



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องระบายความร้อนในร่างกายมนุษย์โดยใช้ปรากฏการณ์

เทอร์โมอิเล็กทริก

HEAT EXCHANGING DEVICE USING THERMOELECTRIC EFFECT

ดอน อิศรากร

สองเมือง นันทขว้าง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากโครงการงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ เครื่องระบายความร้อนในร่างกายมนุษย์โดยใช้ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

แหล่งเงิน โครงการงบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ.....2557..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน..... 40,000..... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย..... 1..... ปี ตั้งแต่..... ต.ค. 56..... ถึง..... ก.ย. 57.....

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ ดร. ดอนนิศรากร สังกัดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

ผู้ร่วมโครงการ นายสองเมือง นันทขว้าง สังกัดคณะวิศวกรรมศาสตร์

### บทคัดย่อ

จากงานวิจัยทางการแพทย์กล่าวไว้ว่า การออกกำลังกายอย่างหนักส่งผลให้อุณหภูมิภายในร่างกายสูงขึ้นและหากสามารถลดอุณหภูมิของร่างกายอย่างทันทีหลังการออกกำลังกายจะสามารถช่วยฟื้นฟูกำลังของร่างกายได้ดีขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดและสร้างอุปกรณ์ช่วยลดอุณหภูมิของร่างกายได้อย่างรวดเร็ว (Rapid Heat Exchange) โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) หรือเพีย-เทียร์ (Peltier) รุ่น TEC-12706 เป็นตัวลดอุณหภูมิ, ใช้เครื่อง On-Off Controller เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ, เซนเซอร์ชนิด NTC เป็นตัววัดอุณหภูมิ และใช้ทองแดงเป็นวัสดุในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีหลักการทำงาน คือ เครื่อง On-Off Controller เป็นตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลไปยังเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับกระแสไฟฟ้าจะเกิดความต่างของอุณหภูมิทำให้เกิดด้านร้อนและด้านเย็น โดยผู้วิจัยจะนำอุณหภูมิด้านเย็นส่งผ่านไปยังมีจบบทองแดง และมีตัวเซนเซอร์เป็นตัววัดอุณหภูมิที่ผิวทองแดงเพื่อส่งค่ากลับไปยังเครื่อง On-Off Controller เพื่อควบคุมอุณหภูมิของทองแดงให้อยู่ในช่วงระหว่าง 17-19 องศาเซลเซียส จากการทดลองใช้อุปกรณ์ ผู้วิจัยพบว่า ที่อุณหภูมิห้อง 32 องศาเซลเซียส การลดอุณหภูมิของทองแดงให้อยู่ในช่วง 17-19 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาประมาณ 120-300 วินาที

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก, การลดอุณหภูมิในร่างกายอย่างรวดเร็ว, การแลกเปลี่ยนความร้อน

**Research Title:** Heat Exchanging Device using Thermoelectric Effect

**Researcher:** Dr.Don Isarakorn, Mr.Songmoung Nundrakwang

**Faculty:** .....Engineering.....**Department:** .....Instrumentation and Control Engineering.....

## ABSTRACT

From the medical research, it is said that a hard workout cause the increasing of body's temperature and if the heat accumulated in the body can be rapidly decreased, it can help revitalize the body. Applying this concept lead to the design of Rapid Heat Exchanger in this project. The researchers choose Thermoelectric (Peltier) model TEC-12706 for decreasing temperature, On-Off Controller for controlling temperature, NTC sensor for measuring temperature, and the copper as heat exchanger. The operation of machine are as following: On-Off Controller is used for controlling the current flow to thermoelectric. Then, the thermoelectric have a difference in temperature of each side, which is cool side and hot side. Therefore we used the cool side temperature transfer to the copper handling. The sensor at copper surface will feedback temperature to On-Off Controller for keeping temperature at 17-19 °C. From experiment, the researchers found that decreasing the copper temperature in range 17-19 °C at ambience temperature (32 °C) will take about 120–300 seconds.

Keyword : Thermoelectric, Rapid heat exchange, Heat transfer

## กิตติกรรมประกาศ

ที่งานวิจัยนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้นั้นเกิดจากการที่คณะที่วิจัยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนโครงการงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2556 ทางทีมงานจึงต้องขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นอย่างสูง

ดร.ดอน อิศรากร

นายสองเมือง นันทขว้าง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XI
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขอบเขตการศึกษา	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก	3
2.1.1 ความหมาย	3
2.1.2 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	3
2.1.2.1 ปรากฏการณ์ซีเบค	3
2.1.2.2 ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์	5
2.1.2.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน	7

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.3 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	7
2.2 กฎการถ่ายเทความร้อน	9
2.3 การทบทวนวรรณกรรม	12
<b>บทที่ 3 หลักการออกแบบ</b>	
3.1 วงจรการทำงานของระบบ	16
3.2 โครงสร้างอุปกรณ์ลดอุณหภูมิแกนกลางร่างกายผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน	16
3.2.1 การเลือกวัสดุแลกเปลี่ยนความร้อน	16
3.2.2 โครงสร้างที่ใช้ในการทดลอง	17
3.3 เทอร์โมอิเล็กทริก	19
3.4 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ	21
3.5 Heatsink	21
3.6 แบตเตอรี่	22
3.6.1 แบตเตอรี่ Lithium Iron Phosphate และการต่อแบตเตอรี่	22
3.6.2 Li-ion Battery Charger	23
3.6.3 แผงวงจร BMS	23
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	
4.1 การทดลองมือจับ	24
4.1.1 การทดลองมือจับทองแดง 2 ข้าง แบบที่ 1	25
4.1.2 การทดลองมือจับทองแดง 2 ข้าง แบบที่ 2	27
4.1.3 การทดลองมือจับทองแดง 1 ข้าง แบบที่ 1	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.4 การทดลองมือจับทองแดง 1 ซ้าง แบบที่ 2	29
4.1.5 การทดลองมือจับอลูมิเนียม 1 ซ้าง แบบที่ 3	30
4.1.6 การทดลองมือจับอลูมิเนียม 1 ซ้าง แบบที่ 4	31
4.1.7 การทดลองมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลางเพื่อรับกับฝ่ามือ แบบที่ 5	32
4.1.8 การทดลองมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลางเพื่อรับกับฝ่ามือ แบบที่ 6	34
4.2 การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก	35
4.2.1 การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 โดยจ่ายแรงดันตั้งแต่ 1 V-12 V กับ แบบที่ D1	35
4.2.2 การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 แบบที่ D2	37
4.2.3 การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 แบบที่ D3	39
4.2.4 การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 แบบที่ D4	41
4.2.4.1 การทดลองใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 จำนวน 1 ตัว	41
4.2.4.2 การทดลองใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 จำนวน 1 ตัว กับโดยมีมือมารบกวน	43
4.3 การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ	44
4.3.1 การทดสอบต้นแบบกับโครงสร้างแบบที่ D4	45
4.3.2 การทดสอบต้นแบบกับโครงสร้างแบบที่ D5	45
<b>บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	47
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	47

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	48
เอกสารอ้างอิง	49
ประวัติผู้จัดทำ	51

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ปฏิกิริยาการแผ่รังสีซีเบค	4
2.2 ปฏิกิริยาการแผ่รังสีเพลเทียร์ (Peltier Effect)	5
2.3 เมื่อสัมผัสประสิทธิผลเพลเทียร์เป็นลบ	6
2.4 เมื่อสัมผัสประสิทธิผลเพลเทียร์เป็นบวก	6
2.5 วงจรเทอร์โมไดนามิกส์ของปรากฏการณ์ทอมสัน (H.J. Goldsmid, 1960)	7
2.6 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	8
2.7 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	9
2.8 ค่าการนำความร้อน $k$ ของโลหะบางชนิดที่แปรตามอุณหภูมิ	11
2.9 ต้นแบบเครื่อง Rapid Thermal Exchanger (RTX) ปี 2009	12
2.10 เครื่อง Rapid Thermal Exchange (RTX) จากบริษัท AVAcore	13
2.11 การใช้เครื่อง Rapid Thermal Exchange (RTX) กับนักกีฬาอเมริกันฟุตบอล ในระหว่างการแข่งขันจากบริษัท AVAcore	14
3.1 ระบบการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิบริเวณฝ่ามือ	15
3.2 วิธีการต่อวงจรในการทดลอง	16
3.3 แบบที่ D1	17
3.4 แบบที่ D2	18
3.5 แบบที่ D3	18
3.6 แบบที่ D4	19
3.7 แบบที่ D5	19
3.8 Thermoelectric รุ่น TEC1-12706	20

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 การยึดเทอร์โมอิเล็กทริกกับมือจับและ heatsink	20
3.10 เครื่องควบคุมอุณหภูมิรุ่น WH70164	20
3.11 Heatsink ของ Cooler Master รุ่น Geminll M4	21
3.12 แบตเตอรี่ Lithium Iron Phosphate	22
3.13 วิธีการต่อแบตเตอรี่ใช้แบบอนุกรมกันกับแผงวงจร BMS	22
3.14 Li-ion Battery Charger	23
3.15 แผงวงจร BMS 12.8V 4S LiFePO4 Battery Packs	23
4.1 ผลการ Simulate มือจับ 2 ข้างแบบที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 9 °C	25
4.2 ผลการ Simulate มือจับ 2 ข้างแบบที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 10 °C	26
4.3 ผลการ Simulate มือจับ 2 ข้างแบบที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.125 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 11 °C	27
4.4 ผลการ Simulate มือจับ 2 ข้างแบบที่ 2 เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.125 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 11 °C	28
4.5 ผลการ Simulate มือจับ 1 ข้าง เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.125 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 13 °C	29
4.6 ผลการ Simulate มือจับ 1 ข้าง เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.125 นิ้ว และยาว 5.9 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 14°C	30
4.7 ผลการ Simulate มือจับ 1 ข้าง เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 8 °C	31
4.8 ผลการ Simulate มือจับ 1 ข้าง เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 14 °C	32
4.9 ผลการ Simulate มือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลาง ที่อุณหภูมิ 17 °C	33
4.10 ผลการ Simulate มือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลาง ที่อุณหภูมิ 16 °C	34
4.11 แบบ A ทดลองที่อุณหภูมิห้อง	35
4.12 แบบ B ทดลองในกล่องเก็บความเย็น	35
4.13 ผลการทดลองที่แรงดัน 1 V แบบที่ D1	36

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ผลการทดลองที่แรงดัน 6 V แบบที่ D1	36
4.15 ผลการทดลองที่แรงดัน 12 V แบบที่ D1	36
4.16 ชิ้นงานจริง แบบที่ D2	37
4.17 กราฟผลการทดลองแสดงอุณหภูมิที่แรงดัน 12 V, 15.4 V และ 13 V แบบที่ D2	37
4.18 กราฟผลการทดลองแสดงกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V, 15.4 V และ 13 V แบบที่ D2	38
4.19 กราฟผลการทดลองแสดงกำลังไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V, 15.4 V และ 13 V แบบที่ D2	38
4.20 ชิ้นงานจริง แบบที่ D3	39
4.21 กราฟผลการทดลองแสดงอุณหภูมิที่แรงดัน 12 V แบบที่ D3	40
4.22 กราฟผลการทดลองแสดงกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V แบบที่ D3	40
4.23 กราฟผลการทดลองแสดงกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V แบบที่ D3	40
4.24 ชิ้นงานจริง แบบที่ D4	41
4.25 กราฟผลการทดลองแสดงอุณหภูมิที่แรงดัน 12 V แบบที่ D4	42
4.26 กราฟผลการทดลองแสดงกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V แบบที่ D4	42
4.27 กราฟผลการทดลองแสดงกำลังไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V แบบที่ D4	42
4.28 กราฟผลการทดลองแสดงอุณหภูมิที่มีฝามือมารบกววน แบบที่ D4	43
4.29 กราฟผลการทดลองแสดงกระแสไฟฟ้าที่มีฝามือมารบกววน แบบที่ D4	43
4.30 กราฟผลการทดลองแสดงกระแสไฟฟ้าที่มีฝามือมารบกววน แบบที่ D4	44
4.31 อุปกรณ์ต้นแบบ	44
4.32 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองแสดงอุณหภูมิระหว่างการทำงานปกติกับการมีฝามือมารบกววนแบบที่ D4	45
4.33 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองแสดงอุณหภูมิระหว่างการทำงานปกติกับการมีฝามือมารบกววนแบบที่ D5	46

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าการนำความร้อน $k$ ของโลหะ อโลหะ ของแข็ง ของเหลว และแก๊สบางชนิด	17
3.2 คุณสมบัติต่างๆ ของ Thermoelectric รุ่น TEC1-12706 และ รุ่น TEC1-12715	20
4.1 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับที่หน้าตัด 1 นิ้ว	25
4.2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับที่หน้าตัด 1.5 นิ้ว	26
4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับที่หน้าตัด 2.125 นิ้ว	26
4.4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิมือจับแบบที่ 1 กับมือจับแบบที่ 2	27
4.5 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับ 1 ข้างที่หน้าตัด 2.125 นิ้ว	28
4.6 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับ 2 ข้างที่หน้าตัด 2.125 นิ้ว	29
4.7 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับ 1 ข้างที่หน้าตัด 1.5 นิ้ว	31
4.8 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับ 2 ข้างที่หน้าตัด 1.5 นิ้ว	32
4.9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิปปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลาง	33
4.10 การเปรียบเทียบอุณหภูมิปปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลาง	34

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

สมรรถภาพร่างกาย คือ ความสามารถของระบบต่างๆ ในร่างกายที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้ที่มีสมรรถภาพร่างกายที่ดีจะสามารถปฏิบัติภารกิจประจำวันได้อย่างคล่องแคล่ว ว่องไวและฟื้นตัวจากความเมื่อยล้าในแต่ละภารกิจได้เร็วขึ้น ซึ่งการออกกำลังกายจะทำให้สมรรถภาพทางกายทั่วไปลดลง การเพิ่มสมรรถภาพทางกายมีวิธีการต่างๆ มากมาย สำหรับนักกีฬาต้องการสมรรถภาพที่เหมาะสมตลอดทั้งการแข่งขัน การหยุดพักในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เพื่อให้ร่างกายของนักกีฬาฟื้นฟู ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้วิธีการลดอุณหภูมิร่างกาย โดยทั่วไปจะนิยมการดื่มน้ำเย็น แต่สำหรับกีฬาบางประเภทจะไม่เหมาะสมนัก ดังนั้นจึงได้มีการนำเทคโนโลยีในการแก้ปัญหาการลดอุณหภูมิของร่างกายในระหว่างการแข่งขัน

ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาแก้ปัญหาการลดอุณหภูมิในร่างกายระหว่างการแข่งขัน เช่น บริษัท AVAcore's CoreControl™ ที่นำเสนอเครื่อง Rapid Thermal Exchange (RTX) [1] ซึ่งช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพทางกายในช่วงแข่งขันโดยนำเสนอว่าวิธีการนำเสนอสามารถลดอุณหภูมิแกนของร่างกายที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการแข่งขันกีฬา ทำให้ความอดทนของกล้ามเนื้อดีขึ้น ลดค่าอัตราการเต้นของหัวใจ เครื่องมือดังกล่าวอาศัยการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิที่เย็นกว่าผ่านฝ่ามือ 1 ฝ่ามือ เครื่อง Rapid Thermal Exchange สามารถลดอุณหภูมิร่างกายได้โดยระบบไหลเวียนโลหิตภายในร่างกาย ซึ่งแลกเปลี่ยนความเย็นผ่านฝ่ามือเข้าไปยังโลหิต จากนั้นจะไหลเวียนไปยังทั่วร่างกาย จึงทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิลดลงนั่นเอง มีการนำเครื่องมือนี้ไปใช้ในการแข่งขันกีฬายอดนิยมอย่างเช่นอเมริกันฟุตบอล เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ช่วยส่งเสริมพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาในประเทศไทยยังไม่เพียงพอต่อนักกีฬา เนื่องจากยังมีงานวิจัยในด้านนี้ค่อนข้างน้อย เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ช่วยพัฒนาศักยภาพทางกายนักกีฬาส่วนใหญ่มีราคาแพง และเป็นเครื่องมือนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นหากมีการสร้างเครื่องมือที่มีลักษณะการทำงานที่ดีกว่าเครื่อง Rapid Thermal Exchange สำหรับนักกีฬาในประเทศไทย ซึ่งอาจทำให้นักกีฬามีศักยภาพในการได้ชัยชนะดีมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นเครื่องมือนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาอาการต่างๆ ที่เกิดจากความร้อนได้อีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์

โครงการขึ้นนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. พัฒนาเครื่องระบายความร้อนในร่างกายมนุษย์โดยใช้ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก
2. เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับผู้ป่วยปฏิบัติงานกลางแจ้ง หรือทำงานในสภาวะแวดล้อมที่มีความร้อนสูง หรือนักกีฬา

## 1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ

1. ศึกษาการถ่ายเทความร้อนด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อใช้ในการออกแบบและจำลองมือจับ
2. ทดลองหาคคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก แบบต่างๆ เพื่อหาเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมในการใช้งานที่สุด
3. ออกแบบมือจับ โดยใช้ข้อมูลจากการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์
4. ทดสอบระบบทั้งหมดในห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่อง

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ลดอุณหภูมิร่างกายได้
2. เนื่องจากไม่มีของเหลวในระบบ จึงทำให้ใช้งานและพกพาได้สะดวก
3. สิทธิบัตรทางปัญญา

## 1.5 ขอบเขตการศึกษา

โครงการวิจัยนี้เป็นเครื่องระบายความร้อนในร่างกายมนุษย์โดยใช้ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งได้มาจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก พร้อมทั้งพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมและออกแบบให้เคลื่อนย้ายได้สะดวก ปรับตั้งค่าง่ายต่อการใช้งาน

## บทที่ 2

# ทฤษฎี และความรู้ที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในส่วนนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและอธิบายถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องก่อนจะนำไปใช้งานจริงในการสร้างอุปกรณ์ลดความร้อนแกนกลางร่างกายผ่านฝ่ามือที่ได้ ออกแบบสร้างขึ้น ซึ่งประกอบด้วย เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) การถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer) และระบบควบคุมต่างๆ

### 2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)

#### 2.1.1 ความหมาย

เทอร์โมอิเล็กทริก คือ สมบัติพิเศษของวัสดุที่สามารถผันความร้อนเป็นไฟฟ้า และสามารถผันไฟฟ้าเป็นความร้อน โดยอาศัยหลักการสั่นสะเทือนของโครงสร้างภายในของแข็งที่เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกในเชิงควอนตัมฟิสิกส์ เรียกว่า โฟนอน (Phonon) เมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิสูงก็จะถ่ายเทไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า นั่นคือมีอิเล็กตรอน (Electron) และ โฮล (Hole) เคลื่อนที่ ซึ่งจะได้ออกมา ซึ่งสามารถนำมาสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสร้างเครื่องทำความเย็นได้

