

การออกแบบระบบทำความเย็นให้แก่ไดโอดเลเซอร์
DESIGN OF A LASER DIODE COOLING SYSTEM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การออกแบบระบบทำความเย็นให้แก่ไดโอดเลเซอร์
DESIGN OF A LASER DIODE COOLING SYSTEM



T149425

ธนกร เทพวงษ์
ดุษฎี วงษ์วีระจันทร์

b. 1288456X
i.

สงทพ...
เลขทะเบียน 149425
วันเดือนปี 8 ส.ค. 2561

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องสมุดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF A LASER DIODE COOLING SYSTEM



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบระบบทำความเย็นให้กับเลเซอร์ไดโอด
Design of a Laser Diode Cooling System

ชื่อนักศึกษา นายธนกร เทพวงษ์ รหัสนักศึกษา 55051505
นางสาวดุขฎิ วงษ์วีระจันทร์ รหัสนักศึกษา 55051500

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อาภาภรณ์ สกกุลการะเวก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทธียา ดำรงค์ศักดิ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.กฤษกร โล่เจริญรัตน์ กรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	
ดร.อาภาภรณ์ สกกุลการะเวก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การออกแบบระบบทำความเย็นให้กับเลเซอร์ไดโอด	
ชื่อนักศึกษา	นายธนกร เทพวงษ์	รหัสนักศึกษา 55051505
	นางสาวดุขฎิ วงษ์วีระจันทร์	รหัสนักศึกษา 55051500
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อาภาภรณ์ สกุลภาวะเวก	

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างระบบระบายความร้อนให้กับตัวเลเซอร์ โดยใช้ Heat sink และ Thermolectric Cooler (TEC) มาช่วยในการระบายความร้อน ใช้การประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลผ่านโปรแกรมมาตรฐาน LabVIEW ในการวัดค่าอุณหภูมิของ เลเซอร์จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน 1. วัดอุณหภูมิที่ Housing ที่มีเลเซอร์ติดตั้งอยู่เพียงอย่างเดียว 2. วัดอุณหภูมิที่ Housing ที่ติดตั้ง Heat sink เพื่อช่วยในการระบายความร้อน 3. วัดอุณหภูมิ ที่ Housing ที่ติดตั้ง Heat sink และ TEC เพิ่มเข้าไปเพื่อช่วยในการระบายความร้อน โดยทั้ง 3 ขั้นตอน จะมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V ให้กับเลเซอร์ และในแต่ละค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์จะมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับ TEC เป็น 1.8 V, 2.4 V, 2.6 V และ 3.0 V ทำการวัดและเก็บข้อมูลเป็นเวลา 40 นาที ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ เมื่อนำทั้ง 3 ขั้นตอนมาเปรียบเทียบกัน พบว่าอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat sink และ TEC มีอุณหภูมิลดลงจนอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และช่วงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.8 V ถึง 3.0 V เป็นช่วงของค่าความต่างศักย์ที่เหมาะสมที่จ่ายให้กับ TEC แล้วทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ ระบบระบายความร้อน

Title	Design of a Laser Diode Cooling System	
Students	Mr.Thanakorn Thepphawong	Student ID 5505105
	Ms.Dusadee Wongweerakhan	Student ID 5505100
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2558	
Advisor	Dr.Aparporn Sakulkalavck	

Abstract

The main objective of this project is to study design and improve the cooling system for laser diode. Heat sink and Thermoelectric Cooler (TEC) were used as cooling system. The processing and storage of data via standard LabVIEW. Measuring the temperature of the laser is split into 3 stages. 1. Measuring the temperature of housing with laser installed alone. 2. Measuring the temperature of housing with laser installed Heat sink for cooling. 3. Measuring the temperature of housing with laser installed Heat sink and TEC for cooling. These three steps will have to pay the voltage 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V and 2.8 V with a laser. And in each of difference voltage paid to lasers to pay voltage to TEC is 1.8 V, 2.4 V, 2.6 V and 3.0 V to measure and collect data for 40 Minutes. The results of the analysis, when all three phases are compared. Found that the temperature of Housing install Heat sink and TEC has lowered the temperature in the temperature is not exceeded 32 °C. Which meets the objectives set and the voltage range 1.8 V – 3.0 V range of the voltage supply to the TEC and make the system work more efficiently.

Keywords: Thermoelectric Cooler, Cooling System

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.อาภาภรณ์ สกฤการะเวก อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด รวมไปถึงเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา และตรวจแก้โครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความสนใจและช่วยเหลือผู้ศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอโน้มรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้ความสนใจและให้การสนับสนุนในการศึกษา จนผู้จัดทำสามารถทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ธนกร เทพวงษ์
ดุษฎี วงษ์วีระขันธ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	4
2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค	4
2.1.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์	5
2.2 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	6
2.2.1 โครงสร้างและประสิทธิภาพของเทอร์โมดูล	6
2.2.2 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	7
2.3 หลักการทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	8
2.4 การประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาใช้งานในการทำความเย็น	11
2.4.1 ตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	11
2.4.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	11
2.4.3 เครื่องยนต์	11
2.4.4 เครื่องปรับอากาศ	12
2.4.5 อื่นๆ	12
2.5 เทอร์โมคัปเปออร์	14
2.5.1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	15
2.5.2 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน	16
2.5.3 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน	18
2.5.4 การเลือกใช้งานเทอร์โมคัปเปิล	18
2.6 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	19
2.6.1 ทฤษฎีการนำความร้อน	19
2.6.2 ทฤษฎีการพาความร้อน	20
2.6.3 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 ทฤษฎีหลักการทำงานของเลเซอร์	21
2.7.1 องค์ประกอบของเลเซอร์	21
2.7.2 สมบัติของแสงเลเซอร์	22
2.7.3 หลักการกำเนิดของเลเซอร์	22
2.7.4 ชนิดของเลเซอร์	24
2.7.5 การประยุกต์เลเซอร์	25
2.8 ไฟไนต์เอลิเมนต์	26
2.8.1 องค์ประกอบความรู้ที่จำเป็น	26
2.8.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน	27
2.8.3 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ มี 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	29
3.1 การออกแบบโดยใช้กระบวนการแก้ไขปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์	29
3.1.1 กระบวนการขั้นต้น	29
3.1.2 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ	30
3.1.3 กระบวนการขั้นท้าย	31
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการพิเศษ	32
3.2.1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	32
3.2.2 แผ่นทองแดง	32
3.2.3 Heat sink	33
3.2.4 เลเซอร์	33
3.2.5 Thermocouple Type T	34
3.2.6 ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ เครื่อง NI 9211	35
3.2.7 โปรแกรม LAB VIEW	36
3.2.8 Cooler Master Silicon (ชนิดหล่อ) Grease IC-Essential E2	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	37
4.1 ผลการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ที่ Housing	37
4.2 ผลการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ เมื่อมีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink	39
4.3 ผลของการออกแบบ Housing	43
4.3.1 Housing ที่ไม่มีการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	43
4.3.2 การติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing 2 ตัว	44
4.3.3 ติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing 3 ตัว	45
4.3.4 การติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing 4 ตัว	45
4.4 ผลของการคำนวณพื้นที่ของ Heat Sink	46
4.4.1 ผลการคำนวณพื้นที่ Heat Sink จากโปรแกรม Solid Work	49

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5 ผลการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ที่มีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink และTEC	49
4.5.1 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 1.4 โวลต์	51
4.5.2 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 1.8 โวลต์	53
4.5.3 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 2.2 โวลต์	55
4.5.4 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 2.6 โวลต์	57
4.5.5 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 3.0 โวลต์	59
4.5.6 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 3.4 โวลต์	61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารอ้างอิง	



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2.1 ตารางแสดงค่า ZT ที่อุณหภูมิต่างๆ	7
2.2 ตารางแสดงค่ากำลังที่ดึงความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (วัตต์) และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลของแต่ละบริษัท	13
2.3 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่าง ๆ	17
2.4 ตัวอย่างย่านการใช้งานและคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน	18
3.1 คุณสมบัติของ เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEFC1-02312	32
3.2 คุณสมบัติของเลเซอร์ รุ่น LPC-836	34
4.1 แสดงอุณหภูมิสูงสุดของ Housing ที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เลเซอร์ที่แตกต่างกัน โดยจับเวลาในการทำทดลอง 40 นาที	39
4.2 แสดงอุณหภูมิของ Housing ,อุณหภูมิของ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่ติดตั้งร่วมกับ Heat Sink ที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เลเซอร์แตกต่างกัน จับเวลา 40 นาที ทุกๆ ครั้งที่มีการจ่ายกำลังให้เลเซอร์	43
4.3 แสดงค่า Q_{Laser} ที่ความต่างศักย์แตกต่างกัน	47
4.4 อุณหภูมิของ Housing ที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันให้กับเลเซอร์และ TEC	64

