398696
10	0.31	30.6	8	0.03875	0.009486	175.7091	0.005398696



## ประวัติผู้จัดทำโครงการ

**ชื่อ/นามสกุล :** นายภัทรารุช จารีกพาณิชย์

**วันเกิด :** 10 กันยายน 2530  
**ที่อยู่ :** 240 ถนนโกสีย์ ต.ปากน้ำโพธิ์ อ.เมืองนครสวรรค์ จ.นครสวรรค์ 60000  
**การศึกษา :** จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนลาซาล โซติรวี นครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ปีการศึกษา 2545  
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนลาซาล โซติรวี นครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ปีการศึกษา 2548

**ชื่อ/นามสกุล :** นายวัลลภ ปานสุด  
**วันเกิด :** 08 กรกฎาคม 2530  
**ที่อยู่ :** 75/2 ม.1 ต.เกาะตาล อ.ขาณุวรลักษบุรี จ.กำแพงเพชร 62130  
**การศึกษา :** จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนวังแจ่มวิทยา จังหวัดกำแพงเพชร ปีการศึกษา 2545  
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนวังแจ่มวิทยา จังหวัดกำแพงเพชร ปีการศึกษา 2548

**ชื่อ/นามสกุล :** นายสุรศักดิ์ เครือเป็ง  
**วันเกิด :** 24 ธันวาคม 2530  
**ที่อยู่ :** 477 ม.2 ต.คลองน้ำไหล อ.คลองลาน จ.กำแพงเพชร 62180  
**การศึกษา :** จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนคลองลานวิทยา จังหวัดกำแพงเพชร ปีการศึกษา 2545  
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนคลองลานวิทยา จังหวัดกำแพงเพชร ปีการศึกษา 2548