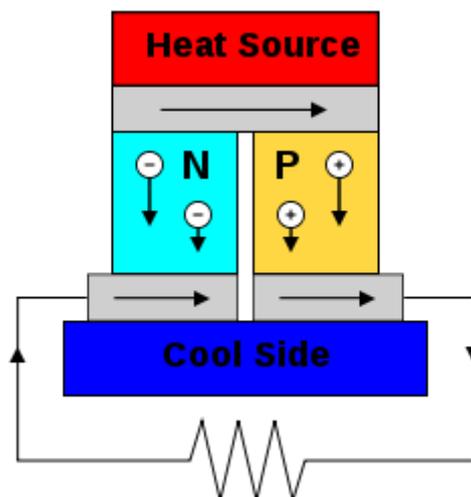
#### 2.1.2 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์พื้นฐานทางการผันไฟฟ้าจากความร้อน มีอยู่ด้วยกันดังปรากฏการณ์ที่กล่าวมาแล้วคือ ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect) และ ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect) ทั้งสามปรากฏการณ์นี้ มีรากฐานอยู่ที่การผันความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า หรืออาจผันไฟฟ้าไปเป็นความร้อน

##### 2.1.2.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

ในปี 1821 โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน กล่าวว่า “เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด” ปรากฏการณ์ซีเบคเป็นปรากฏการณ์ที่มีรากฐานอยู่ที่การผันความร้อนเป็นไฟฟ้ามีความสำคัญทางกายภาพของมันเป็นสามารถเห็นได้โดยการพิจารณาปรากฏการณ์ของการบังคับเกรเดียนต์ของอุณหภูมิสม่ำเสมอให้ไหลไปตามตัวนำจำกัด ซึ่งในตอนเริ่มแรกตัวนำจะควบคุมการกระจายอย่างสม่ำเสมอของตัวพาหะประจุ แต่ภายใต้เกรเดียนต์อุณหภูมิหนึ่งพาหะอิสระต่าง ๆ ที่ปลายด้านร้อน (Hot end) จะมีพลังงานจลน์มากกว่าที่ปลายด้านเย็น (Cold end) และมีแนวโน้มที่จะแพร่ไปปลายด้านเย็น การเกิดขึ้นของประจุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (Back electromotive force หรือ

back e.m.f) ซึ่งตรงกันข้ามกับการไหลของประจุ ความต่างศักย์วงจรเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหลที่เกิดขึ้น เรียกว่า ความต่างศักย์ซีเบค (Seebeck voltage) [2] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปรัชการณซีเบค [3]

สมการของ Seebeck effect สามารถเขียนในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจะได้ดังสมการที่ 2.1 และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสนามไฟฟ้าและ gradient ของอุณหภูมิได้ดังสมการที่ 2.2

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

$$\vec{E} = \alpha \vec{\nabla} T \quad (2.2)$$

โดยที่  $V$  คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า, V

$\vec{E}$  คือ เวกเตอร์สนามไฟฟ้า, V/m

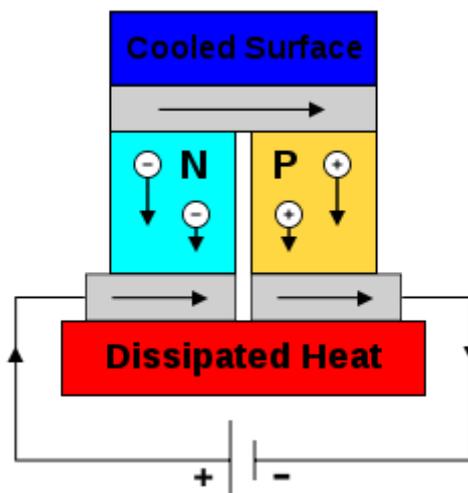
$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค, V/K

$T$  คือ อุณหภูมิ, K

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

### 2.1.2.2 ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect)

ในปี 1834 ยีน เพลทีเยอร์ ชาร์เลส อธาเนส (Jean Charles Athanase Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส กล่าวว่า “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า” [1] ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier Effect) [3]

ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์เป็นปรากฏการณ์หนึ่งซึ่งคู่กันกับปรากฏการณ์ซีเบค และถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำระบบหล่อเย็นจากการผันความร้อนจากไฟฟ้า (Thermoelectric refrigeration) ในที่นี้ อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับได้ (Rate of reversible heat absorption,  $Q$ ) ซึ่งส่งมาพร้อมกับการผ่านกระแสไฟฟ้า ( $I$ ) ผ่านรอยต่อ ดังสมการที่ 2.3 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับค่าสัมประสิทธิ์เพลทีเยอร์ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.4

$$\vec{Q} = \Pi \vec{I} \quad (2.3)$$

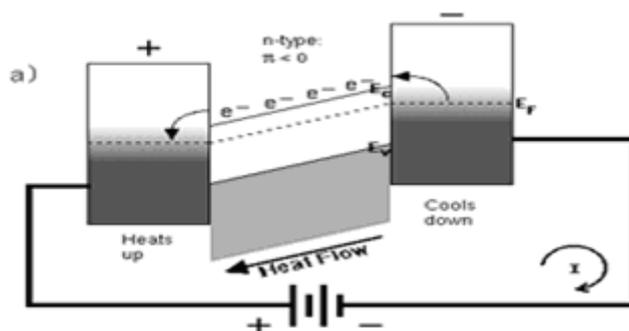
$$\Pi = \alpha T \quad (2.4)$$

โดยที่  $\vec{Q}$  คือ อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับ, J

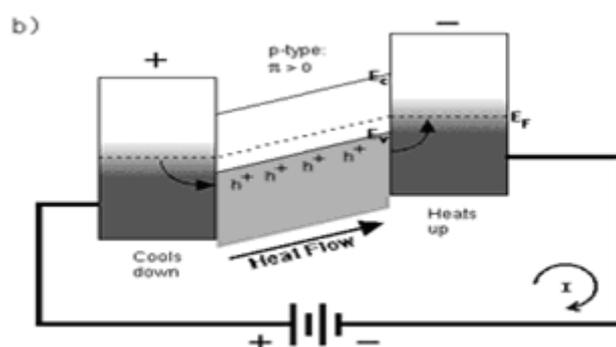
$\Pi$  คือ สัมประสิทธิ์เพลเทียร์ของรอยต่อ

$\vec{I}$  คือ กระแสไฟฟ้า, A

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นลบ ( $\Pi < 0$ ) อิเล็กตรอนของอะตอมพลังงานสูงเคลื่อนย้ายจากขามาซ้าย การไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้ามีทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และเมื่อค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นบวก ( $\Pi > 0$ ) หลุมพลังงานสูงเคลื่อนย้ายจากซ้ายมาขวา การไหลเวียนของความร้อน และกระแสไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



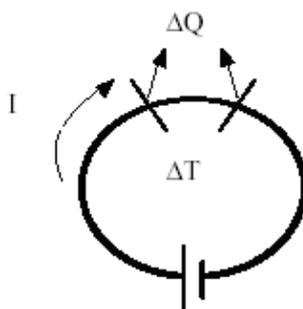
รูปที่ 2.3 เมื่อสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นลบ ( $\Pi < 0$ ) [3]



รูปที่ 2.4 เมื่อสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นบวก ( $\Pi > 0$ ) [3]

### 2.1.2.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect)

ในปี 1954 วิลเลียม ทอมสัน (William Thomson) หรือ ลอร์ด เคลวิน (Lord Kelvin) นักฟิสิกส์ชาวสกอต กล่าวว่า “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าสองจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ทิศทางความร้อนขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้าจากจุดเย็นไปจุดร้อนหรือจากจุดร้อนไปจุดเย็น” ปรากฏการณ์ทอมสัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแพร่ของความร้อนแบบกลับได้  $\Delta Q$  ซึ่งเกิดขึ้นมาเนื่องจากการผ่านของกระแสไฟฟ้าตามตัวนำเดี่ยวอันหนึ่งเมื่อมีเกรเดียนต์  $\Delta T$  อุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ ได้ดังสมการที่ 2.5 และสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับค่าสัมประสิทธิ์ทอมสัน ได้ดังสมการที่ 2.6



รูปที่ 2.5 วงจรเทอร์โมไดนามิกส์ของปรากฏการณ์ทอมสัน (H.J. Goldsmid, 1960) [3]

$$Q = \beta I(\Delta T) \quad (2.5)$$

$$\beta = T \frac{d\alpha}{dT} \quad (2.6)$$

โดยที่  $\beta$  คือ Thomson coefficient, V/K

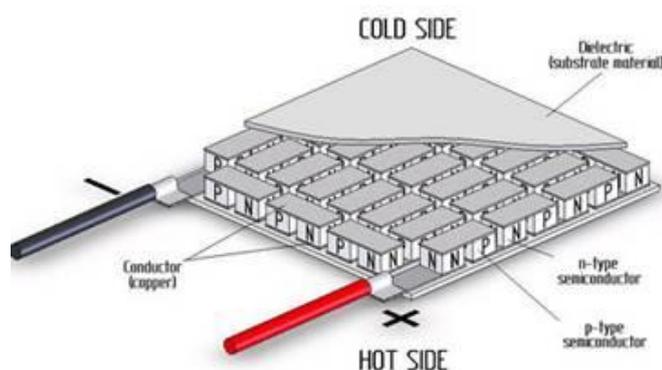
$\alpha$  คือ Seebeck coefficient, V/K

$T$  คือ อุณหภูมิ, K

### 2.1.3 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

การประกอบ “วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก” ให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้งานเป็นแหล่งพลังงานได้ เรียกว่า “เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric module)” เริ่มต้นจากการนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ชนิดเอ็น (N type) และชนิดพี (P type) ชิ้นเล็กๆ มาต่อกันเป็นคู่ๆ โดยวางสลับกัน และมีโลหะขนาดเล็กเชื่อมต่อทั้งคู่เข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละคู่ที่ต่อกันจะมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทาง

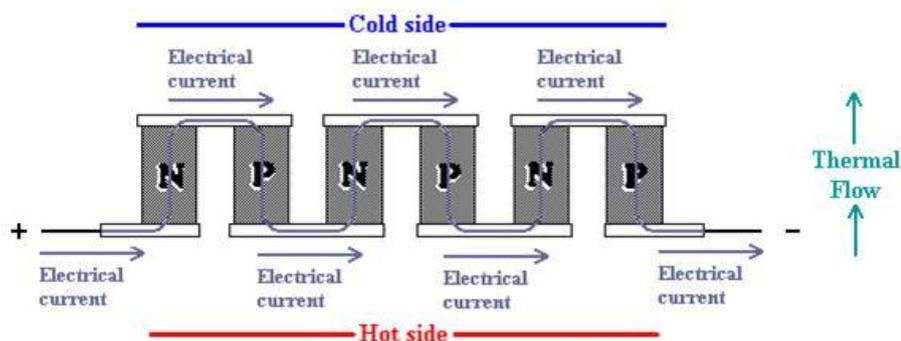
ไฟฟ้าตั้งแต่ตัวแรกถึงตัวสุดท้าย เมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด (Load) หากมีกระแสไฟฟ้าไหลก็จะครบวงจรพอดี ที่ด้านบนและด้านล่างถูกประกบด้วยแผ่นเซรามิก ปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นด้านบนและด้านล่างขึ้นอยู่กับจำนวนคู่ของ เอ็น-พี ในโมดูลนั้น ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล [5]

การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล แบ่งเป็น 2 โหมดดังนี้ โหมดแรก เรียกว่า “โหมดผลิตไฟฟ้า (Generator mode)” โดยให้ความต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ด้านบนและด้านล่างทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเนื่องจากพาหะเอ็นและพีในสารกึ่งตัวนำเหล่านั้น ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวก เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง โฮลก็จะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจึงไหลตามกันไปทิศทางเดียวกัน

ส่วนการทำงานอีกโหมดหนึ่งในทางกลับกัน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนและด้านล่าง เรียกว่า “โหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้า (Refrigerator mode)” เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอก เช่น แบตเตอรี่ จะทำให้เกิดความแตกต่างของความร้อนและความเย็นที่ผิวแต่ละด้าน เนื่องจากการกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล [6]

## 2.2 กฎการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)

เมื่อไคร้ก็ตามที่ที่จุดสองจุดมีอุณหภูมิต่างกั้จะมีพลังงานถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันเรียกว่า ความร้อน ถึงแม้ว่าวิชาเทอร์โมไดนามิกส์จะเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทของพลังงานก็ตาม แต่ก็เป็นการศึกษาไดนามิกส์จึงใช้ได้เพียงแค่นำมาจำนวนพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบ ความร้อนที่อยู่ในสภาวะสมดุลจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถที่จะบอกให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงไร ศาสตร์จากวิชาการถ่ายเทความร้อนนี้จะช่วยต่อเติมกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกด้วยการวิเคราะห์ที่สามารถนำมาใช้หาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้

รายละเอียดที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกและการถ่ายเทความร้อนนั้นพิจารณาได้จากแท่งเหล็กที่กำลังร้อนขึ้นเมื่อนำไปแช่ทิ้งไว้ในน้ำร้อน จากกฎของเทอร์โมไดนามิกจะทำให้สามารถหาอุณหภูมิของแท่งเหล็กและน้ำร้อนเมื่อแท่งเหล็กและน้ำร้อนอยู่ในสภาวะสมดุลแล้ว แต่ก็ไม่สามารถบอกให้ทราบถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิในช่วงเวลาที่กำหนดให้ นั้นและไม่สามารถบอกให้ทราบว่าจะต้องใช้เวลานานเท่าไรแท่งเหล็กและน้ำร้อนจึงจะมีอุณหภูมิตามต้องการ ส่วนการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนนั้นจะสามารถทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนไปยังแท่งเหล็กได้ นอกจากนี้ความสามารถคำนวณหาอุณหภูมิของแท่งเหล็กและน้ำร้อนในฟังก์ชันของเวลาได้อีกด้วย

## การนำความร้อน (Conduction heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิสามารถเกิดได้ทั้งในของแข็ง ของเหลว และแก๊ส แต่เนื่องจากการไหลหมุนเวียนเกิดขึ้นในของเหลวและแก๊ส แต่สำหรับในของแข็งทึบแสงจะไม่มีการเคลื่อนไหวยภายในวัสดุจะมีแต่การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำเพียงอย่างเดียว อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจะเป็นสัดส่วนกับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature gradient) คูณกับพื้นที่  $A$  ที่ความร้อนไหลผ่าน ดังสมการที่ 2.7

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.7)$$

โดยที่  $q_k$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ หรือการนำความร้อน  
 $A$  คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน  
 $T$  คือ อุณหภูมิ, K  
 $X$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน

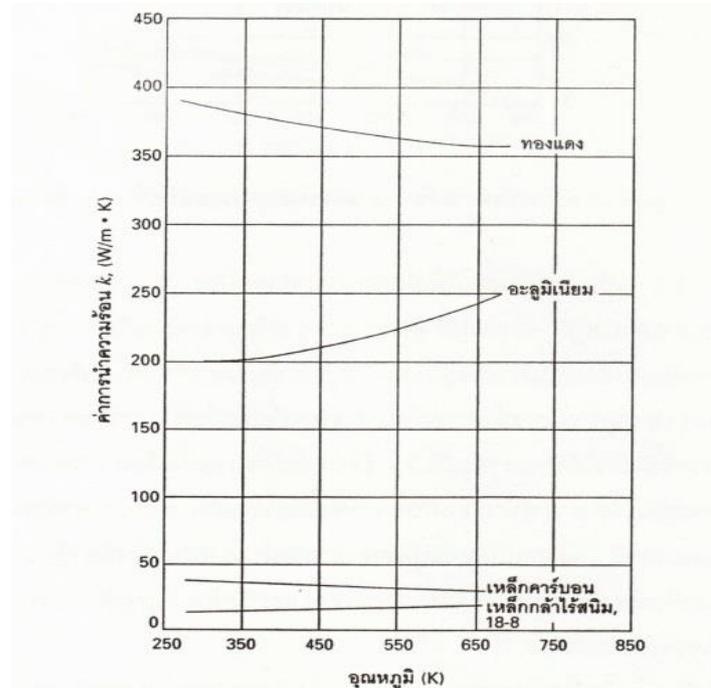
กฎการนำความร้อนของฟูรีเยร์ (Fourier's law of conduction) เครื่องหมายลบที่อยู่ทางขวามือของสมการเป็นผลเนื่องจากกฎข้อที่สองทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งกำหนดว่า ความร้อนจะต้องสำหรับนิยามความหมายของค่าการนำความร้อนไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่เนื่องจากความลาดชันของอุณหภูมิจะต้องลดลงเมื่อระยะทาง  $X$  เพิ่มมากขึ้น จึงมีเครื่องหมายเป็นลบ ดังนั้นหากต้องการให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไหลในทิศทางที่เป็นบวกหรือมีค่าเป็นบวก จะต้องเติมเครื่องหมายลบไว้ด้านขวาของสมการ สมการเป็นสมการที่ใช้สำหรับนิยามความหมายของค่าการนำความร้อน ( $k$ ) อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางนั้นขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น รูปทรง ความหนา และวัสดุที่ใช้ในการทำตัวกลาง รวมทั้งความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลาง

ความสามารถในการนำความร้อนของสาร วัดด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หรือใช้ตัวอักษรย่อว่า  $k$  มีหน่วยเป็น W/m K ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่มีความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน

ค่าการนำความร้อน  $k$  เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุ การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานจากอนุภาคที่มีพลังงานสูงไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่า สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในของเหลวของแข็ง และแก๊ส ค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของแก๊สไม่สามารถหาได้จากทฤษฎีการวิเคราะห์

ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับการนำความร้อนส่วนใหญ่ของวัสดุจึงได้มาจากการวัดและการทดสอบ โดยทั่วไปแล้วค่าการนำความร้อนของวัสดุจะแปรตามอุณหภูมิ แต่การนำไปใช้งานในด้านการศึกษาปฏิบัติในส่วนใหญ่แล้วจะใช้ค่าการนำความร้อนคงที่ที่หาจากอุณหภูมิเฉลี่ย สารที่มีความสามารถในการนำความร้อนสูง เช่น โลหะ จะมีค่า  $k$  สูง ส่วนสารที่มีความสามารถในการนำความร้อนต่ำ เช่น สารอโลหะ ก็จะมีค่า  $k$  ต่ำ ค่า  $k$  จึงเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารที่สำคัญมากในการศึกษาถึงการเคลื่อนที่ของความร้อนในสารนั้น สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการนำความร้อนของสารต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบจากค่า  $k$  ของสารเหล่านั้น โดยสารที่มีค่า  $k$  สูง จะเรียกว่า สารตัวนำ (conductor) และสารที่มีค่า  $k$  ต่ำ จะเรียกว่า ฉนวน (insulator)