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEC	1
2.1 การทดลองของ Thomas Seebeck	4
2.2 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบ็ค	5
2.3 วงจรการเกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์	5
2.4 โครงสร้างภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	6
2.5 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEG	7
2.6 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEC	8
2.7 หลักการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก	9
2.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงานกับอุณหภูมิต้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	10
2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังที่ดึงความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (วัตต์) กับกระแสไฟฟ้า (แอมป์)	14
2.10 วงจรของเทอร์โมคัปเปิล	15
2.11 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	15
2.12 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่าง	17
2.13 เทอร์โมคัปเปิลแบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม	19
2.14 แสดงการการแกว่งกวัดเลเซอร์โดยใช้กระจกเลเซอร์	21
2.15 สถานะทั้งสามที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเลเซอร์	23
2.16 รูปแสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดเลเซอร์	23
3.1 รูปแบบชิ้นงานทรงเรขาคณิต	29
3.2 การกำหนดค่า Subdomain ให้กับชิ้นงาน	30
3.3 การกำหนดค่า Boundary ให้กับชิ้นงาน	30
3.4 การกำหนดค่า Boundary ให้กับชิ้นงาน	31
3.5 การแสดงผลลัพธ์ของชิ้นงาน	31
3.6 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEFC1-02312	32
3.7 Housing ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร	33
3.8 Heat sink ขนาด 38 × 38 × 11 มิลลิเมตร	33
3.9 เลเซอร์รุ่น LPC-836 High Power 650nm Red Laser Diode: 380mW	34
3.10 Thermocouple ชนิด T	35
3.11 NI 9211	35
3.12 โปรแกรม LabView	36
3.13 Cooler Master Silicon Grease IC-Essential E2	36
4.1 แสดงการติดตั้งระบบการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ที่ Housing	37
4.2 การติด Thermocouple ชนิด T ที่ Housing	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของ Housing เมื่อมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันกับเวลา	38
4.4 การติด Thermocouple จำนวน 2 ตัว ที่ Housing และ Heat Sink	40
4.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ Housing และอุณหภูมิของ Housing ที่ติดตั้งร่วมกับ Heat Sinkกับเวลา เมื่อมีจ่ายค่าความต่างศักย์ให้กับเลเซอร์ (a) 2.2 V, (b) 2.4 V, (c) 2.6 V และ (d) 2.8 V ตามลำดับ	40
4.6 แสดงการกระจายตัวของความร้อนภายในตัวชิ้นงาน โดยที่ยังไม่มีการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	44
4.7 การติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing จำนวน 2 ตัว	44
4.8 การติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing จำนวน 3 ตัว	45
4.9 การติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing จำนวน 4 ตัว	45
4.10 การดึงความร้อนออกจาก TEC โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ TEC	46
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_c (W) กับ Voltage (V)	47
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_c (W) กับ DT ($^{\circ}C$)	48
4.13 แสดงพื้นที่ผิวของ Heat Sink ในโปรแกรม Solid Work	49
4.14 แสดงการติดตั้งระบบการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ที่มีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink	50
4.15 การติด Thermocouple Type T จำนวน 2 ตัว ที่ Housing และ Heat Sink กำหนดให้มีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันให้กับเลเซอร์ เป็น 2.2 V , 2.4 V ,2.6 V, 2.8 V และ 3.0 V ตามลำดับ	50
4.16 แสดงอุณหภูมิของ Housing ,อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC โดยที่ (a) 2.2 V ,(b) 2.4 V ,(c) 2.6 V และ (d) 2.8 V	51
4.17 แสดงอุณหภูมิของ Housing ,อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC โดยที่ (a) 2.2 V , (b) 2.4 V ,(c) 2.6 V และ (d) 2.8 V	53
4.18 แสดงอุณหภูมิของ Housing ,อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC กับเวลา โดยที่ (a) 2.2 V ,(b) 2.4 V ,(c) 2.6 V และ (d) 2.8 V	55
4.19 แสดงอุณหภูมิของ Housing ,อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC กับเวลา โดยที่ (a) 2.2 V ,(b) 2.4 V ,(c) 2.6 V และ (d) 2.8 V	57
4.20 แสดงอุณหภูมิของ Housing ,อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC กับเวลา โดยที่ (a) 2.2 V ,(b) 2.4 V ,(c) 2.6 V และ (d) 2.8 V	59

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.21 แสดงอุณหภูมิของ Housing ,อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC กับเวลา โดยที่ (a) 2.2 V ,(b) 2.4 V ,(c) 2.6 V และ (d) 2.8 V

61

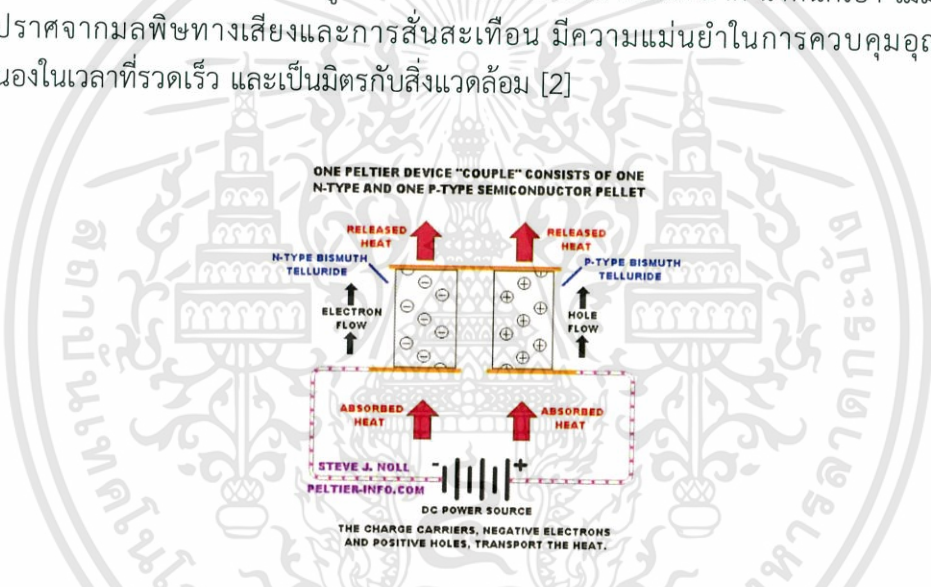


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

เลเซอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้หลายๆ ด้าน เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร รวมไปถึงการค้นคว้าวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ขั้นสูง เนื่องจากเลเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก อายุการใช้งานยืนยาว และมีประสิทธิภาพสูง [1] ในการใช้งานเลเซอร์นั้นมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องรักษาอุณหภูมิของเลเซอร์ให้คงที่ ซึ่งเมื่อเลเซอร์ถูกใช้งานไปในระยะเวลาหนึ่ง มักจะมีความร้อนเกิดขึ้นจนทำให้กำลังของเลเซอร์ลดต่ำลง จึงต้องมีการออกแบบระบบระบายความร้อนให้กับเลเซอร์ ในโครงการพิเศษนี้สนใจนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาใช้ในการระบายความร้อนให้กับระบบ เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมีข้อเด่นในเรื่องของขนาดที่เล็กมาก น้ำหนักเบา ไม่มีส่วนขยับ ทำให้ปราศจากมลพิษทางเสียงและการสั่นสะเทือน มีความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิสูง ตอบสนองในเวลาทีรวดเร็ว และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [2]



รูปที่ 1.1 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEC

หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้นจะอาศัยการโอนถ่ายอุณหภูมิ ในโครงการพิเศษนี้จะเป็นการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEC เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโมดูล กล่าวคือพาหะข้างมากของทั้งชนิดเอ็นและพีจะแพร่จากด้านล่าง (Cool Junction) พร้อมกับดูดความร้อนขึ้นมาด้านบน (Hot Junction) ทำให้ด้านล่างจะมีอุณหภูมิต่ำ และด้านบนจะมีอุณหภูมิสูง โดยที่กระแสจะไหลออกจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟและจะไหลทิศทางเดียวกันกับพาหะข้างมากในชนิดพีหรือโฮล ผ่านโลหะตัวนำเข้าไปไหลสวนทางกับทิศทางกับพาหะข้างมากในชนิดเอ็นหรืออิเล็กตรอน แล้วเข้าขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟในลักษณะ

ทิศทวนเข็มนาฬิกา หากกลับข้างแหล่งจ่ายทิศของกระแสจะกลับข้างด้านร้อนจะอยู่ด้านล่างและด้านบนก็จะเป็นก็จะอยู่ด้านบน

โครงการพิเศษนี้ สนใจศึกษาและออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิของไดโอดเลเซอร์รุ่น LPC 836 ให้มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส และสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่อย่างน้อย 40 นาที

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบระบบระบายความร้อนให้กับเลเซอร์ไดโอดโดยใช้ TEC

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาหลักการทำงานของเลเซอร์ไดโอดและ TEC
- 2) ออกแบบและสร้างระบบระบายความร้อนให้กับเลเซอร์ไดโอดโดย TEC โดยใช้โปรแกรม Solid Work
- 3) คำนวณการกระจายตัวของความร้อนโดยใช้โปรแกรม Finite Element