กลไกการถ่ายเทความร้อนโดยการนำของก๊าซสามารถอธิบายได้จากทฤษฎีคิเนติกว่าเนื่องจากโมเลกุลของแก๊สที่มีการเคลื่อนที่อิสระ ไม่มีเส้นทางเคลื่อนที่ที่ตายตัวแน่นอนตายตัว ดังนั้นเมื่อโมเลกุลเหล่านั้นเกิดการชนกันขึ้นก็จะมีผลแลกเปลี่ยนพลังงานโมเมนตัมซึ่งกันและกัน แต่เนื่องจากโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงนั้นมีพลังงานจลน์มากกว่า ดังนั้นเมื่อโมเลกุลจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าก็จะพาเอาพลังงานจลน์ไปในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่านั้นด้วย และเมื่อโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงเกิดชนกับโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์ต่ำกว่าก็จะมีผลถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้น กลไกการนำความร้อนทางกายภาพในของเหลวมีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากโมเลกุลของของเหลวนั้นมีจำนวนหนาแน่นกว่า และสนามของแรงในของเหลวมีบทบาทต่อการถ่ายเทพลังงานมากกว่าดังนั้นลักษณะการถ่ายเทความร้อนจึงมีความซับซ้อนกว่าแก๊ส



รูปที่ 2.8 ค่าการนำความร้อน  $k$  ของโลหะบางชนิดที่แปรตามอุณหภูมิ [7]

จากรูปที่ 2.8 นั้นเป็นค่าการนำความร้อน  $k$  ของโลหะและอโลหะที่เป็นของแข็งบางชนิด พลังงานความร้อนในวัตถุที่เป็นของแข็งนั้นจะถูกเคลื่อนย้ายโดยอิเล็กตรอนอิสระและการสั่นสะเทือนภายในโครงสร้างโดยปกติแล้วการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระเป็นการเคลื่อนที่ที่มีบทบาทสำคัญ และเนื่องจากภายในตัวนำไฟฟ้าที่ดึ้นจะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระเป็นจำนวนมากที่เคลื่อนที่ไปมาอยู่ภายในโครงสร้างของมัน ดังนั้นตัวนำไฟฟ้าที่ดีจึงเป็นตัวนำความร้อนที่ดีด้วย ในทำนองเดียวกันวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีก็จะเป็นฉนวนความร้อนที่ดีด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามสมรรถนะในการป้องกันความร้อนของฉนวนจะดีหรือเลวเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการกักอากาศไว้ในรูพรุนของโครงสร้างวัสดุเหล่านั้น การถ่ายเทความร้อนในวัสดุเหล่านั้นเกิดขึ้นได้หลายวิธีด้วยกัน

### 2.3 การทบทวนวรรณกรรม

เทคโนโลยีการลดอุณหภูมิแกนกลางของร่างกาย และฟื้นฟูสมรรถภาพทางกายโดยเครื่อง Rapid Thermal Exchange (RTX)

ในปี 2008 [10] ได้รับการทดสอบใช้การแลกเปลี่ยนความเย็นจากฝ่ามือเพื่อเพิ่มสมรรถภาพทางกายในกลุ่มคนที่เป็นโรคมัลติเพิล สเกลอโรซิส (Multi Sclerosis, MS) ซึ่งบุคคลที่เป็นโรคนี้อาจมีผลต่อการรับรู้ต่ออุณหภูมิความร้อนเร็วมากขึ้น การทดลองมีผู้เข้าร่วมการทดสอบที่เป็นโรคมัลติเพิล สเกลอโรซิส หรือ MS ทั้งหมด 10 คน โดยเริ่มจากให้ผู้เข้าร่วมการทดสอบเดินบนลู่วิ่ง (treadmill) จนผู้เข้าร่วมการทดสอบมีอาการผิดปกติซึ่งเกิดจากโรค MS เกิดขึ้น วัดระยะเวลาเปรียบเทียบกับระหว่างการทดลองที่ไม่มีการใช้การแลกเปลี่ยนความเย็นจากฝ่ามือ และมีการใช้การแลกเปลี่ยนความเย็นจากฝ่ามือ สำหรับการทดลองที่มีการใช้การแลกเปลี่ยนความเย็นจากฝ่ามือ จะมีการใช้อุปกรณ์ควบคุมความเย็น ซึ่งถูกตั้งค่าไว้ที่  $18-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  ภายใน chamber มีการลดความดันจนมีค่าเท่ากับ  $-40\text{ mmHg}$  ผลการทดสอบพบว่าอุปกรณ์ควบคุมความเย็นสามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางกายให้กับผู้ป่วยโรค MS ได้



รูปที่ 2.9 ต้นแบบเครื่อง Rapid Thermal Exchange (RTX) ในปี 2009 [11]

ในปี 2009 [11] ได้มีการทดสอบต้นแบบเครื่อง Rapid Thermal Exchange (RTX) ดังรูปที่ 2.9 การทดสอบเป็นการทดสอบพื้นผิวร่างกายบริเวณต่างๆ กับการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีการทดสอบบริเวณศีรษะ ฝ่ามือ เท้า ซึ่งมีการทดสอบวัดอุณหภูมิทางเดินอาหาร และค่าอัตราการเต้นของหัวใจ สำหรับการทดสอบได้ทำการทดลองกับผู้เข้าร่วมทดลองเพศชาย อายุ 22-64 จำนวน 17 คน การทดลองให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเดินบนลู่วิ่ง 5.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จนกระทั่งค่าอุณหภูมิทางเดินอาหารเปรียบเทียบการแลกเปลี่ยนความร้อนที่บริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย จากงานวิจัยพบว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนของร่างกายกับฝ่ามือให้ผลดีกว่าที่บริเวณเท้าและศีรษะ โดยการทดสอบแลกเปลี่ยนความร้อนของร่างกายทั้ง 3 ส่วน คือ ศีรษะ เท้า และฝ่ามือ จะให้ผลการลดความร้อนร่างกายได้ดีที่สุด

ปี 2010 [12] ได้นำเครื่อง RTX มาใช้กับการออกกำลังกายด้วยน้ำนึ่งยกน้ำหนัก โดยทดสอบเครื่อง RTX รูปที่ 2.10 กับการออกกำลังกายด้วยการนอนยกน้ำหนัก งานวิจัยได้มีการทดสอบระหว่างให้ผู้เข้าร่วมทดสอบออกกำลังกายด้วยการนอนยกน้ำหนัก (Beach Press Exercise) ในสภาวะที่ร่างกายใช้ออกซิเจนน้อยที่สุด (Thermonuetral, TN) เปรียบเทียบกับการออกกำลังกายด้วยการนอนยกน้ำหนัก โดยมีการใช้เครื่อง RTX ซึ่งตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 10 °C (Palm Cooling, PC) และเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายด้วยการนอนยกน้ำหนัก โดยมีการใช้ความร้อนในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิที่ฝ่ามือ โดยเครื่องมีลักษณะที่ใช้คล้ายกับเครื่อง RTX แต่มีการตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 45 °C (Palm Heating, PH) ซึ่งสำหรับการทดสอบทั้งสองส่วนได้มีการลดความดันบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิฝ่ามืออยู่ที่ -35 ถึง -45 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) ซึ่งการทดสอบนอนยกน้ำหนักทั้งหมด 4 ยกด้วยกัน ผลการทดสอบพบว่าการทดสอบที่มีการใช้ PC สามารถยกน้ำหนักได้มากที่สุดเท่ากับ  $2480 \pm 636$  กิโลกรัม การทดสอบที่มีการใช้ PH สามารถยกน้ำหนักได้  $2156 \pm 668$  กิโลกรัม ส่วนการทดสอบในสภาวะร่างกายใช้ออกซิเจนน้อยที่สุด TN ยกน้ำหนักได้  $1972 \pm 632$  กิโลกรัม จากงานวิจัยพบว่าการใช้ Palm Cooling สามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางกายของนักกีฬาประเภทม้าน้ำนึ่งยกน้ำหนักได้ดีที่สุด



รูปที่ 2.10 เครื่อง Rapid Thermal Exchange (RTX) จากบริษัท AVAcore Technology [1]

ปี 2011 Hunter Kylie E, Murphy Aron J, Coutts Aaron J, Watsford Mark L และ Graham Kenneth [13] ได้มีการทดสอบผลทางร่างกาย เมื่อมีการใช้เครื่อง RTX ของบริษัท AVAcore Technologies เพื่อฟื้นฟูและเพิ่มสมรรถภาพทางกายของผู้เข้าร่วมทดสอบในสภาพแวดล้อมที่ค่อนข้างร้อน งานวิจัยกล่าวว่า ความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นอาจเป็นตัวจำกัดขีดความสามารถทางกายของนักกีฬา ดังนั้นเมื่อเรามีการลดความร้อนร่างกายที่เกิดขึ้นได้ ร่างกายจะมีขีดความสามารถทางกายที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ซึ่งผลการทดลองได้ว่า เครื่อง RTX ของบริษัท AVAcore Technologies สามารถช่วยลดอุณหภูมิร่างกาย และสามารถลดค่าอัตราการเต้นหัวใจได้

เทคโนโลยีและงานวิจัยที่น่าเสนอข้างต้น เป็นงานวิจัยที่ถูกคิดค้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อค้นหาเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่จะสามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางกายสำหรับนักกีฬาได้ดีที่สุด จากงานวิจัยข้างต้นพบว่า เครื่อง Rapid Thermal Exchange (RTX) จากบริษัท AVAcore Technologies สามารถลดค่าอุณหภูมิภายในร่างกายที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ลดอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการออกกำลังกาย หรือการแข่งขันกีฬา ซึ่งส่งผลให้นักกีฬามีสมรรถภาพทางกายเพิ่มมากยิ่งขึ้นด้วย



Michael Macor / The Chronicle

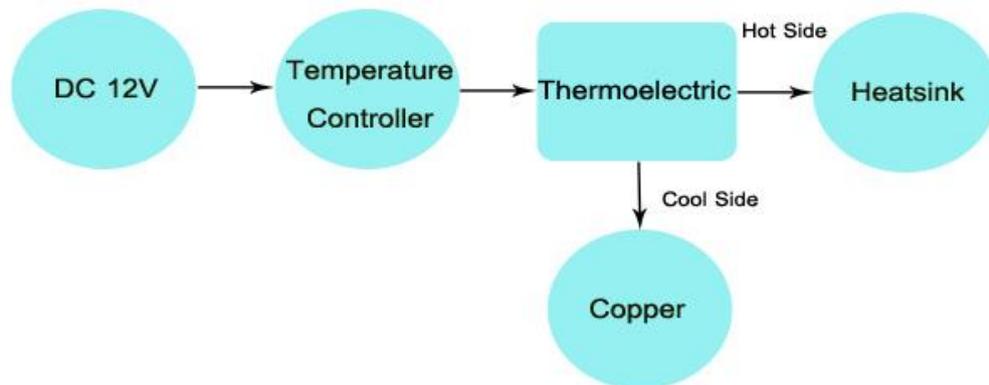
รูปที่ 2.11 การใช้เครื่อง Rapid Thermal Exchange (RTX) กับนักกีฬาอเมริกันฟุตบอล ในระหว่างการแข่งขันจากบริษัท AVAcore Technology [1]

### บทที่ 3

## หลักการออกแบบ

การออกแบบและสร้างเครื่องลดอุณหภูมิของร่างกายตามแนวคิดที่กล่าวไว้ในบทนำ ตามวัตถุประสงค์อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างจะต้องสามารถพกพาได้ การออกแบบโครงสร้าง การเลือกอุปกรณ์และการออกแบบระบบควบคุม จำเป็นต้องสะดวกต่อการนำไปใช้งาน

หลักการทำงานในภาพรวมของเครื่องลดอุณหภูมิของร่างกายจะใช้เทอร์โมอิเล็กทริกดึงความร้อนออกจากทองแดง โดยติดตั้งด้านเย็นของตัวเทอร์โมอิเล็กทริกกับมือจับทองแดง เพื่อลดอุณหภูมิของมือจับทองแดง ส่วนด้านร้อนของตัวเทอร์โมอิเล็กทริกจะติดอยู่กับ Heatsink โดยใช้พัดลมเป็นตัวช่วยระบายความร้อน แผนผังภาพรวมของระบบการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิบริเวณฝ่ามือสามารถแสดงใน รูปที่ 3.1



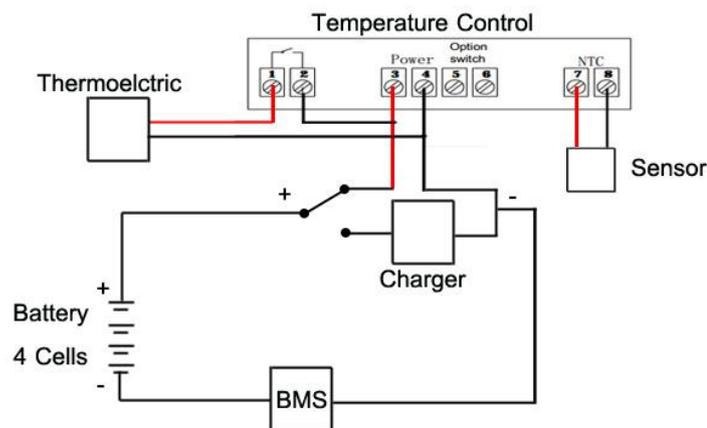
รูปที่ 3.1 ระบบการทำงานของเครื่องลดอุณหภูมิบริเวณฝ่ามือ

จากในรูปที่ 3.1 จะพบว่าอุปกรณ์ลดอุณหภูมิแกนกลางร่างกายผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนมีส่วนประกอบหลัก ๆ คือ

1. โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ
2. เทอร์โมอิเล็กทริก
3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
4. Heatsink
5. แบตเตอรี่

### 3.1 วงจรการทำงานจากระบบ

การทำงานของระบบจะใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า คือ แบตเตอรี่ โดยมีสวิตช์ควบคุมการปิดเปิด และชาร์จ เมื่อเปิดสวิตช์ กระแสจะไหลเข้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อควบคุมการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยอาศัยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 17-19 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วิธีการต่อวงจรในการทดลอง

## 3.2 โครงสร้างอุปกรณ์ลดอุณหภูมิแกนกลางร่างกายผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน

### 3.2.1 การเลือกวัสดุแลกเปลี่ยนความร้อน

ตามทฤษฎีวัสดุที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนจำเป็นต้องมีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ดี จะอาศัยค่าการนำความร้อน ซึ่งค่าการนำความร้อน  $k$  เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุ การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานจากอนุภาคที่มีพลังงานสูงไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่าโดยทั่วไปแล้วค่าการนำความร้อนของวัสดุจะแปรตามอุณหภูมิ สารที่มีความสามารถในการนำความร้อนสูง คือ โลหะ จะมีค่า  $k$  สูง ค่า  $k$  จึงเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารที่สำคัญมากในการศึกษาถึงการเคลื่อนที่ของความร้อนในสารนั้น สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการนำความร้อนของสารต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบจากค่า  $k$  ของสารเหล่านั้น โดยสารที่มีค่า  $k$  สูง จะเรียกว่า สารตัวนำ (conductor) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าการนำความร้อน k ของโลหะ อโลหะ ของแข็ง ของเหลว และแก๊สบางชนิด [7]

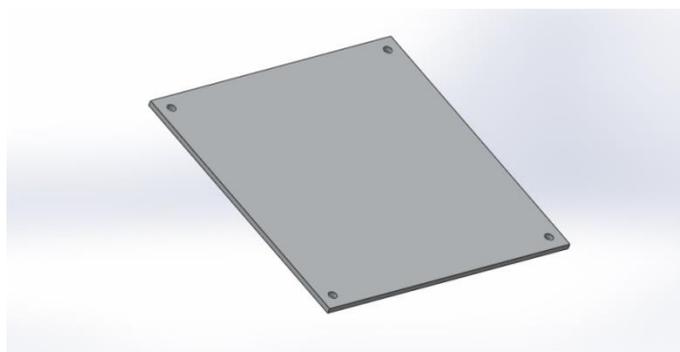
ชนิดของวัสดุ	ค่าการนำความร้อนที่ 300 K (W/m.K)
ทองแดง	386
อะลูมิเนียม	204
เหล็กคาร์บอน	54
แก้ว	0.75
พลาสติก	0.2-0.3
น้ำ	0.6
น้ำมันเครื่อง	0.15
ไฮโดรเจน	0.18
อากาศ	0.026

จากข้อมูลในตารางเห็นได้ว่า ทองแดงเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนที่ดีที่สุด และอะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนที่รองลงมา ที่อุณหภูมิ 300K (27 °C) จึงเลือกทองแดงและอะลูมิเนียมเป็นวัสดุมือจับเพื่อนำมาทำการทดลอง ถึงแม้ว่าทองแดงจะมีค่าการนำความร้อนมากกว่าอะลูมิเนียม แต่ราคาและน้ำหนักของทองแดงก็สูงกว่าเช่นกัน ดังนั้นจึงเลือกวัสดุทั้งสองอย่างเพื่อมาทดสอบกับโปรแกรม Solidworks ก่อน จากนั้นดูผลการทดลองว่าวัสดุที่เหมาะสมจะนำไปทำเป็นต้นแบบโครงสร้าง

### 3.2.2 โครงสร้างที่ใช้ในการทดลอง

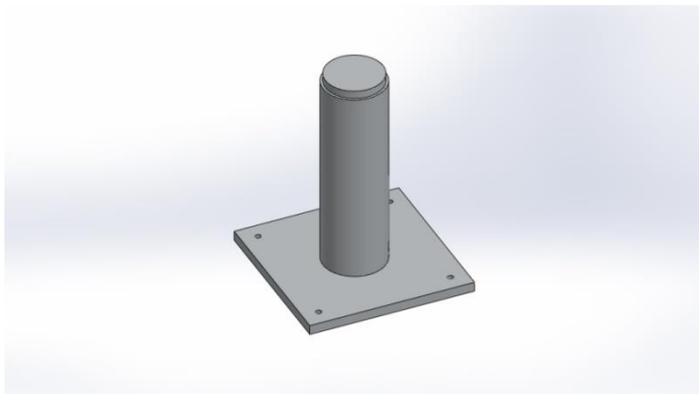
โครงสร้างที่ออกแบบสำหรับการทดลองกับเครื่องลดอุณหภูมิบริเวณฝ่ามือมีทั้งหมด 4 แบบ

- แบบที่ D1 เป็นอะลูมิเนียมแผ่นมีขนาด กว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร และหนา 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.3



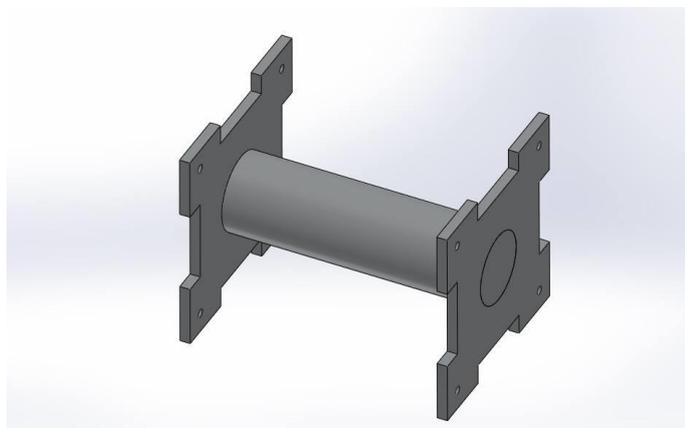
รูปที่ 3.3 แบบที่ D1

- แบบที่ D2 เป็นมือจับอะลูมิเนียมมีฐานหนึ่งด้านขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 1.5 นิ้ว ยาว 4.7 นิ้ว ดังรูปที่ 3.4



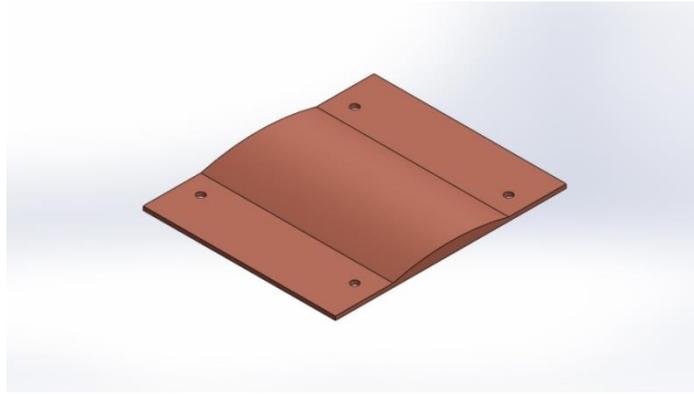
รูปที่ 3.4 แบบที่ D2

- แบบที่ D3 เป็นมือจับอะลูมิเนียมมีฐานสองด้านขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 1.5 นิ้ว ยาว 4.7 นิ้ว ดังรูปที่ 3.5



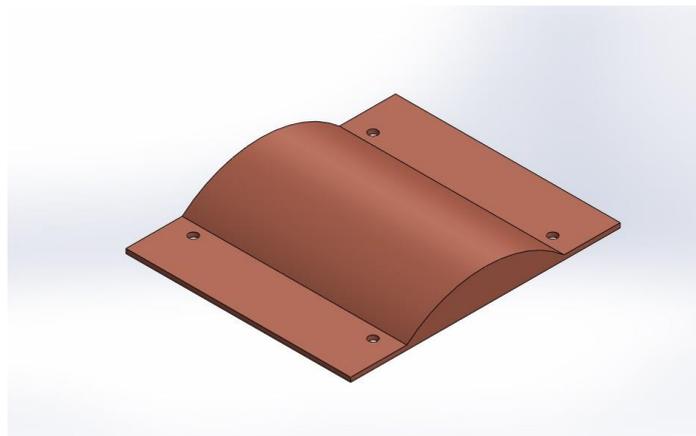
รูปที่ 3.5 แบบที่ D3

- แบบที่ D4 เป็นมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลางเพื่อรับกับฝ่ามือขนาด กว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตรหนา 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แบบที่ D4

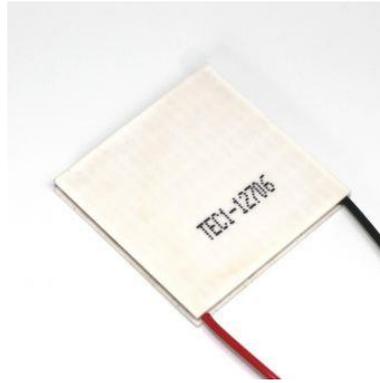
- แบบที่ D5 เป็นมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลางเพื่อรับกับฝ่ามือขนาด กว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตรหนา 15 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แบบที่ D5

### 3.3 เทอร์โมอิเล็กทริก

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์ทำความเย็นแบบเซรามิกคือเทอร์โมอิเล็กทริกหรือเพลเทียร์ รุ่น TEC1-12706 ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 3.2 [9]

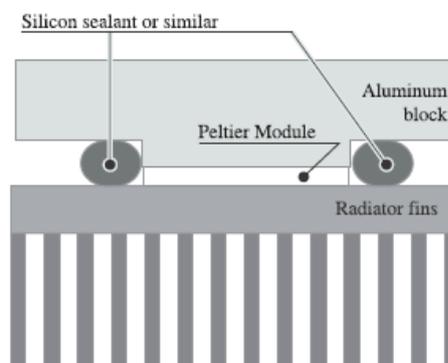


รูปที่ 3.8 Thermoelectric รุ่น TEC1-12706

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ของ Thermoelectric รุ่น TEC1-12706

Thermoelectric (TEC1-)	12706
Qmax (Watts)	57
Delta Tmaz (°C)	75
I <sub>max</sub> (Amps)	6.4
V <sub>max</sub> (Volts)	16.4
Module Resistance (Ohms)	2.3

วิธีการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องใช้ซิลิโคนสำหรับซีฟียูทาบาง ๆ ที่เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อช่วยระบายความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก นำเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนยึดติดกับ Heatsink และเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นยึดติดกับมือจับที่ได้ทำการออกแบบ และใช้ซิลิโคนกันน้ำทารอบ ๆ เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อไม่ให้ความร้อนกับความเย็นสัมผัสกัน มิฉะนั้นจะทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกพังได้ แสดงรูปแบบการทำดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การยึดเทอร์โมอิเล็กทริกกับมือจับและ heatsink [14]

### 3.4 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

เครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นแบบ On - Off Controller รุ่น WH7016C [17] ดังรูปที่ 3.10 จะทำการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ในช่วง 17 - 19 องศาเซลเซียส และใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ชนิด NTC



รูปที่ 3.10 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ รุ่น WH7016C

### 3.5 Heatsink

Heatsink ของ Cooler Master รุ่น Geminll M4 ดังรูปที่ 3.11 มีขนาด 137 x 22 x 59 มิลลิเมตร ลักษณะที่โดดเด่นคือ ฐานเป็นทองแดง และครีบบระบายความร้อนเป็นอลูมิเนียม ซึ่งทองแดงมีคุณสมบัติการดึงหรือนำความร้อนได้ดี ส่วนอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติคายความร้อนเมื่อมีลมผ่านครีบ จำนวนของครีบยิ่งมาก ยิ่งคายความร้อนได้ดี



รูปที่ 3.11 Heatsink ของ Cooler Master รุ่น Geminll M4 [16]

### 3.6 แบตเตอรี่

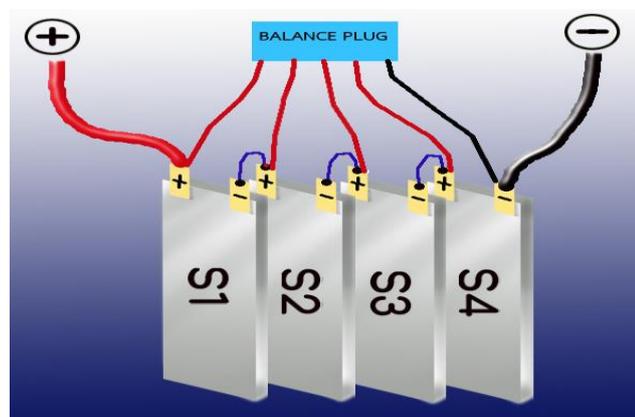
#### 3.6.1 แบตเตอรี่ Lithium Iron Phosphate และการต่อแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>) ข้อดีคือ มีความเสถียรมาก จึงปลอดภัย สามารถจ่ายกระแสได้คงที่และจ่ายกระแสได้สูง ไม้ร้อน ไม้บวมเหมือนถ่าน Li-Po มีแรงดันต่อเซลล์ 3.2 V ชาร์จด้วยกระแส มีความทนทานในการชาร์จแรงดันหรือใช้งานต่ำกว่าหรือเกินกว่าสเปคมากกว่าแบตเตอรี่ Li-Po และแบตเตอรี่มีตัวถังแข็งแรง ไม่เสียหายง่าย และที่สำคัญที่สุดคือไม่ระเบิด

ความดันที่ต้องการใช้กับระบบคือ 12 V ดังนั้นจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ทั้งหมด 4 เซลล์ เซลล์ละ 3.2 V มีกระแส 10 AH ดังรูปที่ 3.12 และวิธีการต่อแบตเตอรี่ใช้แบบอนุกรมกัน จะได้ความดัน 12.8 V กระแส 10 AH ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 แบตเตอรี่ Lithium Iron Phosphate



รูปที่ 3.13 วิธีการแบตเตอรี่ใช้แบบอนุกรมกันกับแผงวงจร BMS [15]

### 3.6.2 Li-ion Battery Charger

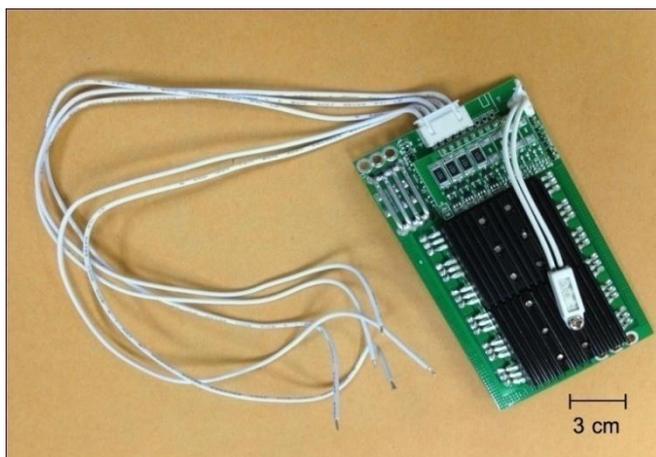
Li-ion Battery Charger สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ Input AC 160 V – 240 V 40 W 50/60 Hz Output 14.6 V 2 A ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 Li-ion Battery Charger

### 3.6.3 แผงวงจร BMS

แผงวงจร BMS 12.8V 4S LiFePO4 Battery Packs รุ่น HCX-D149 ดังรูปที่ 3.15 ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ให้จ่ายกระแสได้เท่า ๆ กันและควบคุมการจ่ายกระแสเกิน เพื่อรักษาเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ให้มีอายุการใช้งานนานยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.15 แผงวงจร BMS 12.8V 4S LiFePO4 Battery Packs

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง โดยจะเริ่มจากการจำลอง (Simulation) เพื่อหารูปแบบและวัสดุของมือจับที่เหมาะสม หลังจากนั้นจะทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบกับโครงสร้างที่เลือกมาเป็นอุปกรณ์ต้นแบบ ทำการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบทั้งสภาวะปกติและสภาวะที่มีมือมารบกวน, ทดสอบการทำงานในสภาพแวดล้อมต่างๆ และสุดท้ายจะนำอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุดมาประกอบเข้ากับอุปกรณ์ทั้งหมดมาใช้งานร่วมกัน และสามารถนำไปพัฒนาต่อในอนาคต

#### 4.1 การทดลองมือจับ

การทดลองออกแบบมือจับเพื่อหารูปทรงที่เหมาะสมกับชิ้นงานจริงมากที่สุด คือ ควรมีการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุด ระยะทางระหว่างต้นมือจับกับปลายมือจับ ควรมีค่าน้อยที่สุดตามกฎของการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) และจำลองการถ่ายเทความร้อนด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อใช้ในการออกแบบและจำลองมือจับ โดยใช้โปรแกรม Solidworks ทดลองหาการกระจายความร้อนในวัสดุที่เลือกใช้ คือทองแดงและอะลูมิเนียม ซึ่งมีค่าการนำความร้อนดีที่สุที่สุดและรองลงมาตามทฤษฎีค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ในการทดลองควรพิจารณาค่าการนำความร้อนจากการคำนวณตามสมการที่ 4.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิปล่อยเข้ามือจับกับอุณหภูมิมือจับ

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (4.1)$$

โดยที่  $q_k$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ หรือการนำความร้อน

$A$  คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน

$T$  คือ อุณหภูมิ, K

$X$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน

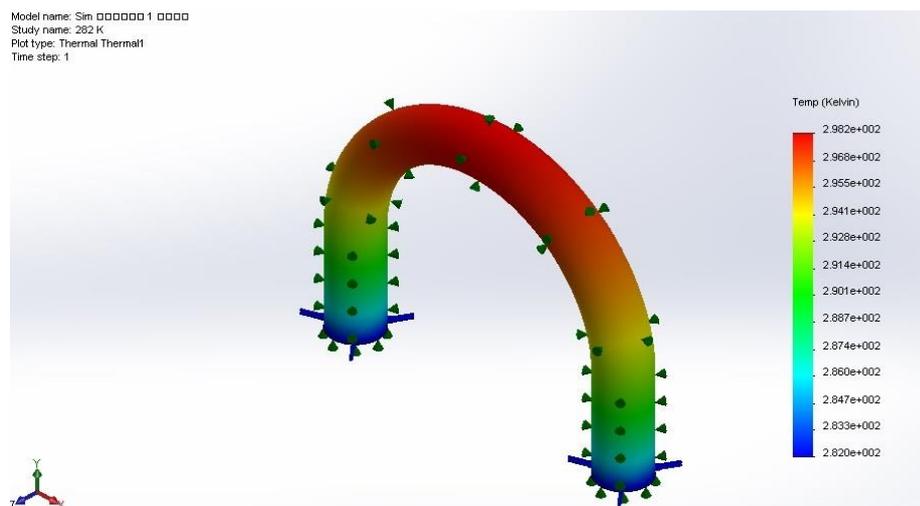
#### 4.1.1 การทดลองมือจับทองแดง 2 ข้างแบบที่ 1

เป็นการศึกษาเฉพาะส่วนมือจับที่อุณหภูมิความเย็นไหลผ่านมือจับ 2 ข้างแบบที่ 1 วิธีการทดลอง คือ การสร้างมือจับในโปรแกรม Solidworks และบันทึกค่าอุณหภูมิมือจับ แล้วมาวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิที่ปล่อยเข้าให้เหมาะสมมากที่สุดโดยอาศัยหลักการของ FEM (Finite Element)

การทดลองเป็นการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิมือจับกับอุณหภูมิปล่อยเข้าที่ต่างกัน และเส้นผ่าศูนย์กลางทองแดงต่างกันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 1 นิ้ว, 1.5 นิ้ว และ 2.125 นิ้ว ดังรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ โดยมีความยาว 5.9 นิ้ว ในการทดลองเพิ่มอุณหภูมิที่ปล่อยเข้ามือจับครั้งละ 1 องศา และบันทึกผลอุณหภูมิมือจับลงในตารางบันทึกผล ดังตารางที่ 4.1 – 4.3

ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับที่หน้าตัด 1 นิ้ว

หน้าตัด (inch)	อุณหภูมิปล่อยเข้า (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)
1 inch	7	15.9
	8	16.5
	9	17.1
	10	17.7
	11	18.3
	12	18.9
	13	19.6

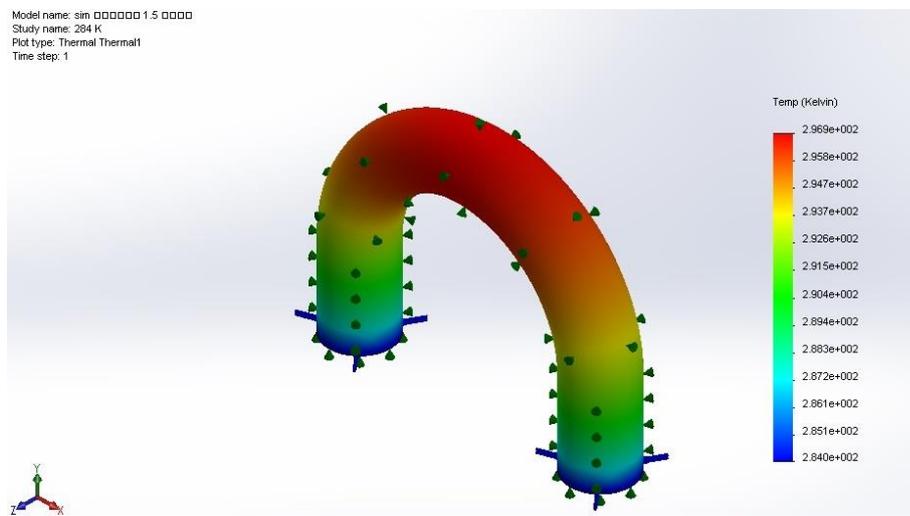


รูปที่ 4.1 ผลการ Simulate มือจับ 2 ข้างแบบที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 9 °C

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับที่หน้าตัด 1.5 นิ้ว

หน้าตัด (inch)	อุณหภูมิปล่อยเข้า (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)
1.5 inch	7	14.8
	8	15.5
	9	16.1
	10	16.8
	11	17.4
	12	18.1
	13	18.8

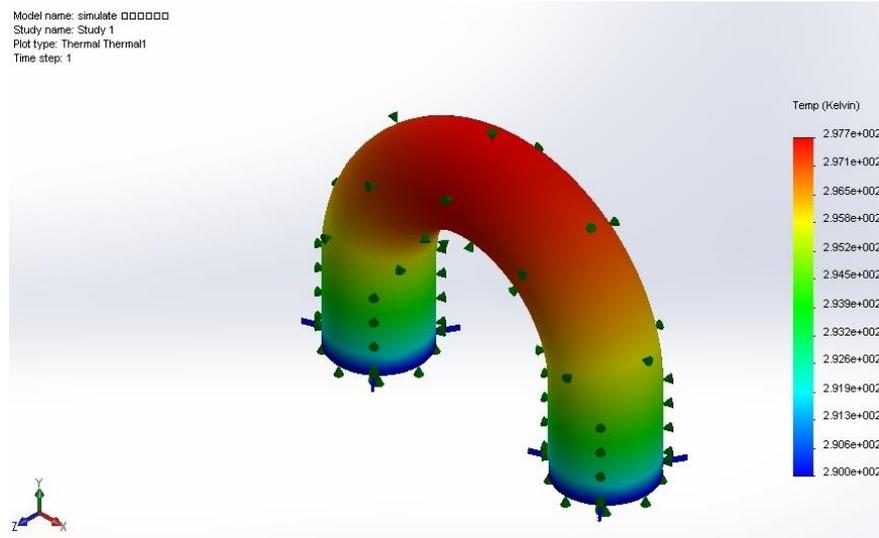
Model name: sim ๐๐๐๐๐๐ 1.5 ๐๐๐๐  
 Study name: 284 K  
 Plot type: Thermal Thermal1  
 Time step: 1



รูปที่ 4.2 ผลการ Simulate มือจับ 2 ข้างแบบที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 10 °C

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับที่หน้าตัด 2.125 นิ้ว

หน้าตัด(inch)	อุณหภูมิปล่อยเข้า (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)
2.125 inch	10	16
	11	16.7
	12	17.4
	13	18.1
	14	18.8
	15	19.5
	16	20.2



รูปที่ 4.3 ผลการ Simulate มือจับ 2 ข้างแบบที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.125 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 11 °C