1.4 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินการ	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล											
2. ศึกษาโปรแกรม LabVIEW และโปรแกรม Solid Work											
3. ออกแบบและสร้างระบบระบายความร้อนโดยใช้ TEC											
4. การทดลองวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอด											
5. วิเคราะห์ผล											
6. สรุปผลการทดลอง											

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เข้าใจทฤษฎี ความเป็นมาและหลักการของเลเซอร์ไดโอด
- 2) เข้าใจทฤษฎีหลักการของเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric Module)
- 3) สามารถออกแบบระบบระบายความร้อนให้กับเลเซอร์ไดโอด
- 4) สามารถใช้โปรแกรม Finite Element ในการคำนวณหาการกระจายตัวของความร้อน
- 5) สามารถออกแบบชิ้นงานจากการศึกษาโปรแกรม Solid Work

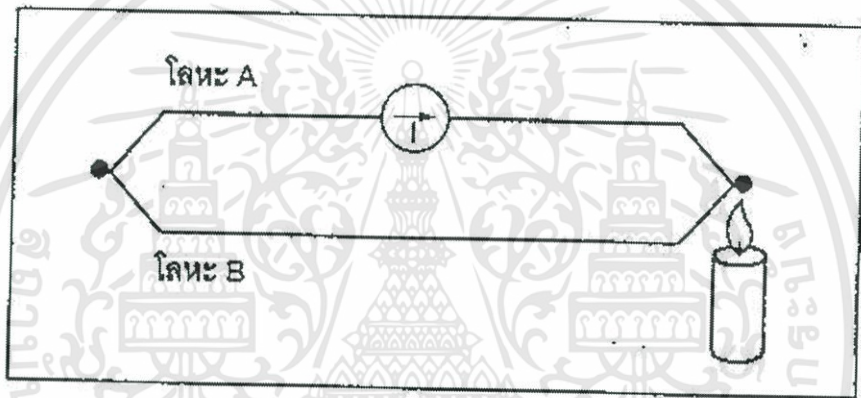


บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ในปี ค.ศ. 1821 นักฟิสิกส์ชาวเอสโตเนีย ชื่อ Thomas Johann Seebeck ได้ค้นพบโดยบังเอิญว่า ถ้าให้ความร้อนที่รอยต่อของโลหะ 2 ชนิด คือ ชนิด A และ ชนิด B จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายโลหะทั้งสอง ดังรูปที่ 2.1 เนื่องจากกลุ่มอิเล็กตรอนในโลหะด้านร้อนจะมีพลังงานจลน์สูงกว่าโลหะด้านเย็นและเคลื่อนที่เร็วกว่า จึงทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณของอิเล็กตรอนที่ปลายโลหะดังกล่าว Seebeck ได้สรุปว่าความแตกต่างอุณหภูมิมีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในโลหะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

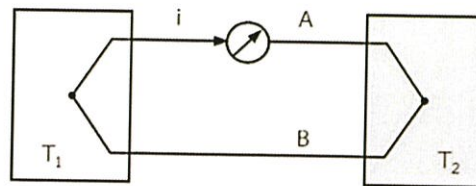


รูปที่ 2.1 การทดลองของ Thomas Seebeck

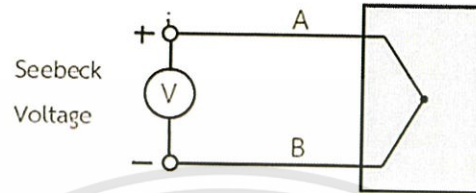
ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 Jean Chales Athanase Peltier นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสค้นพบว่า เมื่อนำตัวนำสองชนิดมาต่อกันแล้วทำการจ่ายกระแสให้ไหลผ่านตัวนำ ที่รอยต่อระหว่างตัวนำทั้งสองจะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเกิดขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) [3]

ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) เป็นปรากฏการณ์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เกิดจากการนำโลหะตัวนำต่างชนิดกันสองตัว เช่น บิสมัทกับทองแดง มาเชื่อมปลายเข้าด้วยกัน แล้วให้ความร้อนที่จุดต่อด้านหนึ่ง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรของเส้นลวดดังรูป (2.2ก) ค่าของกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และเมื่อเป็นวงจรเปิดจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น เรียก แรงดันซีเบค (Seebeck voltage) ดังรูป (2.2ข)



(ก)

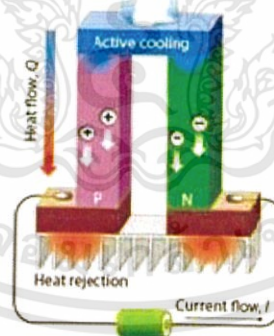


(ข)

รูปที่ 2.2 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบ็ค

2.1.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) เป็นปรากฏการณ์แบบย้อนกลับได้ของปรากฏการณ์ซีเบ็ค กล่าวคือ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรจะทำให้ปลายด้านหนึ่งร้อนขึ้น หรือมีอุณหภูมิสูงขึ้นและปลายอีกด้านหนึ่งจะเย็นลงหรือมีอุณหภูมิลดลง และถ้ากลับทิศทางการไหลของกระแสอุณหภูมิทั้งสองด้านจะกลับกันโดยด้านที่ร้อนจะเปลี่ยนเป็นเย็นและด้านที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.3



Peltier effect

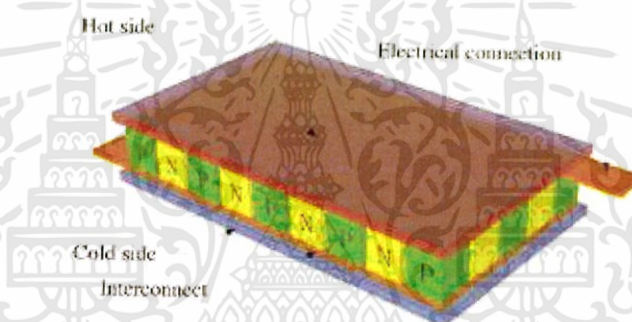
รูปที่ 2.3 วงจรการเกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric Module)

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจัดเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ทำความเย็น (Thermoelectric cooler) หรือถูกนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า (Thermoelectric generator) วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ตื้นนั้น ตามหลักควรจะเป็นวัสดุที่มีค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิที่สูง หรือมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาก ซึ่งคือวัสดุประเภทโลหะกับสารกึ่งตัวนำเนื่องจากมีประจุไฟฟ้าอิสระมาก ปัจจุบันเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นยังถือว่ามีประสิทธิภาพ (Efficiency) ที่ต่ำมาก และถือว่าต่ำที่สุดในบรรดาวิธีการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนทั้งหมด แต่เนื่องจากมีข้อเด่นในเรื่องของขนาดที่เล็กมากและไม่มีชิ้นส่วนขยับทำให้ปราศจากมลพิษทางเสียง จึงได้มีกลุ่มวิจัยส่วนหนึ่งยังคงศึกษาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้ดียิ่งขึ้น

2.2.1 โครงสร้างและประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล



รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีจะอยู่แบบเรียงกันเป็นคู่ มีโลหะนำไฟฟ้าเป็นจุดเชื่อม (Interconnect) ระหว่างสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิด ซึ่งประสิทธิภาพของวัสดุพิจารณาจากค่า Figure of merit (Z) โดยมีนิยาม คือ

$$Z = \frac{S^2 \sigma}{k} \quad (2.1)$$

โดยที่ S คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบค (Seebeck coefficient)

σ คือ สภาพนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

k คือ สภาพนำความร้อน (Thermal conductivity)

จากผลการวิจัยและพัฒนาด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารกึ่งตัวนำมีการพบว่าประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

- สามารถให้สภาพนำไฟฟ้าสูงแต่เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อย (ความร้อนเกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า)
- สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นความเย็นได้มาก
- มีสภาพนำความร้อนต่ำ เพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ

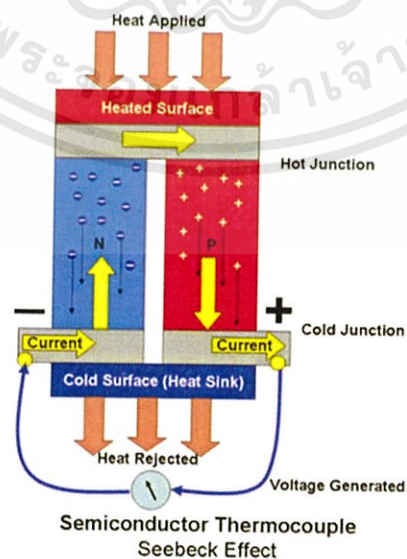
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่า ZT ที่อุณหภูมิต่างๆ

Material	Type	ZT value	Operating Temperature
<i>Bi - doped PbSeTe / PbTe (QDSL)</i>	n-type	3	550 K
<i>In_{0.2}Ce_{0.15}Co₄Sb₁₂Skutterudite</i>	n-type	1.43	800 K
<i>Pb_{0.25}Sn_{0.25}Ge_{0.5}Te</i>	p-type	- 0.95	670 K
<i>(Bi_{0.25}Sb_{0.75})₂Te₃</i>	p-type	- 1.27	298 K
<i>Bi₂(Te_{0.94}Se_{0.06})₃</i>	n-type	1.25	298 K
<i>K_{0.95}Pb₂₀Sb_{1.2}Te₂₂</i>	n-type	- 1.6	750 K
<i>PbTe - SrTe</i>	p-type	1.7	~800 K
<i>Binary crystalline In₄Se_{3-δ}</i>	n-type	1.48	~705 K
<i>AgPb_mSbTe_{2+m}</i>	n-type	- 2.2	800 K