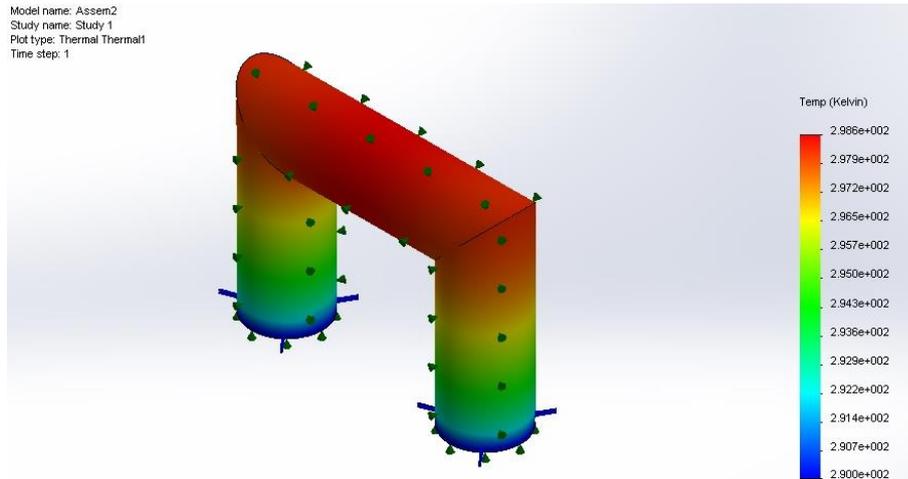
จากการทดลองเพื่อค้นหากรณีที่ดีที่สุดตามข้อมูลข้างต้น ค่าตารางที่ 4.3 เป็นแบบที่ดีที่สุดซึ่งอุณหภูมิที่ควรปล่อยเข้าคือ 11 °C แต่ผลนี้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจเนื่องจากค่าอุณหภูมิยังต่ำ จะใช้พลังงานในการปล่อยเข้ามาก จึงต้องมีการออกแบบมือจับในรูปแบบอื่นต่อไป

#### 4.1.2 การทดลองมือจับทองแดง 2 ข้างแบบที่ 2

ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างมือจับแบบที่ 1 กับมือจับแบบที่ 2 เส้นผ่าศูนย์กลางทองแดง 2.125 นิ้ว และมีความยาว 5.9 นิ้ว ดังรูปที่ 4.4 ในการทดลองปล่อยอุณหภูมิเข้ามือจับครั้งละ 1 องศา เพื่อสังเกตหาแบบการนำความร้อนที่ดีกว่าและบันทึกผลอุณหภูมิมือจับลงในตารางบันทึกผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิมือจับแบบที่ 1 กับมือจับแบบที่ 2

หน้าตัด (inch)		มือจับแบบที่ 1	มือจับแบบที่ 2
2.125 inch	อุณหภูมิปล่อยเข้า (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)
	10	16	16.6
	11	16.7	17.3
	12	17.4	18
	13	18.1	18.6
	14	18.8	19.3
	15	19.5	20
	16	20.2	20.6



รูปที่ 4.4 ผลการ Simulate มือจับ 2 ข้างแบบที่ 2 เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.125 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 11 °C

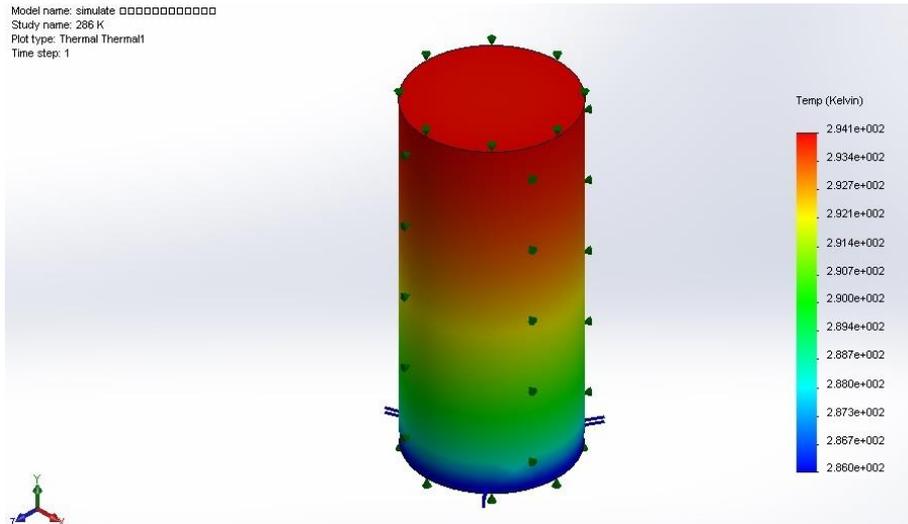
จากการทดลองข้อมูลตารางข้างต้นนำมาเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อปล่อยอุณหภูมิเข้ามือจับแล้ว มือจับแบบที่ 1 จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าแบบที่ 2 เล็กน้อย ผลที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ จึงทำการออกแบบใหม่ โดยอาศัยหลักการของกฎการนำความร้อนที่ว่า ยิ่งระยะทางการนำความร้อนน้อยเท่าไร การนำความร้อนได้ดีเท่านั้น

#### 4.1.3 การทดลองมือจับทองแดง 1 ข้าง แบบที่ 1

ผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิมือจับกับอุณหภูมิปล่อยเข้าที่ต่างกัน และเส้นผ่านศูนย์กลางทองแดงเท่ากับ 2.125 นิ้ว และมีความยาว 5.9 นิ้ว ดังรูปที่ 4.5 โดยออกแบบให้มือจับ 1 ข้างปล่อยความเย็น 1 ข้างตามกฎการนำความร้อน ในการทดลองเพิ่มอุณหภูมิที่ปล่อยเข้ามือจับครั้งละ 1 องศา และบันทึกผลอุณหภูมิมือจับลงในตารางบันทึกผล ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับ 1 ข้าง หน้าตัด 2.125 นิ้ว

หน้าตัด (inch)	อุณหภูมิปล่อยเข้า (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)
2.125 inch	10	14.8
	11	15.5
	12	16.3
	13	17
	14	17.8
	15	18.6
	16	19.3
	17	20.1



รูปที่ 4.5 ผลการ Simulate มือจับ 1 ซ้าง เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.125 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 13 °C

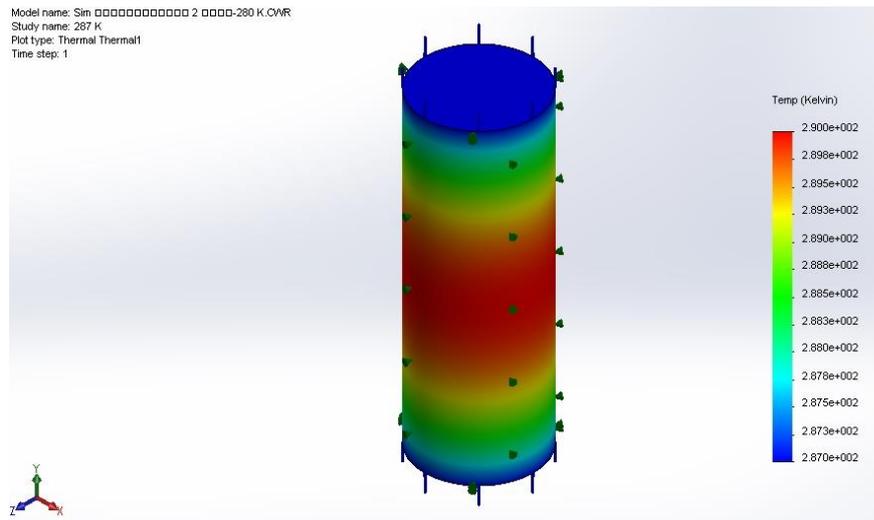
จากการทดลองออกแบบมือจับแบบโดยใช้มือ 1 ซ้างในการจับ เพื่อให้การนำความร้อนดีขึ้น ตามกฎการนำความร้อน ซึ่งได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.5 คืออุณหภูมิที่ปล่อยเข้ามือจับ 13 °C ซึ่งจะใช้เวลา น้อยกว่ามือจับแบบ 2 ซ้าง และทำการออกแบบใหม่เพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุด

#### 4.1.4 การทดลองมือจับทองแดง 1 ซ้าง แบบที่ 2

ผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิมือจับกับอุณหภูมิปล่อยเข้าที่ต่างกัน และเส้นผ่านศูนย์กลางทองแดงเท่ากับ 2.125 นิ้ว และมีความยาว 5.9 นิ้ว ดังรูปที่ 4.6 โดยออกแบบให้มือจับ 1 ซ้างปล่อยความเย็น 2 ด้านตามกฎการนำความร้อนในการทดลองเพิ่มอุณหภูมิที่ปล่อยเข้ามือจับครั้งละ 1 องศา และบันทึกผลอุณหภูมิมือจับลงในตารางบันทึกผล ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับ 2 ด้าน หน้าตัด 2.125 นิ้ว

หน้าตัด (inch)	อุณหภูมิปล่อยเข้า (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)
2.125 inch	10	13.8
	11	14.6
	12	15.4
	13	16.2
	14	17
	15	17.8
	16	18.6
	17	19.4



รูปที่ 4.6 ผลการ Simulate มือจับ 1 ข้าง เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.125 นิ้ว และยาว 5.9 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 14°C

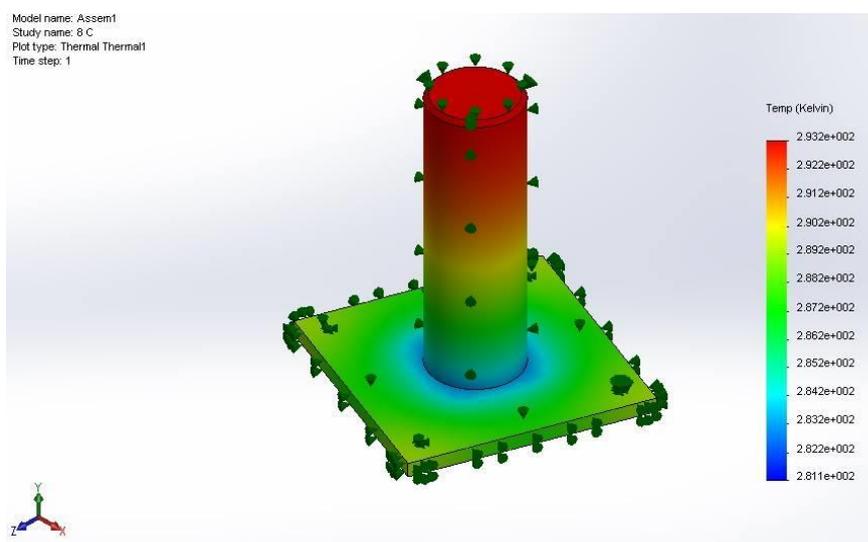
จากการทดลองปล่อยความเย็นเข้ามือจับทั้ง 2 ด้าน ได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.6 คือปล่อยอุณหภูมิเข้ามือจับที่ 14 °C ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิปล่อยเข้าของมือจับ 1 ข้างแบบที่ 1 กับอุณหภูมิปล่อยเข้าของมือจับ 1 ข้างแบบที่ 2 สังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ปล่อยเข้าไม่ต่างกันมาก แต่แบบที่ 2 อุณหภูมิสูงสุดของมือจับเท่ากับ 17 °C พอดี และอยู่ที่ตรงกลางพอดีกับมือจับ ซึ่งเป็นจุดที่เหมาะสมกับการใช้งาน

#### 4.1.5 การทดลองมือจับอะลูมิเนียม 1 ข้าง แบบที่ 3

ผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิมือจับกับอุณหภูมิปล่อยเข้าที่ต่างกัน และเส้นผ่าศูนย์กลางอะลูมิเนียมเท่ากับ 1.5 นิ้ว และมีความยาว 4.7 นิ้ว ดังรูปที่ 4.7 โดยออกแบบให้มือจับ 1 ข้างปล่อยความเย็น 2 ด้านตามกฎการนำความร้อนในการทดลองเพิ่มอุณหภูมิที่ปล่อยเข้ามือจับครั้งละ 1 องศา และบันทึกผลอุณหภูมิมือจับลงในตารางบันทึกผล ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับ 1 ซ้ำงที่หน้าตัด 1.5 นิ้ว

หน้าตัด (inch)	อุณหภูมิปล่อยเข้า (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)
1.5 inch	6	16
	7	16.6
	8	17.2
	9	17.8
	10	18.4
	11	19
	12	19.6



รูปที่ 4.7 ผลการ Simulate มือจับ 1 ซ้ำง เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 8 °C

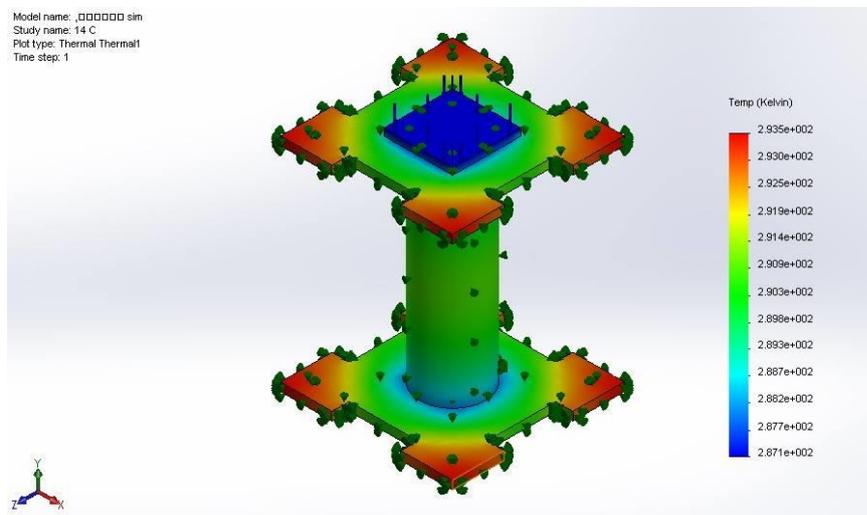
จากการทดลองออกแบบมือจับแบบใช้มือ 1 ซ้ำงเป็นมือจับ เพื่อให้การนำความร้อนดีขึ้นตามกฎการนำความร้อนได้ผลตามตารางที่ 4.7 คืออุณหภูมิที่ปล่อยเข้ามือจับปล่อยเข้าที่ 8 °C ซึ่งใช้เวลามากกว่ามือจับทองแดง 1 ซ้ำงแบบที่ 1 จึงทำการทดลองเพื่อให้ดีขึ้นอีก

#### 4.1.6 การทดลองมือจับอะลูมิเนียม 1 ซ้ำง แบบที่ 4

ผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิมือจับกับอุณหภูมิปล่อยเข้าที่ต่างกัน และเส้นผ่าศูนย์กลางอะลูมิเนียมเท่ากับ 1.5 นิ้ว และมีความยาว 4.7 นิ้ว ดังรูปที่ 4.8 โดยออกแบบให้มือจับ 1 ซ้ำงปล่อยความเย็น 2 ด้านตามกฎการนำความร้อนในการทดลองเพิ่มอุณหภูมิที่ปล่อยเข้ามือจับครั้งละ 1 องศา และบันทึกผลอุณหภูมิมือจับลงในตารางบันทึกผล ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับ 2 ข้างที่หน้าตัด 1.5 นิ้ว

หน้าตัด (inch)	อุณหภูมิปล่อยเข้า (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)
1.5 inch	10	14.1
	11	14.9
	12	15.7
	13	16.5
	14	17.3
	15	18.1
	16	18.9
	17	19.7



รูปที่ 4.8 ผลการ Simulate มือจับ 1ข้าง เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 14 °C

จากการทดลองปล่อยความเย็นเข้ามือจับอะลูมิเนียมทั้ง 2 ด้านได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.8 คือ ปล่อยอุณหภูมิเข้ามือจับที่ 14 °C ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิปล่อยเข้าของมือจับ 1 ข้างแบบที่ 2 กับอุณหภูมิปล่อยเข้าของมือจับ 1 ข้างแบบที่ 4 สังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ปล่อยเข้าไม่ต่างกันมาก แต่วัสดุต่างกัน ซึ่งทองแดงมีราคาที่สูงกว่า จึงเลือกอะลูมิเนียมเพื่อนำมาเป็นมือจับ

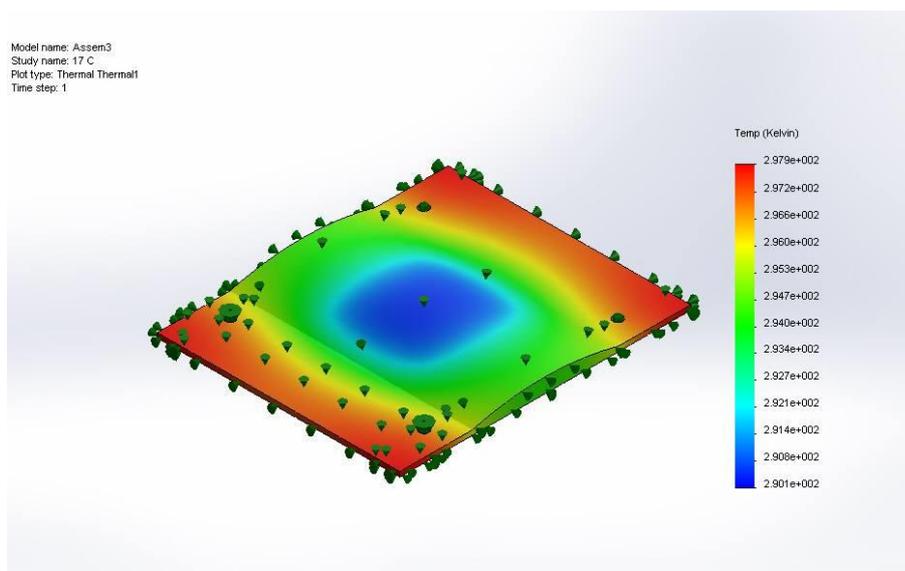
#### 4.1.7 การทดลองมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลางเพื่อรับกับฝ่ามือ แบบที่ 5

การทดลองเป็นการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิมือจับกับอุณหภูมิปล่อยเข้าที่ต่างกัน โดยออกแบบให้มือจับเป็นแผ่นบางและนูนตรงกลางเพื่อรับกับฝ่ามือขนาด กว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร และหนา 6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.9 ทำการปล่อยความเย็นจากด้านล่าง ทำการทดลองเพิ่ม

อุณหภูมิที่ปล่อยเข้ามือจับครั้งละ 1 องศา และบันทึกผลอุณหภูมิมือจับลงในตารางบันทึกผล ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลาง

หน้าตัด (cm.)	อุณหภูมิปล่อยเข้า (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)
10x12 cm	12	12.1
	13	13.1
	14	14.1
	15	15.1
	16	16.1
	17	17.1
	18	18.1



รูปที่ 4.9 ผลการ Simulate มือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลาง ที่อุณหภูมิ 17 °C