2.2.2 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้นสามารถทำงานได้ 2 แบบดังนี้

- 1) การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEG (Thermoelectric Generator)

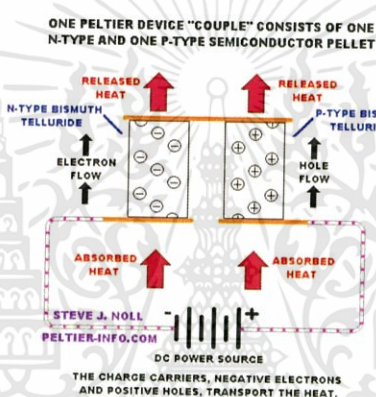


รูปที่ 2.5 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมตผลิตไฟฟ้าจะเป็นโหมตที่ใช้ความร้อนไปผลิตกระแสไฟฟ้าจากหลักของปรากฏการณ์ซีเบค โหมตนี้จะทำงานเมื่ออุณหภูมิของทั้งสองข้างของโมดูลแตกต่างกัน จากรูปที่ 2.5 จะให้ความร้อนที่ด้านบน และระบายความร้อนออกที่ด้านล่างทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยที่ด้านบนมีอุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้พาหะข้างมากบริเวณนั้นมีพลังงานสูงตามไปด้วย พาหะข้างมากจะแพร่ลงมาด้านล่างที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยพาหะข้างมากอิเล็กตรอนของชนิดเอ็นจะทำให้เกิดกระแสในทิศทางขึ้นด้านบนและพาหะโฮลของชนิดพีจะทำให้เกิดกระแสทิศเดียวกันลงด้านล่าง เมื่อสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีมีโลหะที่นำไฟฟ้ามาเชื่อมเป็นจุดต่อและทำให้เป็นวงจรปิดกระแสจะไหลได้ครบวงจรในทิศตามเข็มนาฬิกา

2) การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEC (Thermoelectric Cooler)

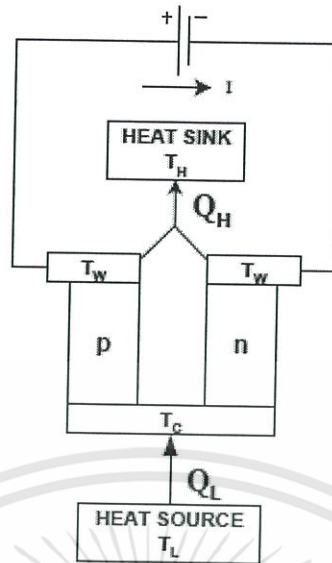


รูปที่ 2.6 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEC

การทำงานของโหมตนี้พัฒนามาจากปรากฏการณ์เพลเทียร์ เป็นระบบทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ ซึ่งระบบนี้จะแตกต่างจากระบบทำความเย็นแบบที่ใช้กันทั่วไปเนื่องจากไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว ไม่มีเสียงรบกวน การทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ต้องการเพียงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันและกระแสไฟฟ้าพร้อมทั้งระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมหรือน้ำ ที่เหมาะสมกับการสูบปริมาณความร้อนของเซลล์ออกจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็นโดยจัดวงจรตามแผนภาพดังรูปที่ 2.6

2.3 หลักการทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโมดูลซึ่งยกมาอธิบายเพียงหนึ่งคู่พี เอ็นในลักษณะนี้จะเป็นการลดพลังงานของพาหะข้างมากของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิด กล่าวคือพาหะข้างมากของทั้งชนิดเอ็นและพีจะแพร่จากด้านล่าง (Cool Junction) พร้อมกับดูดความร้อนขึ้นมาด้านบน (Hot Junction) ทำให้ด้านล่างจะมีอุณหภูมิต่ำ และด้านบนจะมีอุณหภูมิสูง โดยที่กระแสจะไหลออกจากขั้วบวกของแหล่งจ่าย ไหลทิศทางเดียวกันกับพาหะข้างมากในชนิดพีหรือโฮล ผ่านโลหะตัวนำเข้าไปไหลสวนทางกับทิศทางกับพาหะข้างมากในชนิดเอ็นหรืออิเล็กตรอน แล้วเข้าขั้วลบของแหล่งจ่ายในลักษณะทิศสวนเข็มนาฬิกา หากกลับข้างแหล่งจ่ายทิศของกระแสจะกลับข้างด้านร้อนจะอยู่ด้านล่างและด้านเย็นก็จะอยู่ด้านบน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานโดยเทอร์โมอิเล็กทริก

โดยความร้อนที่ถูกปั๊มออกจากผิวเย็นไปยังผิวร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกจะถูกระบายออกไปยังสิ่งแวดล้อมด้วยฮีตซิงค์ นิยมเรียกว่าการทำงานโดยเทอร์โมอิเล็กทริก ฟังก์ชันการทำงานของฮีตซิงค์เป็นไปตามกฎพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิก โดยที่ฮีตซิงค์อุดมคติจะสามารถดูดกลืนความร้อนได้อย่างไม่จำกัดและมีอุณหภูมิคงที่ โดยทั่วไปแล้วการเลือกใช้ฮีตซิงค์ที่เหมาะสมเพื่อการระบายความร้อนมีหลายปัจจัยสำคัญที่จะต้องคำนึงถึง และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพหรือสมรรถนะการทำงาน

ในปี ค.ศ. 1998 Ferrotec Corporation ได้เสนอสมการสำหรับการทดลองวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบกับกำลังป้อนออก (Power Output) หรือพลังงานความร้อนต่อหน่วยเวลา (Heat energy per time) จากเทอร์โมอิเล็กทริกไปยังฮีตซิงค์ ดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 ดังนี้

$$Q_c = \bar{\alpha}IT_c - \bar{K}(T_h - T_c) - 0.5\bar{R}I^2 \quad (2.2)$$

$$P = I^2\bar{R} + \bar{\alpha}I(T_h - T_c) \quad (2.3)$$

เมื่อ S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Seebeck coefficient)

I คือ ไฟฟ้ากระแสตรง

R คือ ความต้านทานของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน

T_H คือ อุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน

T_c คือ อุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น

ค่า COP หรือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงาน (Coefficient of Performance) หมายถึง ค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการทำความเย็นของฮีตปั๊ม (Heat Pump) ซึ่งการคำนวณค่า COP ของฮีตปั๊ม (Heat Pump) มีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 2.4 ดังนี้

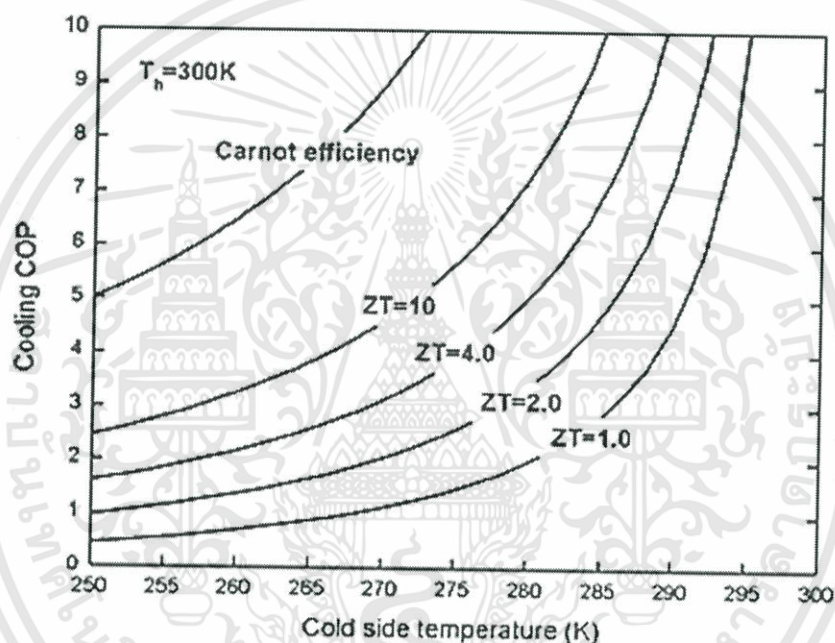
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(COP)_{c,max} = \frac{T_c}{T_h - T_c} \frac{\sqrt{1 + ZT_m} - \frac{T_h}{T_c}}{\sqrt{1 + ZT_m} + 1} \quad (2.4)$$

เมื่อ T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

ZT_m คือ ผลคูณของค่า Z กับค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T) ขณะทำงาน คือ ZT เรียกว่า “Dimensionless figure of merit” ซึ่งเราสามารถนำค่า ZT_m ระดับต่างๆ มาประยุกต์ใช้ได้กับการทดลอง ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงานกับอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล [4]

2.4 การประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาใช้งานในการทำความเย็น [5]