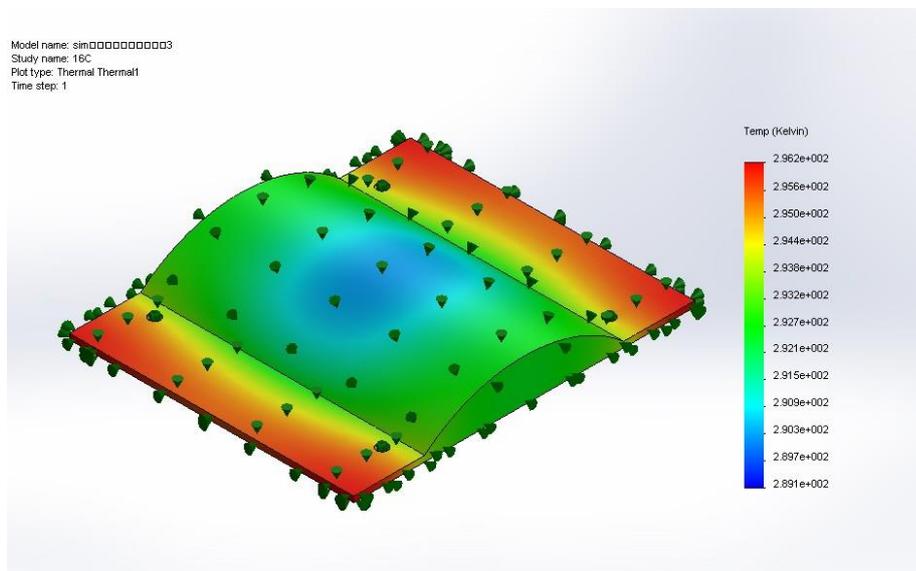
จากการทดลองปล่อยความเย็นเข้าจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลางได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.9 คือ ปล่อยอุณหภูมิเข้ามือจับที่ 17 °C และผลออกมาคือ 17.1 เห็นได้ชัดว่าได้ผลดีที่สุด วัสดุที่ใช้คือ ทองแดง และมีขนาดบางกว่ามือจับแบบที่ 3 และแบบที่ 4 ซึ่งราคาทองแดงสูงกว่าอะลูมิเนียม แต่ความสามารถต่างกันอย่างเห็นได้ชัด จึงเลือกทองแดงเพื่อนำมาเป็นมือจับที่เหมาะสมที่สุด

#### 4.1.8 การทดลองมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลางเพื่อรับกับฝ่ามือ แบบที่ 6

การทดลองเป็นการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิมือจับกับอุณหภูมิปล่อยเข้าที่ต่างกัน โดยออกแบบให้มือจับเป็นแผ่นบางและนูนตรงกลางเพิ่มขึ้นมาจากแบบที่ 5 ขนาด กว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตรหนา 15 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.10 เพื่อรับกับฝ่ามือที่ตื้นขึ้น และปล่อยความเย็นด้านล่าง ทำการทดลองเพิ่มอุณหภูมิที่ปล่อยเข้ามือจับครั้งละ 1 องศา และบันทึกผลอุณหภูมิมือจับลงในตารางบันทึกผล ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบอุณหภูมิปล่อยเข้ากับอุณหภูมิมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลาง

หน้าตัด (cm.)	อุณหภูมิปล่อยเข้า (°C)	อุณหภูมิมือจับ (°C)
10x12 cm	14	15.5
	15	16.4
	16	17.3
	17	18.2
	18	19.2
	19	20.1
	20	21



รูปที่ 4.10 ผลการ Simulate มือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลาง ที่อุณหภูมิ 16 °C

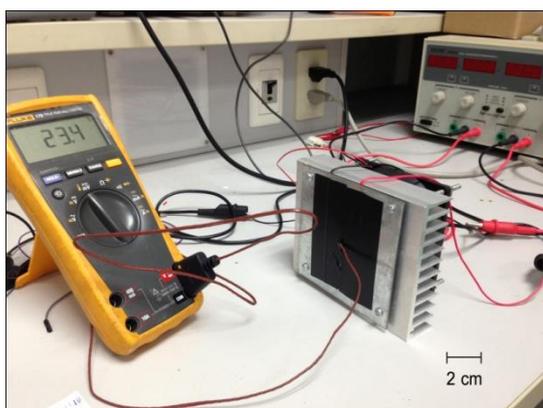
จากการทดลองปล่อยความเย็นเข้ามือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลางที่เพิ่มขึ้นจากแบบที่ 5 ได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.10 คือ เมื่อปล่อยอุณหภูมิเข้ามือจับที่ 16 °C และผลออกมาคือ 17.3 เมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ 5 แล้ว เห็นได้ว่าแบบที่ 5 ทำงานได้ดีกว่าแบบที่ 6

## 4.2 การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก

การทดลองโดยการทดลองนี้จะใช้ 2 แหล่งจ่าย คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตช์ซึ่งกับแบตเตอรี่ Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>) เริ่มทำการทดลองจ่ายแรงดันให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก, ทดลองใช้เทอร์โมอิเล็กทริกกับโครงสร้างต่างๆ ที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น เพื่อหามือจับที่เหมาะสมกับการใช้งาน พร้อมทั้งคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

### 4.2.1 การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 โดยจ่ายแรงดันตั้งแต่ 1 V - 12 V กับแบบที่ D1

การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก โดยทดลองจ่ายแรงดันตั้งแต่ 1 V - 12 V เพื่อศึกษาอุณหภูมิของแต่ละแรงดันว่าอุณหภูมิเท่าไร และทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 60 วินาที โดยใช้โพรบวัดอุณหภูมิต่อกับมิเตอร์ โดยเปรียบเทียบการทดลองแบบ A คือ ทดลองที่อุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 4.11 และการทดลองแบบ B คือ ทดลองในกล่องเก็บความเย็น ดังรูปที่ 4.12



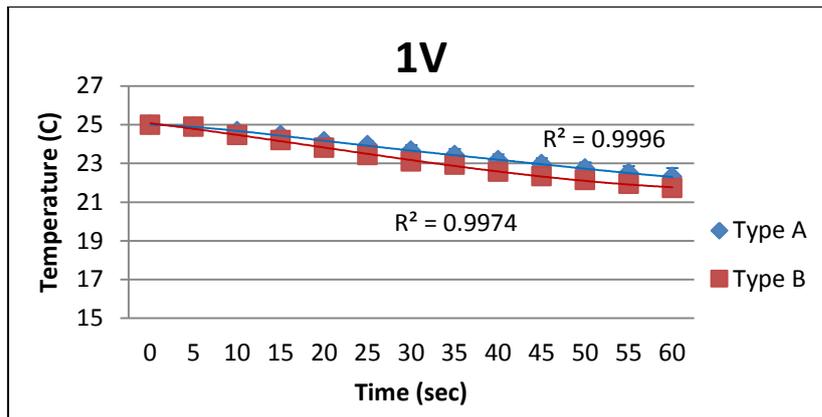
รูปที่ 4.11 แบบ A ทดลองที่อุณหภูมิห้อง



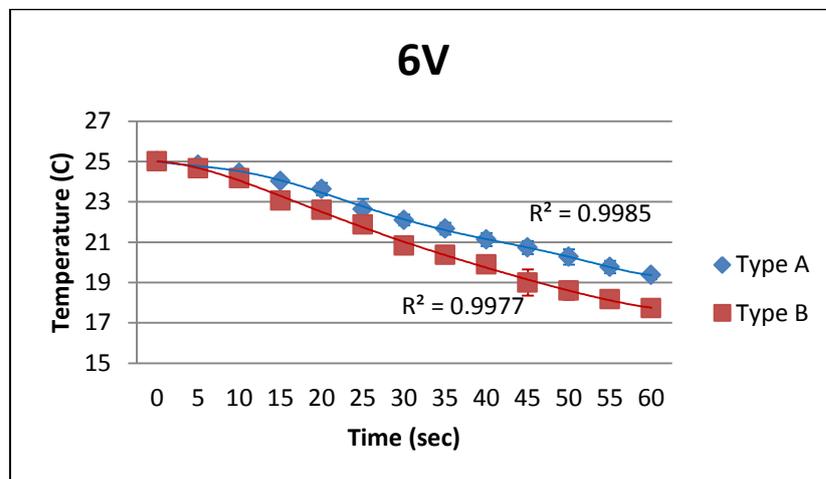
รูปที่ 4.12 แบบ B ทดลองในกล่องเก็บความเย็น

จากการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของแรงดัน และอุณหภูมิกับเวลา แสดงผลการทดลองที่แรงดัน 1 V, 6 V และ 12 V ดังรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ ได้ผลว่า แรงดันต่ำทำให้ค่าอุณหภูมิลดลงอย่างช้าๆ และถ้ายิ่งแรงดันสูงจะทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว

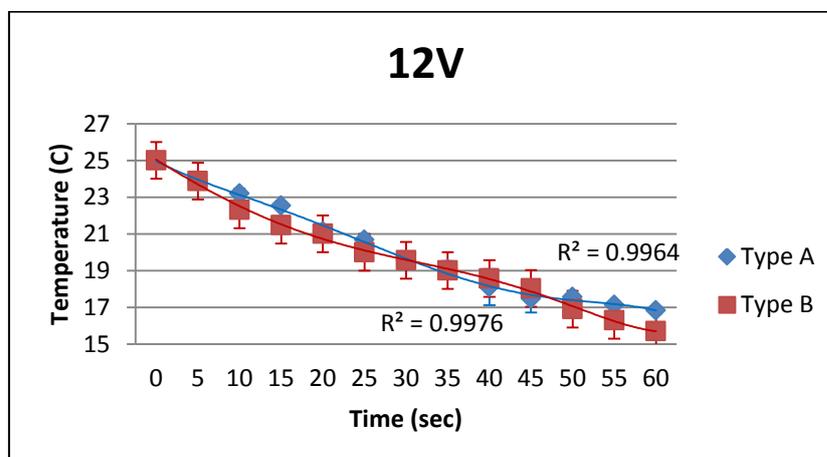
จากการเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริก แบบ A และแบบ B จะได้ว่า แบบ B มีอุณหภูมิลดลงได้รวดเร็วกว่าแบบ A เนื่องจากแบบ B เป็นการทดลองในกล่องความเย็น ซึ่งไม่มีอุณหภูมิภายนอกเข้ามาในระบบ



รูปที่ 4.13 ผลการทดลองที่แรงดัน 1 V แบบที่ D1



รูปที่ 4.14 ผลการทดลองที่แรงดัน 6 V แบบที่ D1



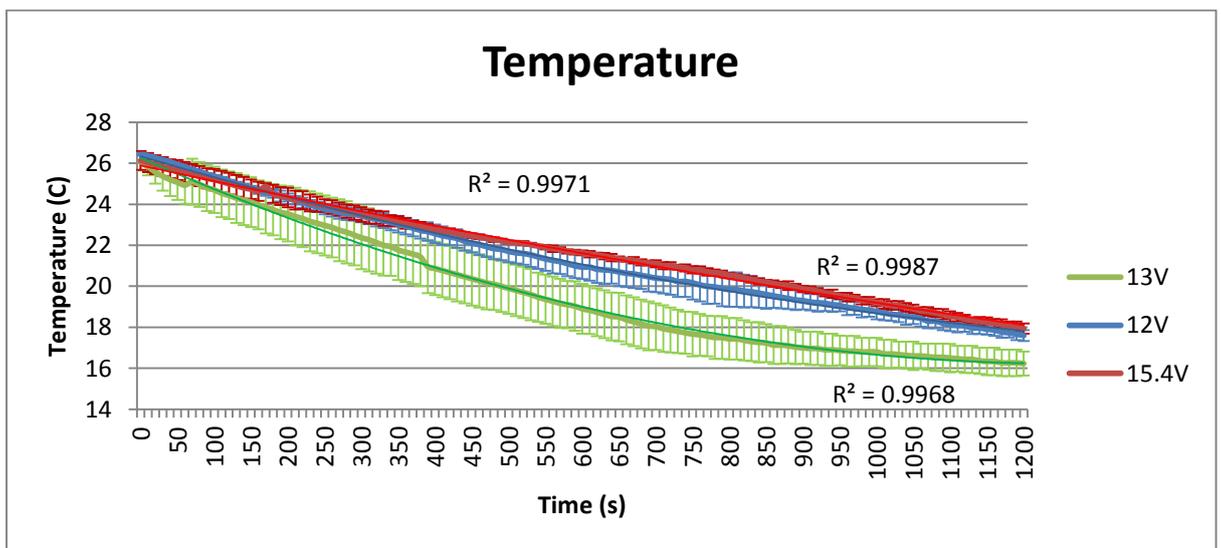
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองที่แรงดัน 12 V แบบที่ D1

#### 4.2.2 การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 แบบที่ D2

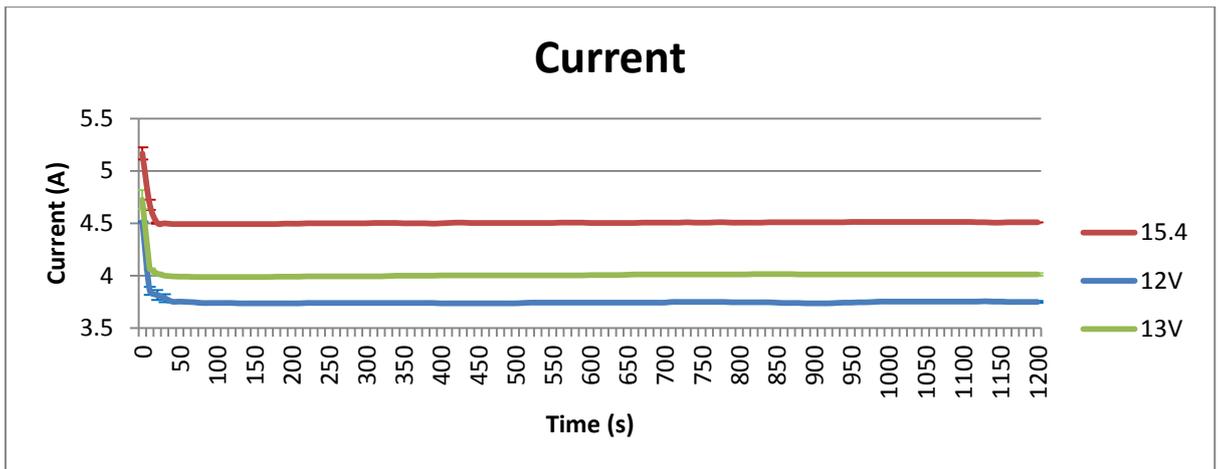
แบบที่ D2 ออกแบบโครงสร้างให้มีจับฐาน 1 ด้าน โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 ดังรูปที่ 4.16 โดยทดลองปรับแรงดันเป็น 12 V, 15.4 V และ 13 V เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิ กระแส และกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาของแต่ละแรงดัน และทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 1200 วินาที



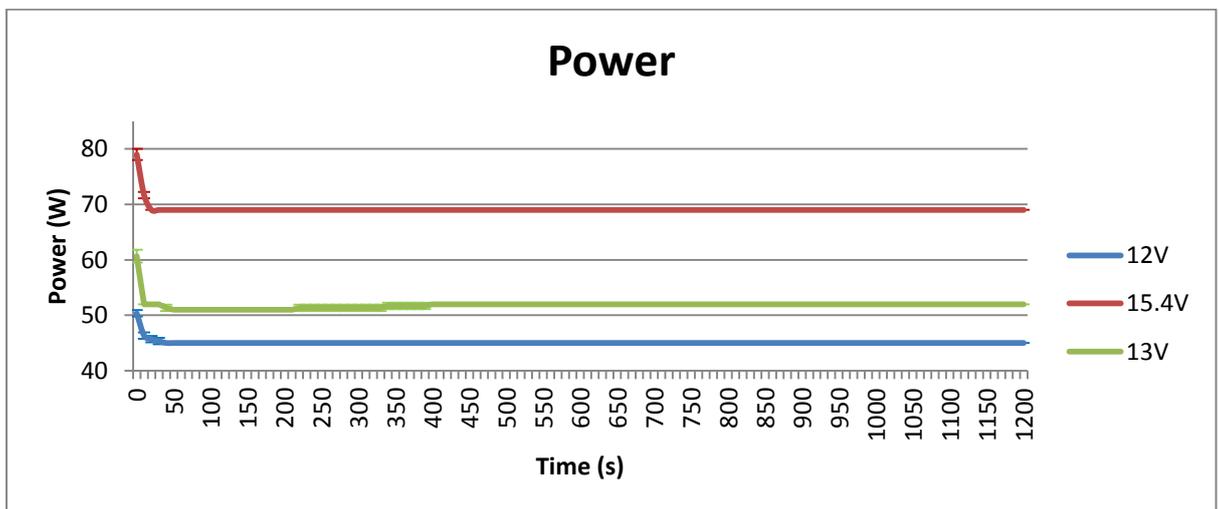
รูปที่ 4.16 ชิ้นงานจริง แบบที่ D2



รูปที่ 4.17 กราฟผลการทดลองแสดงอุณหภูมิที่แรงดัน 12 V, 15.4 V และ 13 V แบบที่ D2



รูปที่ 4.18 กราฟผลการทดลองแสดงกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V, 15.4 V และ 13 V แบบที่ D2

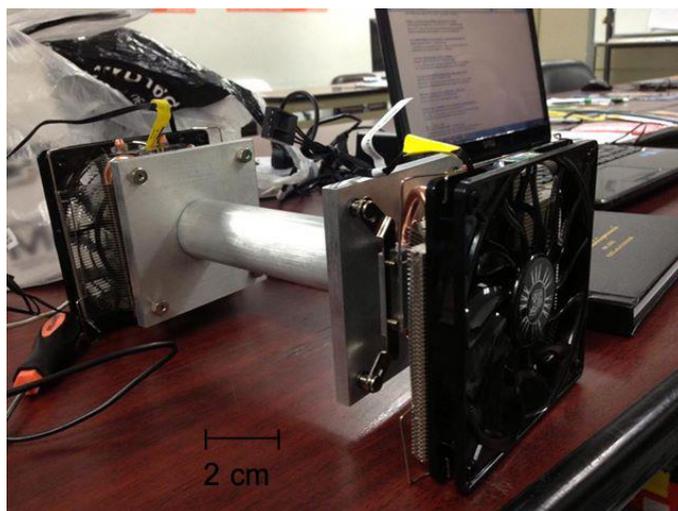


รูปที่ 4.19 กราฟผลการทดลองแสดงกำลังไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V, 15.4 V และ 13 V แบบที่ D2

จากผลการทดลอง รูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 เห็นได้ว่า ที่แรงดัน 12 V จะลดอุณหภูมิถึง 18 องศาเซลเซียส นั้นใช้เวลา 1090 วินาที (ประมาณ 18 นาที) กระแสเฉลี่ยที่ 3.75 แอมป์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 45 วัตต์ ที่แรงดัน 15.4 โวลต์ ลดอุณหภูมิถึง 18 องศาเซลเซียส นั้นใช้เวลา 1180 วินาที (ประมาณ 19 นาที) กระแสเฉลี่ยที่ 4.51 แอมป์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 69 วัตต์ ที่แรงดัน 15.4 V ควรลดอุณหภูมิได้เร็วที่สุด แต่กำลังไฟฟ้ามีค่าสูงเกินกว่าที่ตัวเทอร์โมอิเล็กทริกทนได้ โดยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 57 วัตต์ ดังตารางที่ 3.2 และที่แรงดัน 13 โวลต์ ลดอุณหภูมิถึง 18 องศาเซลเซียส นั้นจะใช้เวลาประมาณ 700 วินาที (11 นาที) กระแสเฉลี่ยที่ 4.01 แอมป์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 52 วัตต์ จะเห็นได้ว่าที่แรงดัน 13 โวลต์ ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิน้อยที่สุด

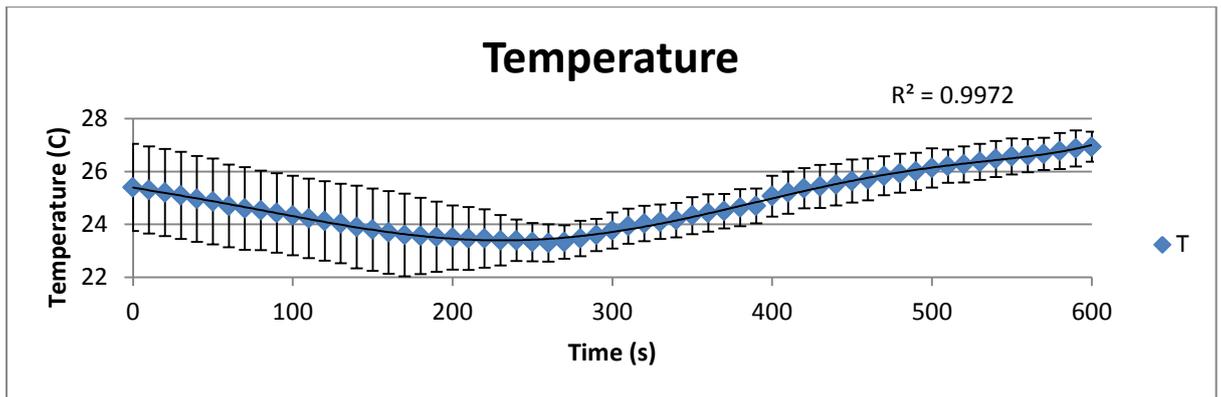
#### 4.2.3 การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 แบบที่ D3

แบบที่ D3 ออกแบบโครงสร้างให้มือจับฐาน 2 ด้าน โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 จำนวน 2 ตัว ต่อกันแบบขนาน โดยติดด้านหัวและท้ายของมือจับ ดังรูปที่ 4.20 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิ กระแส และกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา ทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 600 วินาที

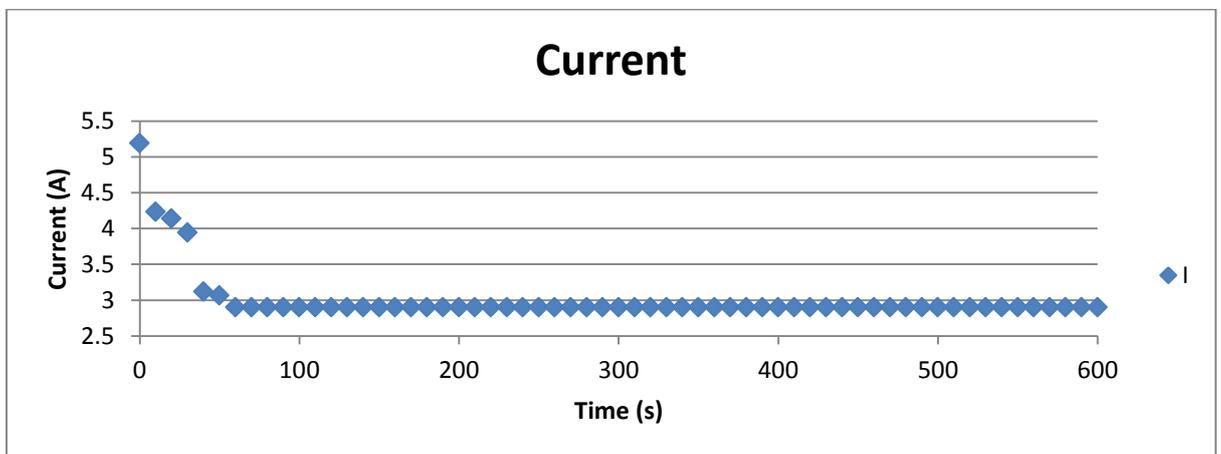


รูปที่ 4.20 ชิ้นงานจริง แบบที่ D3

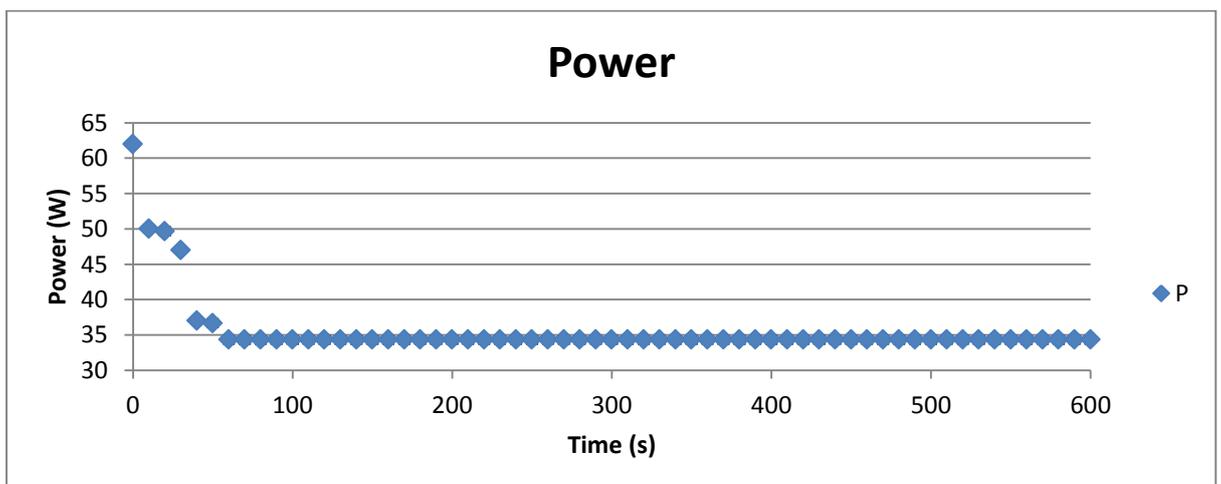
จากการทดลองดังรูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิจะลดลงในช่วงแรก และสักครู่จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยจ่ายกระแสเท่าเดิม ซึ่งไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ ดังนั้นจึงทำการทดลองจ่ายไฟให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกทีละตัว ทั้ง 2 ด้านแล้ว สามารถลดอุณหภูมิได้ปกติ แต่เมื่อทดลองพร้อมกันทั้ง 2 ตัว ปรากฏว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตอนนี้อย่างหาเหตุผลมาอธิบายไม่ได้ กำลังอยู่ในขั้นตอนการศึกษา ซึ่งจะไม่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในงานวิจัยเล่มนี้



รูปที่ 4.21 กราฟผลการทดลองแสดงอุณหภูมิที่แรงดัน 12 V แบบที่ D3



รูปที่ 4.22 กราฟผลการทดลองแสดงกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V แบบที่ D3



รูปที่ 4.23 กราฟผลการทดลองแสดงกำลังไฟฟ้าที่แรงดัน 12 V แบบที่ D3

#### 4.2.4 การทดลองเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 แบบที่ D4

แบบที่ D4 มีมือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลางเพื่อรับกับฝ่ามือ ความหนา 6 มิลลิเมตร และ  
โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 จำนวน 1 ตัว ดังรูปที่ 4.24

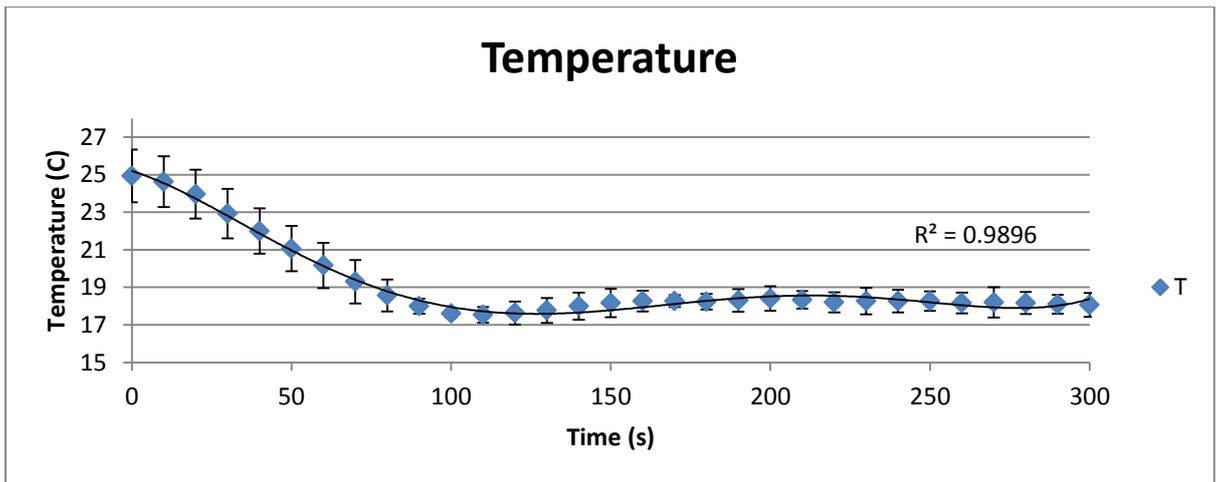
##### 4.2.4.1 การทดลองใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 จำนวน 1 ตัว

โดยทดลองมือจับทองแดงแผ่น ที่อุณหภูมิห้อง 24 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาความสัมพันธ์  
ของ อุณหภูมิ กระแส และกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา ทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 300  
วินาที

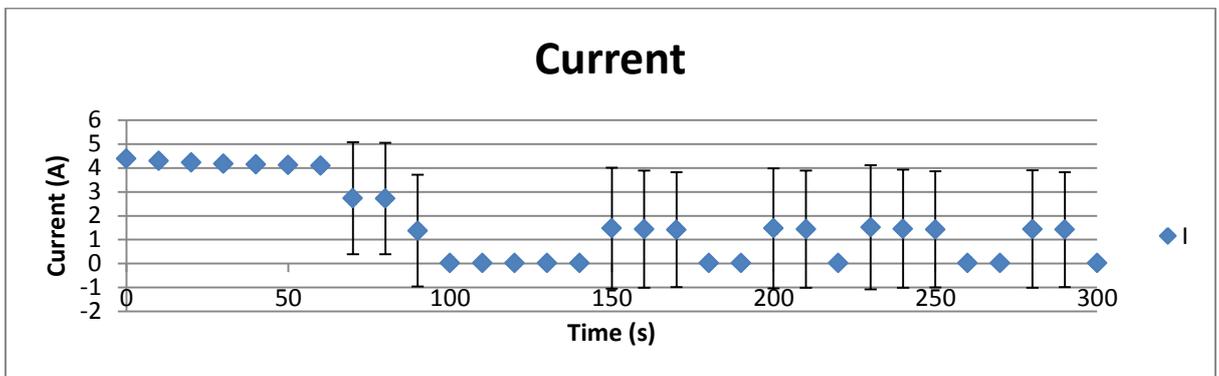


รูปที่ 4.24 ชิ้นงานจริง แบบที่ D4

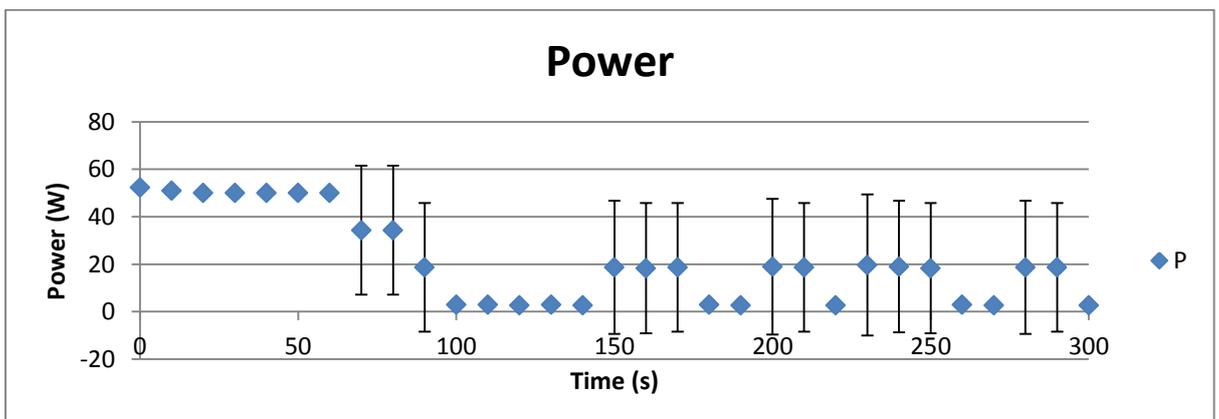
จากการทดลองดังรูปที่ 4.25, 4.26 และ 4.27 จะเห็นได้ว่า ลดอุณหภูมิถึง 18 องศาเซลเซียส  
นั้นจะใช้เวลา 70 วินาที (ประมาณ 1 นาที) กระแสช่วงลดอุณหภูมิจนถึง 18 องศาเซลเซียส จะเฉลี่ย  
ที่ 4.17 แอมป์ เมื่ออุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะตัดการทำงาน ทำให้กระแส  
อยู่ที่ 0.02 - 0.03 แอมป์ และกำลังไฟฟ้าในขณะที่ทำงานเฉลี่ยที่ 50 วัตต์ ที่แรงดัน 12 โวลต์ ซึ่งใช้  
เวลาน้อยกว่าชิ้นงานแบบที่ D2 และ D3 มากกว่ามาก จึงเลือกใช้แบบนี้เป็นชิ้นงานจริง



รูปที่ 4.25 กราฟผลการทดลองแสดงอุณหภูมิที่แรงดัน 12 V แบบที่ D4



รูปที่ 4.26 กราฟผลการทดลองแสดงกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 12V แบบที่ D4

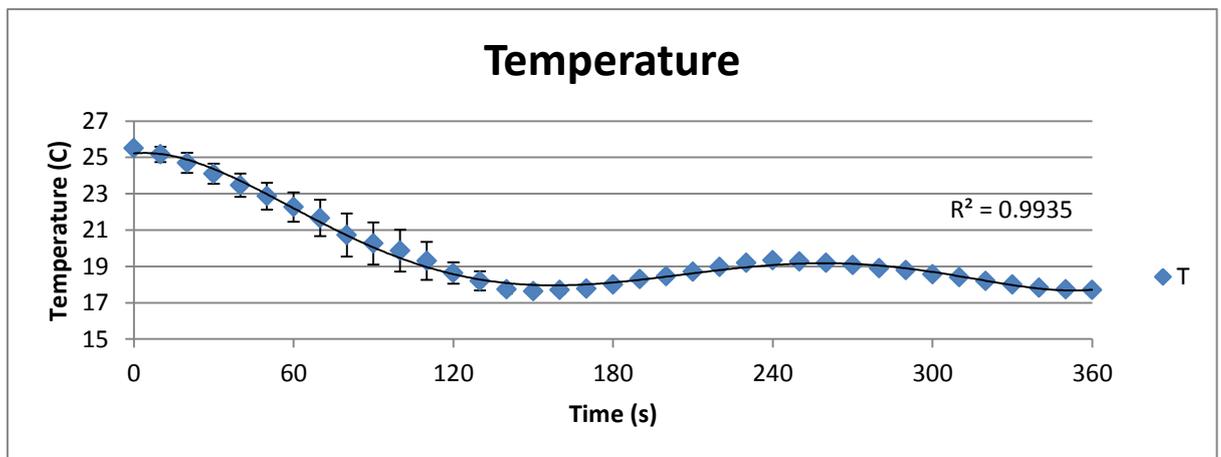


รูปที่ 4.27 กราฟผลการทดลองแสดงกำลังไฟฟ้าที่แรงดัน 12V แบบที่ D4

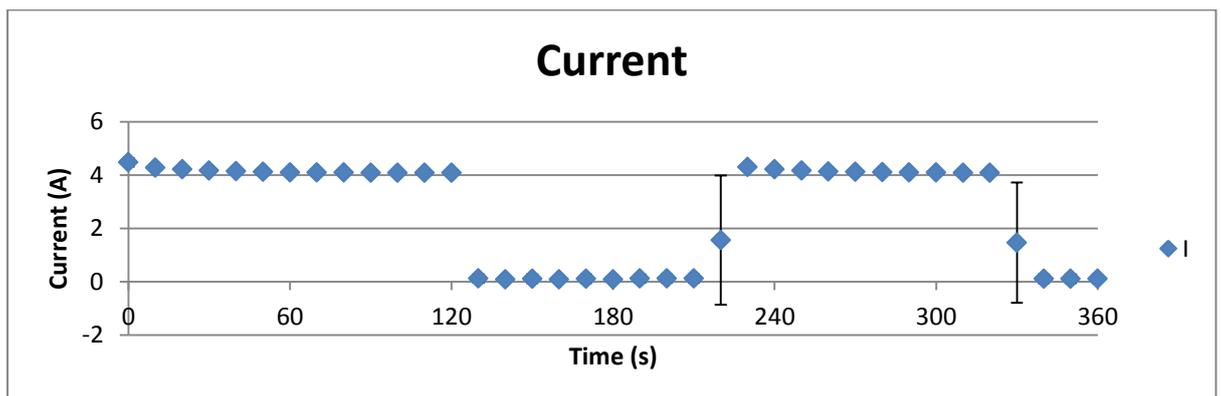
#### 4.2.4.2 การทดลองใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 จำนวน 1 ตัว โดยมีมือมารบวง

โดยทดลองจับไปที่มือจับทองแดงแผ่น ที่อุณหภูมิห้อง 24 องศาเซลเซียส เมื่อมือจับมีอุณหภูมิที่ 18 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิ กระแส และกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา ทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 360 วินาที