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการใช้ระบบปรับอากาศและทำความเย็นกันอย่างแพร่หลายและพบเห็นได้ในชีวิตประจำวันทั้งในระดับครัวเรือนจนถึงระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอาหารหรือการเกษตร ตั้งแต่การผลิตการถนอมอาหารและการแปรรูป ระบบปรับอากาศและทำความเย็นถือเป็นส่วนหนึ่งของการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลา ระบบปรับอากาศและทำความเย็นโดยการทำทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric cooling) ซึ่งเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่สามารถใช้สร้างความร้อนและความเย็นได้ โหมดการผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลด้านหนึ่งมาประกบเข้ากับแหล่งความร้อนที่สูญเสียต่างๆ เช่น เครื่องจักร เครื่องยนต์ประเภทใช้ได้ทั้งไฟฟ้าและน้ำมัน (Hybrid) ท่อไอเสีย คอมเพรสเซอร์แอร์ เตาความร้อน เป็นต้น ส่วนโหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้าก็จะมีบริษัทผู้ผลิตตู้เย็นเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ไม่ต้องใช้ สารทำความเย็น ไม่ต้องใช้คอมเพรสเซอร์แอร์ จึงสามารถเพิ่มพื้นที่บรรจุของในตู้เย็นเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังเงียบ ไม่มีเสียงดัง ในงานการตัดต่อสารพันธุกรรม DNA ก็มีการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลขนาดจิ๋วเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิที่แน่นอนในการตัดต่อได้อีกด้วย ซึ่งในการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวันนั้น จะมีการนำมาประยุกต์ใช้งานดังนี้

2.4.1 ตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

ตู้เย็นที่สร้างขึ้นสามารถทำความเย็นได้ต่ำสุดประมาณ $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งแม้ว่าจะไม่สามารถทำความเย็นได้ใกล้เคียงเทียบเท่ากับตู้เย็นแบบใช้คอมเพรสเซอร์ ค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงานของตู้ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นกับผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น ถึงแม้ว่าสัมประสิทธิ์ของการทำงานของตู้ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบอัดไอที่ใช้กันโดยทั่วไป แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อทำความเย็นในตู้เย็นมีความเป็นไปได้ด้วยข้อดีหลายประการคือประหยัดพลังงาน ไม่เกิดเสียงดังและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เพราะปราศจากสาร CFCs และข้อดีที่น่าสนใจสำหรับตู้ทำน้ำเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกก็คือ มีน้ำหนักเบา และต้องการการบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย ทำให้เหมาะสมในการใช้ตู้เย็นเล็กๆ ไว้เคลื่อนที่หรือตู้เย็นในรถยนต์ เป็นต้น

2.4.2 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

สำหรับการประยุกต์ใช้งานที่น่าสนใจของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกนั้น ได้แก่ การทำความเย็นและการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนต่างๆ มักใช้ประกบเป็นคู่ๆ และต่อเข้าเป็นแผง เนื่องจากว่า วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละชิ้นมีค่าต้านทานไฟฟ้าต่ำ เมื่อนำมาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อลดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้โดยต้องระวังการจัดเรียง เพื่อไม่ให้ขั้วร้อนและขั้วเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละชิ้นมาสัมผัสกันเองได้ แผงวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกนี้ได้รับความนิยมมากในการใช้งาน ทั้งอุปกรณ์ทำความเย็นและอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

2.4.3 เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้ในปัจจุบันนี้มีความทันสมัยและให้กำลังงานเพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนที่ดีและมีประสิทธิภาพ โดยน้ำหนักของอุปกรณ์ในระบบระบายความร้อนจะต้องมีน้ำหนักเบาและมีขนาดเล็กลง ซึ่งอาจจะทำได้โดยให้ตัวระบายความร้อนในการไหลเพิ่มขึ้น ดังนั้น การระบายความร้อนออกจากชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ไปยังตัวหล่อเย็น จึงมีความแตกต่างทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนไม่สูงจนเกินไป และไม่ทำให้เกิดความเครียดทางความร้อนแก่ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์มากนัก ที่สำคัญมากคือ การไหลผ่านของตัวหล่อเย็นจะต้องไม่มีสิ่งสกปรก หรือตะกอนเกาะตัวขวางทางเดินเอาไว้ ในการระบายความร้อนที่ดีและมีประสิทธิภาพ จะทำให้เครื่องยนต์มีกำลังเพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ระบบระบายความร้อน จึงทำหน้าที่ระบายความร้อนอย่างรวดเร็วเมื่อเครื่องยนต์กำลังร้อน และมันจะระบายความร้อนอย่างช้า ๆ หรือไม่ระบายความร้อนเลยในขณะที่เครื่องยนต์เย็นหรือกำลังอุ่นขึ้น

2.4.4 เครื่องปรับอากาศ

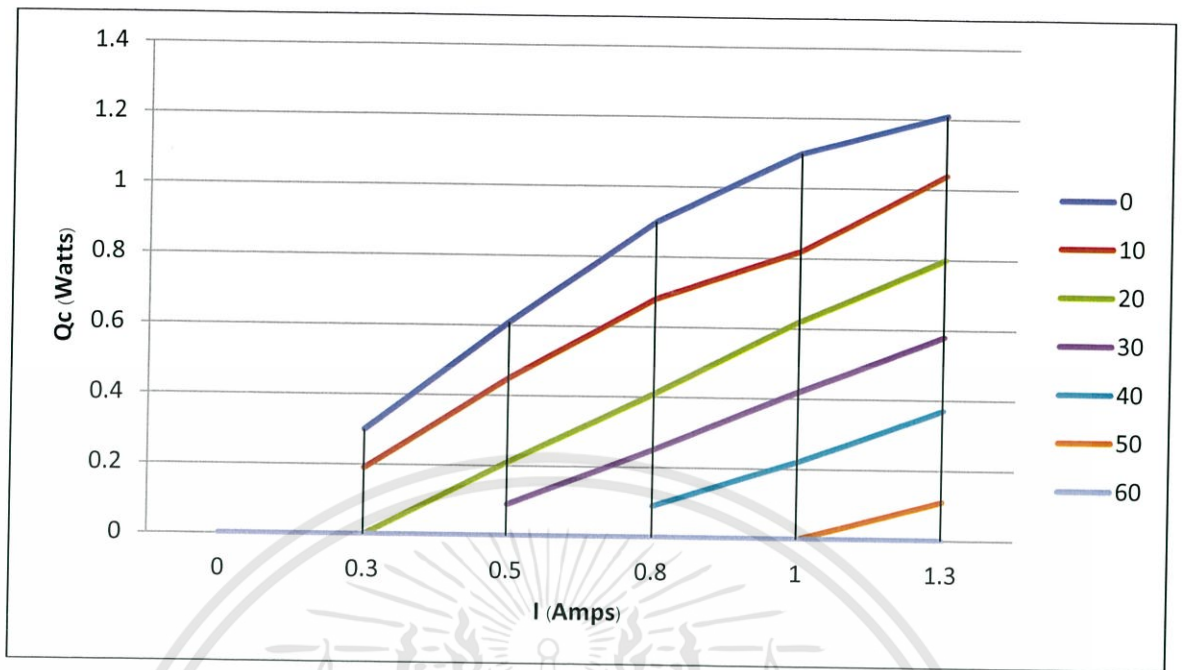
ระบบปรับอากาศมีความจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตในสมัยปัจจุบันนี้มาก เนื่องมาจากปัจจุบันนี้อุณหภูมิของโลกได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว สภาพอากาศในประเทศไทยก็มีอากาศร้อน ดังนั้น ในการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้งานให้เป็นเครื่องปรับอากาศนั้นทำได้โดยเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะผลิตกระแสไฟฟ้าจากความร้อน ซึ่งความร้อนที่นำมาใช้นั้นอาจมีต้นกำเนิดเป็นความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้งานประจำวันหรือจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

2.4.5 อื่นๆ

นอกจากการประยุกต์ใช้ระบายความร้อนและประยุกต์ใช้เป็นเครื่องทำความเย็นแบบพกพา การกระจายความร้อนและการควบคุมอุณหภูมิ ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในการใช้งานทางการแพทย์และทางวิทยาศาสตร์ เทอร์โมอิเล็กทริกยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยการผลิตความเย็นให้กับเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากระบบเทอร์โมอิเล็กทริกไม่มีการสิ้นเปลือง ไม่มีการรั่วของสารทำความเย็นในระบบ อีกทั้งยังมีการตอบสนองที่รวดเร็ว จึงเหมาะสมสำหรับการทำความเย็นให้แก่ชิ้นส่วนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น ซีพียู (CPU) และเลเซอร์ เป็นต้น โดยแผงวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดอยู่กับผิวสัมผัสของแหล่งความร้อน ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทั้งสองด้าน จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่นำไปใช้งานได้ ข้อดีของแผงเทอร์โมอิเล็กทริก คือ มีขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา และไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหว ทำให้เครื่องผลิตไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริกเหมาะกับขนบท่าทางไกล แทนที่จะใช้น้ำมันกลางทะเล โรงงานที่ตั้งในทะเลทราย ฯลฯ ความร้อนจากควันไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงนั้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยการติดตั้งแผงวงจรวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ท่อไอเสียรถยนต์ เพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยขับเคลื่อนรถยนต์ได้ ส่วนด้านที่สัมผัสกับด้านนอกก็จะเป็นด้านที่อุณหภูมิต่ำ อุปกรณ์ลักษณะเดียวกันนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้าถ่านหิน โรงงานเซรามิกส์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่ากำลังที่ดึงความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (วัตต์) และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลของแต่ละบริษัท