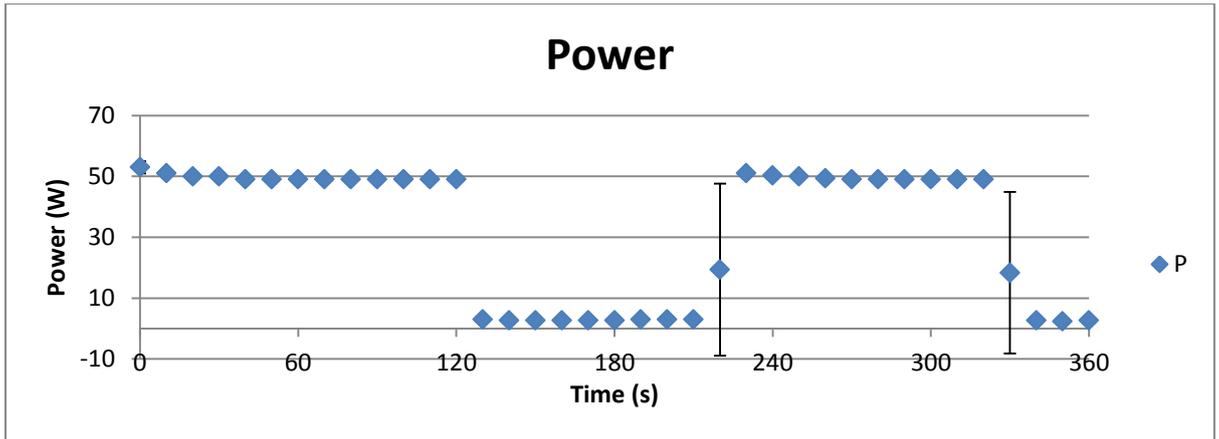
จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.28, 4.29 และ 4.30 จะเห็นได้ว่า ฝ่ามือที่จับลงไปยังมือจับมีผลทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.28 กราฟผลการทดลองแสดงอุณหภูมิที่มีฝ่ามือมารบวง แบบที่ D4



รูปที่ 4.29 กราฟผลการทดลองแสดงกระแสไฟฟ้าที่มีฝ่ามือมารบวง แบบที่ D4



รูปที่ 4.30 กราฟผลการทดลองแสดงกำลังไฟฟ้าที่มีฝ่ามือมารบกววน แบบที่ D4

### 4.3 การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ

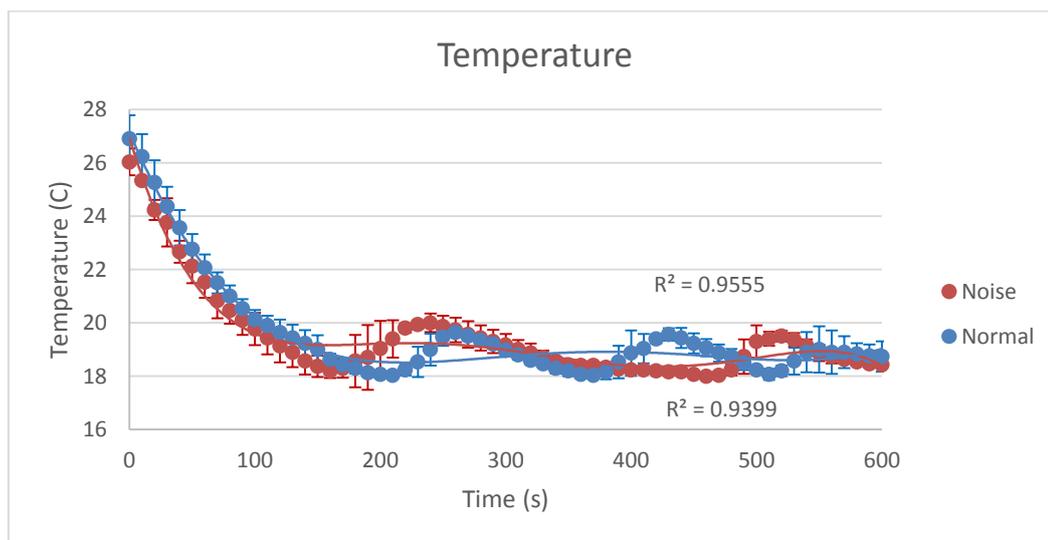
การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ ทำจากอะคริลิคขนาด กว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 320 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.31 โดยทดลองที่สภาพแวดล้อมภายใน เพื่อทดสอบการใช้งานจริง โดยการทำการทดสอบทั้งการทำงานปกติ และมีมือมารบกววน เมื่ออุปกรณ์มีอุณหภูมิที่ 18 องศาเซลเซียส และใช้ฝ่ามือสัมผัสที่มือจับทองแดง



รูปที่ 4.31 อุปกรณ์ต้นแบบ

#### 4.3.1 ทดสอบต้นแบบกับโครงสร้างแบบที่ D4

ทดลองต้นแบบกับมือจับทองแดงแผ่น D4 ที่อุณหภูมิภายนอก 28 องศาเซลเซียส ทำการเปรียบเทียบระหว่างการทำงานปกติกับมีมือมารบกวน เพื่อศึกษาอุณหภูมิเทียบกับเวลา เมื่อใช้อุปกรณ์กับแบตเตอรี่ LiFePO4 ทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 600 วินาที



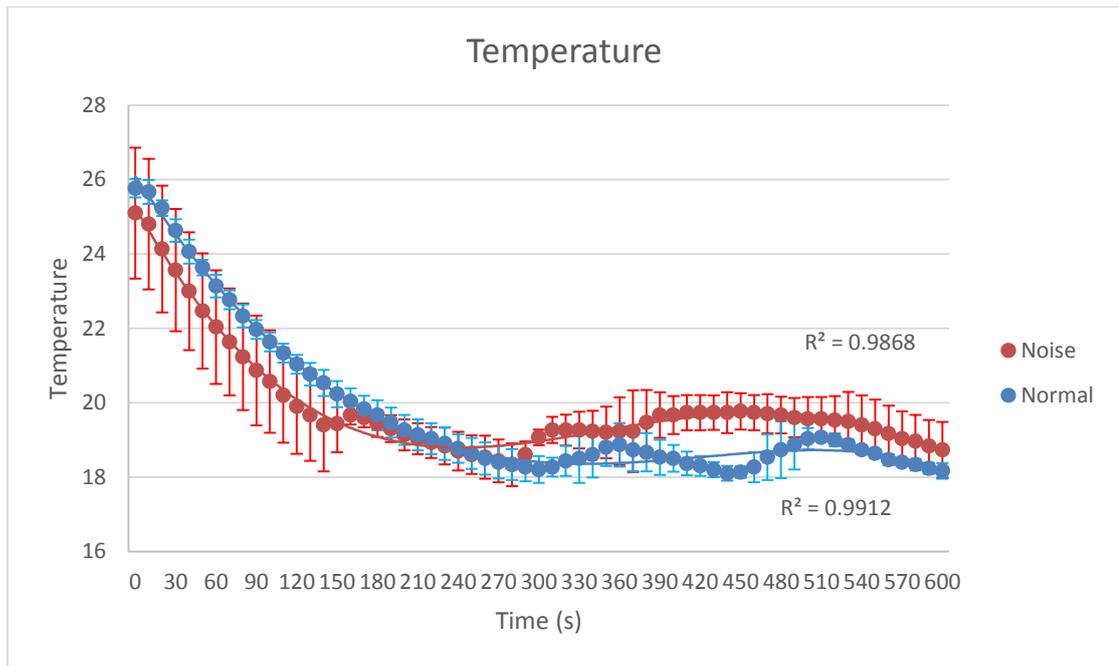
รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองแสดงอุณหภูมิระหว่างการทำงานปกติกับการมีฝ่ามือมารบกวนแบบที่ D4

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.32 จะเห็นได้ว่า เครื่องระบายความร้อนใช้งานกับแบตเตอรี่แล้วผลที่ได้คือ สามารถใช้งานได้คงที่ไม่ต่างจากการใช้เครื่องแหล่งจ่ายสวิตซ์ซิ่ง และเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิม เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอกมีผลต่อการทดลอง

#### 4.3.1 ทดสอบต้นแบบกับโครงสร้างแบบที่ D5

แบบที่ D5 มือจับทองแดงแผ่นมีนูนตรงกลางเพื่อรับกับฝ่ามือ ความหนา 15 มิลลิเมตร และโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 จำนวน 1 ตัว ทำทดสอบกับต้นแบบ

ทดสอบต้นแบบกับมือจับทองแดงแผ่น D5 ที่อุณหภูมิภายนอก 32 องศาเซลเซียส ทำการเปรียบเทียบระหว่างการทำงานปกติกับมีมือมารบกวน เพื่อศึกษาอุณหภูมิเทียบกับเวลา ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 600 วินาที



รูปที่ 4.33 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองแสดงอุณหภูมิระหว่างการทำงานปกติกับการมีฝุ่นเข้ามา  
รบกวนแบบที่ D5

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.33 เห็นได้ว่าเมื่อลดอุณหภูมิถึง 18 องศาเซลเซียส นั้นจะใช้เวลาประมาณ 120 - 300 วินาที ซึ่งใช้เวลามากกว่าชิ้นงานแบบที่ D4 แต่โครงสร้างแบบที่ D5 จะจับถนัดมือมากกว่าแบบที่ D4

## บทที่ 5

# บทวิจารณ์และสรุป

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองได้ทำการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก โดยการวัดอุณหภูมิทดลองใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 2 ชนิด คือ TEC1-12706 และ TEC1-12715 ได้ผลว่าเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด TEC-12706 ลดอุณหภูมิได้เร็วที่สุด และทำการทดสอบการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 1 ตัว จะลดอุณหภูมิได้เร็วกว่าการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 2 ตัว จึงเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 จำนวน 1 ตัว อุณหภูมิที่ได้ต้องผ่านเครื่องควบคุม on-off controller รุ่น WH7016C เพื่อควบคุมอุณหภูมิที่ 17-19 องศาเซลเซียส ผ่านมือจับ ทดสอบวัสดุของมือจับเปรียบเทียบกัน ได้ผลว่าทองแดงนำความเย็นได้ดีกว่าอะลูมิเนียม จากการออกแบบมือจับให้ลดอุณหภูมิได้เร็วที่สุด โดยใช้เวลา 120 - 300 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และการทดลองมือจับแบบแผ่นทองแดงหนา 15 มิลลิเมตร กับมือจับแบบพลาสติกมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ความยาว 4.9 นิ้ว ได้ผลว่ามือจับแบบทองแดงลดอุณหภูมิได้เร็วกว่า สรุปได้ว่าความหนา และวัสดุของมือจับมีผลต่อความเร็วในการนำความเย็น

### 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

1. เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 ควรลดอุณหภูมิได้เร็ว แต่เมื่อทดลองกลับเพิ่มอุณหภูมิสาเหตุอาจจะเกิดจากอุณหภูมิฝั่งร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 มีค่ามากกว่า TEC1-12706 มาก จึงทำการแก้ไขโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกชนิด TEC1-12706 แทน
2. เพิ่มเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 ตัว เพื่อลดอุณหภูมิได้เร็วขึ้น แต่เมื่อทำการทดลองไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ จึงกำลังอยู่ในขั้นตอนการศึกษา ซึ่งจะไม่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในงานวิจัยเล่มนี้
3. เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมินานเกินไป จึงเปลี่ยนแบบมือจับ โดยลดความหนาของวัสดุ และเลือกใช้เป็นรูปแบบแผ่นทองแดง
4. การระบายความร้อนของระบบยังไม่เหมาะสม จึงเพิ่มพัดลมเพื่อให้ระบบระบายความร้อนได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

ผลจากการทดลองข้างต้นสามารถนำไปใช้ได้จริงกับนักกีฬาเพื่อลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว แต่การออกแบบมือจับแบบนี้ อาจมีข้อจำกัดในรูปแบบความหนูนและขนาดของมือจับ เนื่องจากฝ่ามือของแต่ละบุคคลมีขนาดไม่เท่ากัน แนวทางในการพัฒนา คือ ออกแบบให้มีขนาดที่รองรับได้หลากหลาย และสามารถใช้ได้ทั้ง 2 ฝ่ามือ และยังคงใช้เวลาในการลดอุณหภูมิได้เร็วเหมือนเดิม หรือเร็วกว่าเดิม

## เอกสารอ้างอิง

- [1] AVACore Technologies. “**Rapid Thermal Exchange (RTX)**”. [Online]. Available :  
<http://www.avacore.com/>
- [2] ศูนย์วิจัยเทอร์โมอิเล็กทริก. “**วัสดุพลังงาน เทอร์โมอิเล็กทริก**”. [Online]. Available :  
<http://pineapple-eyes.snru.ac.th/thermo/index.php?q=node/5>
- [3] Thaina in Cartoon. “**Seeback & Peltier Effect for Future Energy.**” [Online].  
 Available :  
<http://thaina.exteen.com/20090822/seebeck-peltier-effect-for-future-enegy-1>
- [4] Piyawath T. “**Finite element of thermoelectric**”. [Online]. Available :  
[http://www.physic.kku.ac.th/computational\\_physics/.../piyawat\\_present.pdf](http://www.physic.kku.ac.th/computational_physics/.../piyawat_present.pdf)
- [5] ทศวัลย์ คัมภีระพันธุ์ และ วรวิทย์ โกสลาทิพย์. “**วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก อีกหนึ่งพลังงาน  
 ทางเลือกจีวแต่แจ้ว**”. [Online]. Available :  
<http://webstaff.kmutt.ac.th/~ivorthip/TE/>
- [6] Jacob M., Ty N., Colon N. “**Peltier Effect**”. [Online]. Available :  
<http://www.santarosa.edu/~yataiia/E45/PROJECT/peltier.ppt>
- [7] สุนันท์ ศรีณยนิตย์. “**การถ่ายเทความร้อน**”, 2545
- [8] DataSheet TEC1-12706. [Online]. Available :  
<http://www.hebeiltd.com.cn/peltier.datasheet/TEC1-12706.pdf>
- [9] DataSheet TEC1-12715. [Online]. Available :  
<http://www.hebeiltd.com.cn/peltier.datasheet/TEC1-12715.pdf>
- [10] Denis A Grahn, Julie vLS Murray, H Craig Heller. “**Cooling via one hand  
 improves physical performance in heat-sensitive individuals with Multiple  
 Sclerosis**”. BMC Neurology 2008, 8: 14.

- [11] D.A. Grahn, J.L. Dillon, H.C. Heller. “**Heat loss caused by cooling the feet**”.  
Journal of Biomechanical Engineering 131: 2009.
- [12] Young Sub Kwon, Robert A. Robergs, Len R. Kravitz, Burke A. Gurney, Christine M. Mermier, Suzanne M. Schneider. “**Palm Cooling Delays Fatigue during High-Intensivty Bench Press Exercise**”. Medicine & Science in Sports & Exercise: 1557-1565, 2010.
- [13] Hunter Kylie E, Murphy Aron J, Coutts Aaron J, Watsford Mark L, Graham Kenneth. “**The effect of a CoreControl RTX on recovery and performance in hot and humid conditions**”. University of Sydney: 2011
- [14] Peltier Application Notes. [Online]. Available :  
<http://www.cui.com/productresourcepeltier-application-notes.pdf>
- [15] การเชื่อมต่อขั้วแบตเตอรี่ของแต่ละเซลล์. [Online]. Available :  
<http://203.150.226.28/webboard/viewtopic.php?t=586891>
- [16] Heatsink Cooler Master Geminll M4. [Online]. Available :  
<http://www.espaescomputer.com/product/1412/geminll-m4#.UwYOTsQW34E>
- [17] WH7016C Thermostat Product Manual. [Online]. Available :  
<http://www.al-electronic.com/image/PDF/willhi%20wh7016c%2012vdc%20%20user%20manual.pdf>

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

### ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล.....ดร.ดอน อิศรางกร.....

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด.....4 ธันวาคม 2520.....อายุ 35..... ปี

สถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

### ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Ph.D.	Microsystems and Microelectronics	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland	2011
M.Eng.	Control Engineering	KMITL	2003
B.Eng.	Electronics Engineering	KMITL	2000

ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ.....Microsensors and microactuators, Piezoelectric materials for sensing and actuating applications, MEMS process development, Energy harvesting systems, PowerMEMS.....

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2013	Sci & Tech Initiative and Sustainability Awards (STISA 6 <sup>th</sup> )	The Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry
2011	Good Ph.D. thesis award	Office of National Research Council of Thailand
2011	Prix de La Ville de La Chaux-de-Fonds 2011	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland

### ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2006-2010	Thai Government Science and Technology Scholarship	Thai Government
2001-2003	Royal Thai Government Scholarship	Thai Government

### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

#### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

- **Don Isarakorn** (Principal investigator), Noppadol Maneerat and Bundit Pasaya, **“Fundus Image Database System and Primary Diabetic Retinopathy Screening Software,”** A New Researcher Scholarship of CSTC, MOST, 2012.
- **Don Isarakorn** (Principal investigator), Songmoung Nundrakwang, Noppadol Maneerat and Kasemsuk Sepsirisuk, **“Design and Development of an Electric Stand-up Wheelchair,”** Faculty of Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2012.
- **Don Isarakorn** (Principal investigator) and Songmoung Nundrakwang, **“Self-powered System for Machine Condition Monitoring Applications,”** Faculty of Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2012.

### การเสนอผลงานวิชาการ

- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, ธัชพล สิลพิพัฒน์, ภาณุพงศ์ โลจรัส, วัชรินทร์ กิจวิไลรักษ์ และหฤทัย เอี่ยมประภากุล, **“อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กส่วนจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์,”** การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 94-99, 2556
- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, ณัฐพล พรณัฐพิกุล, วิรุฒ แซ่มซ้อย และสิรินดา มาวรณ, **“การเก็บเกี่ยวพลังงานจากข้อต่อหัวเข่าโดยใช้สเตปเปอร์มอเตอร์,”** การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 154-159, 2556

- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, ธนากร หมุ่มทอง, ธนาพร สิริโสภภาพรรณราย, พรสุดา พัสตร และวิรุฒม์ ชื่นยง, “การเก็บเกี่ยวพลังงานจากกรวดเงินข้อปิ้ง,” การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 160-165, 2556
- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, ฐาปนันท์ สุชาวิยางกูร, นุลพร สุกใส และเฉลิมชัย จงสินทวี, “การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการกระแทกโดยใช้เพียโซบักเซอร์เพื่อติดตามสภาพเครื่องจักร,” การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 205-210, 2556
- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, โกมล บัญญัติเลิศถาวร, กฤษฎา ประภาณุกิต และวีณา จงเจริญกมล, “พินกำหนดพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก,” การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 988-993, 2556
- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, ธนพล บุญโชติ, นุลกร สีเหลืองเย็น และพงษ์ศธร นุ่มทอง, “การออกแบบใบหญ้าเพียโซอิเล็กทริกเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานจากลม,” การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 1000-1005, 2556
- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, ฌวันยุทธ แสนจิตร, ฌัฐพงศ์ เหมือนหม้อ และชงชัย ทองคำ, “การศึกษาระดับการสั่นของสะพานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับเซนเซอร์,” การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 89-93, 2556

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

**“Energy Scavenging from a Rotating Gear using an Impact Type Piezoelectric MEMS Scavenger”**, International Patent: P2203PC00/  
European Patent: N°EP 11168703.4

**“Piezoelectric energy generating device from impact force”**, Thai patent:  
Patent pending no. 1201006020

**“Piezoelectric energy harvesting floor”**, Thai patent: Patent pending no.  
1201006021

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล.....นายสองเมือง นันทขว้าง.....

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด.....อายุ.....ปีสถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

## ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
M.Eng.	Control Engineering	KMITL	2005
B.Eng.	Control Engineering	KMITL	2003

ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ... Machine..... Design,..... Mechatronic..... System  
Modeling, Control Systems.....