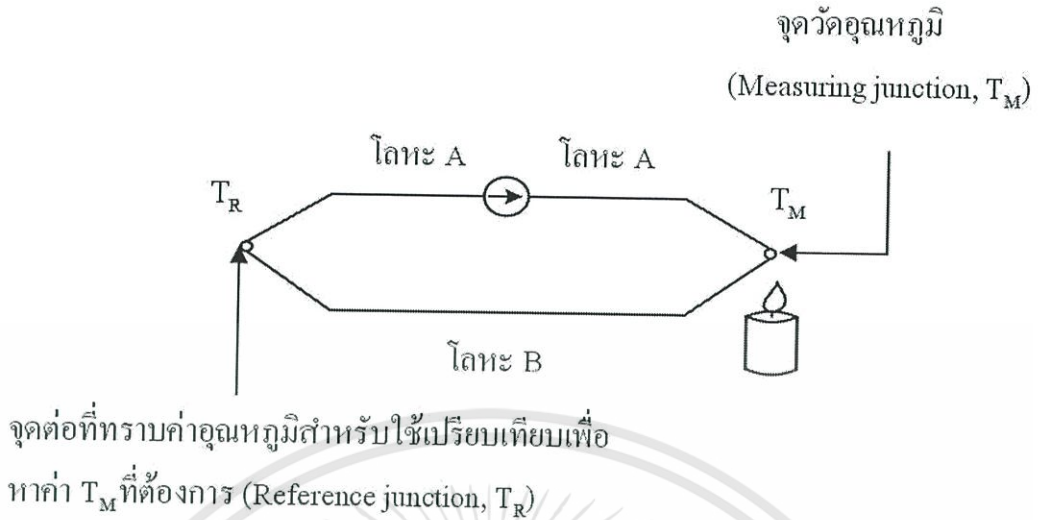
Module type	Company	$Q_{\max} (W)$	$\Delta T_{\max} (^{\circ}C)$	Dimensions (mm)
CP1.4-127-045	Melcor Corp.	7.4	75	40×40×3.8
CP1. 4-127-045L	Melcor Corp.	7.4	65	40×40×3.8
CP1.4-127-06L	Melcor Corp.	51.4	67	40×40×3.8
CP1.4-7-06L	Melcor Corp.	2.8	68	10×10×3.8
CP2-127-06	Melcor Corp.	120	68	62×62×4.6
CP2-127-06L	Melcor Corp.	120	67	62×62×4.6
HT8-12-40	Melcor Corp.	72	67	40×40×3.5
PT4-12-40	Melcor Corp.	32	67	40×40×4.1
TEC1-12706	HB Corp.	50	66	40×40×3.8
TEC1-12708	HB Corp.	71	66	40×40×3.5
TEC1-6308	HB Corp.	37.4	67	40×20×3.8
6L	Marlow Ind.	50	66	40×40×3.9
DT12-4	Marlow Ind.	36	66	30×30×3.3
UT8-12-40-RTV	Ultra TEC Series	72	-	-
TB-127-1.4-1.2	Kryotherm Corp.	75	70	40×40×3.5
TB-127-1.4-1.5	Kryotherm Corp.	60	70	40×40×3.9
TB-199-2.0-0.9	Kryotherm Corp.	310	69	62×62×3.2
TECA 980-127	TECA Corp.	83.2	72	15.7×15.7×1.3
9500/127/085B	Ferrotec Corp.	80	72	40×40×4
HM3930	Acetec Co.	16.7	69	30×30×4.7
CP10-127-05	Laird Tech.	34.2	67	30×30×3.2
TEFC1-020308	Thermonamic Electronics(Jiangxi) Corp.	1.9	71	6×8×2



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังที่ดึงความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (วัตต์) กับกระแสไฟฟ้า (แอมป์)

2.5 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

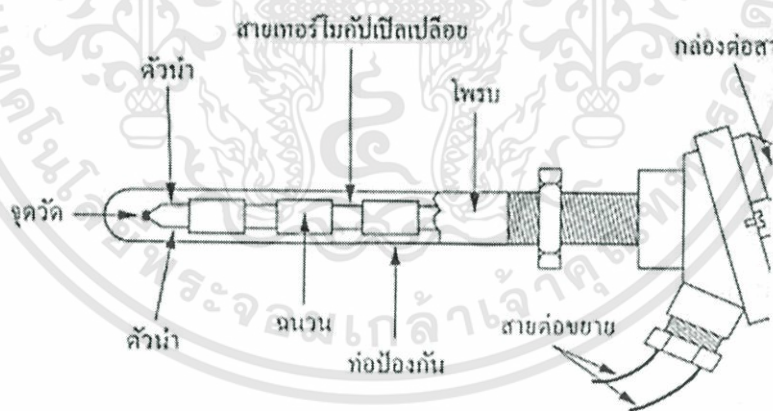
เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรือ เซนเซอร์ (Sensor) วัดอุณหภูมิ (Temperature) ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟฟ้า จัดเป็นทรานสดิวเซอร์ประเภทแอคทีฟ (active transducer) สามารถกำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้เองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุด โดยไม่จำเป็นต้องกระตุ้นด้วยแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอกเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง สามารถใช้งานได้โดยตรงในรูปของเครื่องมือวัด (Instrument) หรือการส่งสัญญาณทางด้านเอาต์พุตให้กับระบบควบคุม ซึ่งปรากฏการณ์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมคัปเปิล คือ ปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck effect) เทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยเส้นลวดโลหะตัวนำต่างชนิดสองเส้นต่อเข้าด้วยกัน [การเชื่อมต่อจุดวัดนี้จะส่งผลต่อช่วงเวลาการตอบสนอง (Response time) ของการอ่านค่า] ปลายข้างหนึ่งใช้เป็นจุดวัดอุณหภูมิหรือรอยต่อร้อน (Measuring junction หรือ Hot junction) ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งนำไปต่อกับมิเตอร์หรือวงจรอื่นๆ เพื่อแสดงผล เรียก รอยต่อเย็น (Cold junction) ใช้สำหรับเป็นจุดอ้างอิง (Reference junction) ที่จุดนี้ต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยเมื่อบริเวณจุดวัดอุณหภูมิได้รับความร้อนในขณะที่รอยต่อเย็นมีอุณหภูมิคงที่ ความต่างศักย์ระหว่างรอยต่อร้อนและรอยต่อเย็นที่เกิดขึ้น จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถวัดค่าและปรับให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิได้ โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะตัวนำของเทอร์โมคัปเปิลและอุณหภูมิที่จุดวัด ลักษณะวงจรของเทอร์โมคัปเปิลแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรของเทอร์โมคัปเปิล

2.5.1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples)

1) ความไว (Sensitivity) จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

2) โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 5 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกจึงใช้กันมาก ในอุปกรณ์ทำความเย็น (Peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก 10 ในสภาวะแวดล้อมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไม่คงที่จนถึงขนาด 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (Microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา

3) ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัวจะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

4) เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

5) การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

2.5.2 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Type)

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทแต่ในงาน โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ T

เทอร์โมคัปเปิลแบบ T เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิในย่านต่ำ เช่น การวัดอุณหภูมิในห้องเย็น (Cold storage) และตู้แช่แข็ง (Freezer) มีเสถียรภาพในการวัดที่ดี สามารถทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนและมีความชื้นได้ดี ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง

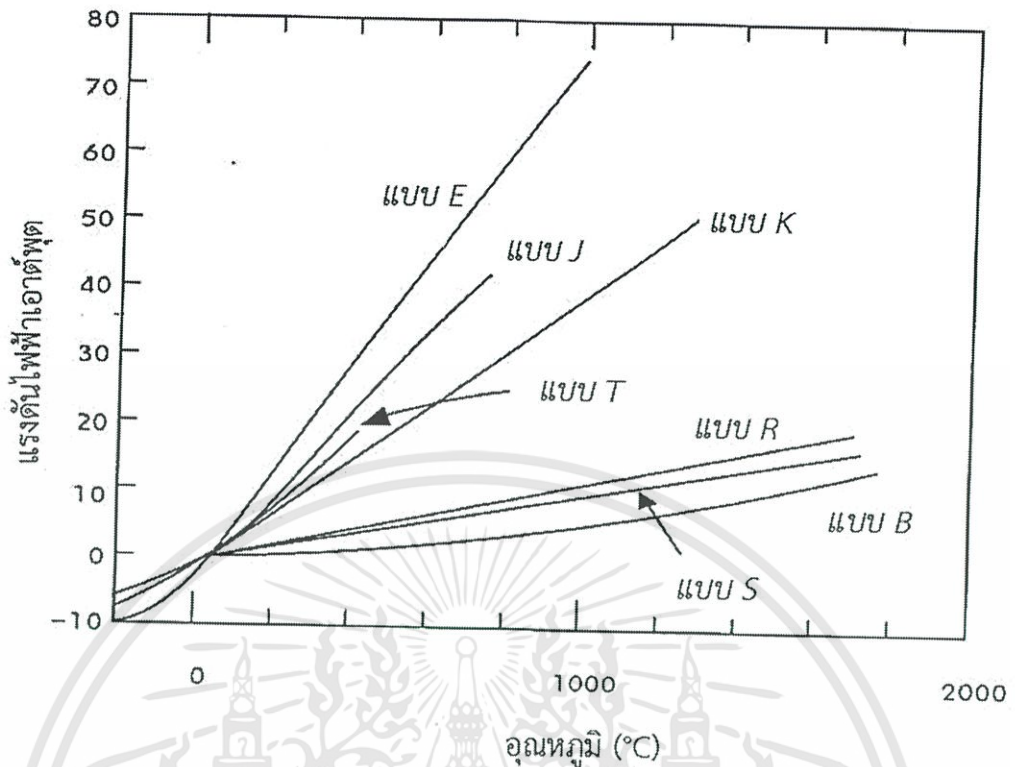
ข้อดีของเทอร์โมคัปเปิลแบบ T

ดีกว่าแบบ K ตรงที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่า นั่นคือเหมาะกับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่นในห้องเย็น ตู้แช่แข็งให้ความแน่นอนในการวัดดีกว่าแบบ K (ช่วงที่ต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส ความแน่นอนจะเป็น $\pm 1\%$) มีเสถียรภาพในการวัดอุณหภูมิ การวัดสภาพงานที่เป็นสุญญากาศงานที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิเดชันรีดิวซิงและงานที่มีปฏิกิริยาแบบเฉื่อยจะทำได้ดี วัดอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องได้จากช่วง -185 ถึง 300 องศาเซลเซียส และวัดอุณหภูมิแบบช่วงสั้นๆ ได้จากช่วง -250 ถึง 400 องศาเซลเซียส ทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนได้ดี

ข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิลแบบ T

เป็นแบบที่วัดอุณหภูมิช่วงบวกได้น้อยกว่าแบบอื่นๆ หากใช้วัดอุณหภูมิที่สูงกว่า 370 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดออกไซด์มาก ไม่เหมาะกับการวัดอุณหภูมิที่สัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง (ทำให้ส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำเปลี่ยนไป คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย) เมื่อใช้งานไปนานๆ ในช่วง 20 ปี ส่วนผสมของนิเกิลและสังกะสี จะเพิ่มประมาณ 10 % ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน คุณสมบัติของแรงเคลื่อนต่ออุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้น

เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานมี 7 แบบได้แก่ เทอร์โมคัปเปิลแบบ S R B J K T และ E สามารถพิจารณาชนิดของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานจากชนิดของโลหะตัวนำที่ทำเป็นเทอร์โมคัปเปิล แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานทั้ง 7 แบบ ที่อุณหภูมิ (Temperature) ต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่าง

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแต่ละแบบแสดงในตารางที่ 1 โดยชื่อแรก
ของโลหะตัวนำ หมายถึง ขั้วไฟฟ้าที่มีศักย์เป็นบวก (+) และชื่อหลังมีศักย์เป็นลบ (-) และตารางที่ 2
ย่านการใช้งาน และคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละแบบ

ตารางที่ 2.3 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่างๆ

มาตรฐาน	ชนิดของวัสดุตัวนำ
Type K	Nickel Chromium/Nickel Aluminium
Type J	Iron/Constantan
Type T	Copper/Constantan
Type E	Nickel Chromium/Constantan
Type N	Nicrosil/Nisil
Type R	Platinum 13%/Rhodium
Type S	Platinum 10%/Rhodium
Type B	Platinum 30%/Rhodium
*** Constantan: copper 60% + Nickel 40%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างย่านการใช้งานและคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน

ชนิดเทอร์โมคัปเปิล	ย่านอุณหภูมิใช้งาน (°C)	ย่านอุณหภูมิ (°C)	ค่าความผิดพลาด (°C)	ค่าความไวสูงสุด (โดยประมาณ) ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)
R	-50 ถึง 1768.1	-50.0 ถึง 250.0	-0.02 ถึง 0.02	6
		250.0 ถึง 1200.0	-0.005 ถึง 0.005	
		1064.0 ถึง 1664.5	-0.0005 ถึง 0.001	
		1664.5 ถึง 1768.1	-0.001 ถึง 0.002	
J	-210 ถึง 1200	-210.0 ถึง 0.0	-0.05 ถึง 0.03	50
		0.0 ถึง 760.0	-0.04 ถึง 0.04	
		760.0 ถึง 1200.0	-0.04 ถึง 0.03	
K	-270 ถึง 1372	-270.0 ถึง 0.0	-0.02 ถึง 0.04	50
		0.0 ถึง 500.0	-0.05 ถึง 0.04	
		500.0 ถึง 1372.0	-0.05 ถึง 0.06	
T	-270 ถึง 400	-200.0 ถึง 0.0	-0.02 ถึง 0.04	60
		0.0 ถึง 400.0	-0.03 ถึง 0.03	

2.5.3 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Type)

ในการใช้งานจริงบางครั้งระยะทางระหว่างจุดวัดและระบบควบคุมหรืออุปกรณ์แสดงผลอยู่ไกล ไม่นิยมใช้สายเทอร์โมคัปเปิลเชื่อมต่อโดยตรงเนื่องจากมีราคาแพง โดยสายที่นำมาใช้เชื่อมต่อนี้ ต้องมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าตามอุณหภูมิ (Thermoelectric) เหมือนกับเทอร์โมคัปเปิล ในการเลือกใช้สายต่อควรเลือกสายที่มีคุณสมบัติคล้ายกับโลหะของลวดเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด และเลือกให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมบริเวณใช้งาน จึงจะไม่ทำให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้คลาดเคลื่อน (Error) ไปมาก ไม่ควรใช้สายไฟธรรมดาเชื่อมต่อเพราะจะทำให้อุณหภูมิที่วัดได้คลาดเคลื่อน การเลือกใช้วัสดุทำเป็นฉนวนหุ้มสายเทอร์โมคัปเปิล ควรเลือกใช้ตามย่านการวัดและสภาวะแวดล้อมการใช้งานพีวีซี เหมาะสำหรับการใช้งานในสถานเปียกชื้นและมีอุณหภูมิต่ำ (-20 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส) เช่น ห้องเย็น ซิลิโคนและเทฟลอน เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส และมีสภาพเปียกชื้น อย่างไรก็ตาม ซิลิโคนไม่มี ความทนทานต่อรอยขีดข่วน ไฟเบอร์กลาส เหมาะสำหรับงานที่มีอุณหภูมิสูง (0 องศาเซลเซียส ถึง 270 องศาเซลเซียส) และสแตนเลสสตีล เหมาะสำหรับงานที่ต้องการการป้องกันสัญญาณรบกวนหรืองานที่ต้องเคลื่อนย้ายบ่อย ภายใต้สภาวะใช้งานที่อุณหภูมิสูง (0 องศาเซลเซียส ถึง 270 องศาเซลเซียส)

2.5.4 การเลือกใช้งานเทอร์โมคัปเปิล

เนื่องด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นในหลายด้านของเทอร์โมคัปเปิล จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในทุกวงการ การพิจารณาเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลแต่ละประเภท ให้เหมาะสมนั้น มีปัจจัยต่างๆ ที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยานการวัดอุณหภูมิ
- การทนต่อการกัดกร่อนและสารเคมี
- การทนต่อการสั่นสะเทือน
- จุดที่นำไปติดตั้ง เช่น อาจจะต้องมีการขันน็อต หรือมีรูเสียบ ฯลฯ

ตัวอย่างของเทอร์โมคัปเปิลรูปแบบต่างๆ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแสดงตามรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เทอร์โมคัปเปิลแบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม

2.6 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

2.6.1 ทฤษฎีการนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อนเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนตามหลักอุณหพลศาสตร์ จากบริเวณที่มีแหล่งอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน โดยการเคลื่อนที่แบบจลน์ (Kinetic-motion) หรือการชนกันโดยตรงของโมเลกุล แต่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นในของไหลที่หยุดนิ่ง ส่วนในของแข็ง หรือโลหะนั้นจะเป็นการไหลของอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งเคลื่อนไหวอยู่ภายในโครงสร้างของโมเลกุลเมื่อได้รับพลังงานความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ติดกันไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ กล่าวคือ เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านของแข็งหรือผ่านของไหลที่อยู่กับที่ อันเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน การนำความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา ในสภาวะคงตัวคำนวณได้จากกฎของฟูเรียร์ (Fourier's Law) เป็นดังสมการที่ 2.5 คือดังนี้

$$q^\circ = -k\Delta T \quad (2.5)$$

- เมื่อ q° คือ ค่าฟลักซ์ความร้อนมีหน่วย W/m^2
 k คือ สภาพนำความร้อน (Thermal conductivity)
 ΔT คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ

2.6.2 ทฤษฎีการพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านของไหลที่เคลื่อนที่ หรือระหว่างของไหลและผิวของแข็งที่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ วิธีการพาความร้อนแบบ Lumped Capacitance Validation วิธีนี้จะเป็นการวิเคราะห์ที่ไม่ขึ้นกับรูปร่างของวัตถุ มีสมมติฐาน คือ อุณหภูมิ โดยที่ภายในวัตถุทุกๆ จุดมีค่าสม่ำเสมอหรือมีค่าเท่ากันหมดที่เวลาใดๆ โดยทฤษฎีการพาความร้อนจะมีสมการของบีโธต์ เรียกว่า สมการบีโธต์ นัมเบอร์ (Biot Number) เป็นดังสมการที่ 2.6 ดังนี้

$$Bi = \frac{hL}{k} \quad (2.6)$$

สำหรับวัตถุแข็งในรูปของแผ่นสี่เหลี่ยม ทรงกระบอกยาว และทรงกลม การกระจายของอุณหภูมิระหว่างทรานเซียนภายในวัตถุแข็งที่อุณหภูมิจุดใดจุดหนึ่งสม่ำเสมอแล้ว จะมีค่าผิดพลาดน้อยกว่า 5% เป็นดังสมการที่ 2.7

ถ้า
$$Bi = \frac{hL_c}{k} < 1 \quad (2.7)$$

ระบบ Lumped capacitance สามารถใช้ได้ก็ต่อเมื่อ $Bi < 1$ เป็นดังสมการที่ 2.8

$$Bi = \frac{h}{(k/L_c)} \quad (2.8)$$

จากสูตร ความยาว คุณลักษณะ (characteristic length) เป็นดังสมการที่ 2.9

$$L_c = \frac{V}{A} \quad (2.9)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.9 ไปแทนค่าในสมการที่ 2.8 จะได้เป็นสมการ Biot Number ดังนี้

$$Bi = \frac{hV}{kA} \quad (2.10)$$

- เมื่อ k คือ สภาพนำความร้อน (Thermal conductivity)
 h คือ ประสิทธิภาพการนำความร้อน (Convection coefficient)
 V คือ ปริมาตร
 A คือ พื้นที่หน้าตัด

ซึ่งเป็นอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของวัตถุแข็งต่อค่าการนำความร้อนจำเพาะของวัตถุแข็ง ดังนั้นสมมติฐานของอุณหภูมิม้าเสมอภายในวัตถุแข็งใช้ได้ถ้าค่าการนำความร้อนจำเพาะของวัตถุมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ความร้อนที่ผิว

2.6.3 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

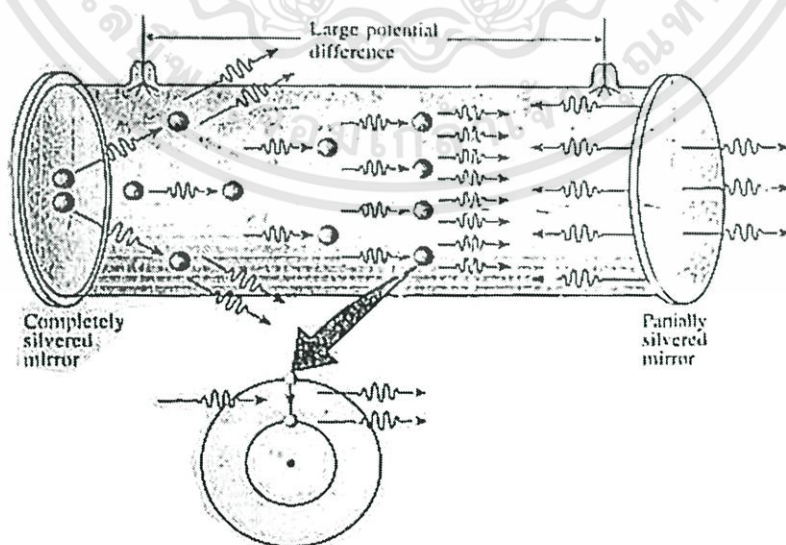
เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ดังเช่น การนำความร้อนและการพาความร้อน การแผ่รังสีจึงสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า -273°C หรือ 0 K ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาวตามการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีเกิดขึ้นโดยการปล่อยและการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากผิวตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกผิวตัวกลางหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน

2.7 ทฤษฎีหลักการทำงานของเลเซอร์

2.7.1 องค์ประกอบของเลเซอร์

องค์ประกอบที่สำคัญในการทำให้เกิดแสงเลเซอร์ มีดังนี้

- 1) วัสดุที่ต้องการการกระตุ้นให้ปล่อยแสงเลเซอร์ (อาจเป็นของแข็ง ของเหลว แก๊ส หรือสารประกอบ) ซึ่งเรียกว่า ตัวกลางเลเซอร์ (laser medium) หรือตัวกลางทำงาน (Working medium หรือ active medium)
- 2) การทำให้เกิดการกลับประชากร (Population inversion) ในตัวกลางทำงานโดยกระบวนการที่เรียกว่า การปั๊มเลเซอร์ (Laser pumping)
- 3) กระบวนการที่ทำให้เกิดการแกว่งกวัดเลเซอร์ (Laser oscillation) เพื่อเพิ่ม (Amplify) ความเข้มของกระบวนการปล่อยโฟตอนแบบกระตุ้นจนสามารถมีแสงเลเซอร์ออกมาได้ กระบวนการนี้ใช้กระจกเลเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดความสั่นพ้อง ดังรูปที่ 2.14 ที่แสดงข้างล่างนี้



รูปที่ 2.14 แสดงการการแกว่งกวัดเลเซอร์โดยใช้กระจกเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 สมบัติของแสงเลเซอร์

แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีสมบัติพิเศษแตกต่างจากแสงทั่วไป สมบัติดังกล่าวประกอบด้วย

1) เป็นแสงสีเดียว (Monochromatic city)

เพราะเป็นแสงที่เปล่งออกมาจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานที่เป็นชั้นพลังงานเดี่ยว (Discrete Energy Levels) ในระบบอะตอมหรือโมเลกุล ความถี่ของแสงมีค่าแน่นอนตามผลต่างของชั้นพลังงานทั้งสองและยังมีส่วนในการทำให้เกิด Stimulated Emission โดยอาศัยกลไกของการขยายสัญญาณแสงด้วย Optical Cavity จึงเกิดแสงที่มีความถี่เดียวกันอีกจำนวนมากจึงเป็นเหตุผลที่สามารถอธิบายได้ว่าทำไมแสงเลเซอร์จึงเป็นแสงสีเดียว

2) มีความพร้อมเพรียง (Coherence) หรือมีความต่างเฟสคงที่ตลอดเวลา คือความเป็นระเบียบของคลื่น คลื่นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันโดยมีเฟสเหมือนกัน (In Phase) จึงมีหน้าคลื่น (Wave Front) พร้อมกันเปรียบเสมือนกับแถวทหารที่เดินเป็นระเบียบเป็นหน้ากระดานพร้อมๆกัน คลื่นที่เป็นระเบียบย่อมมีพลังงานและโมเมนตัม เพราะพลังงานและโมเมนตัมของโฟตอนแต่ละตัวจะเสริมกันและมี Impact ในทิศทางเดียวกัน

3) มีทิศทางที่แน่นอน (Directionality)

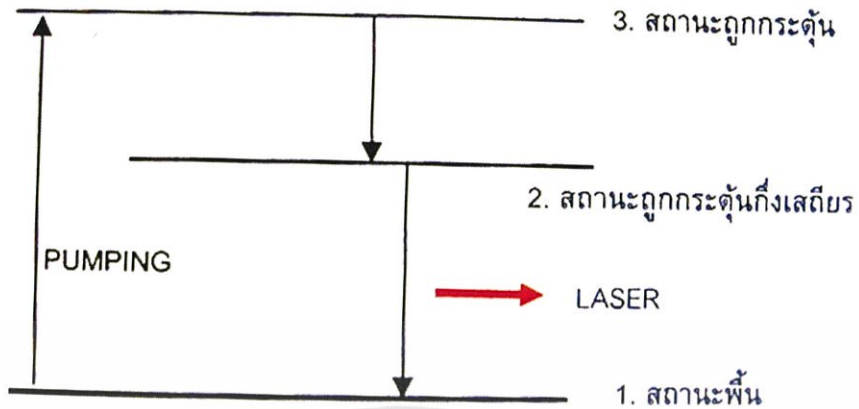
แสงเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงเป็นลำขนาน ความขนาดของลำแสงดีเลิศมี Beam Divergence เพียงเล็กน้อย ลำแสงที่ขนานจึงมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่แน่นอน และชี้ไปยังทางเดียวกัน ยังเป้าที่ต้องการได้ จึงมีประโยชน์ทางด้านเรดาร์ และการใช้งานอื่นๆ ที่ต้องอาศัยการมีทิศทางที่แน่นอน (Directionality) ของลำแสง ลำแสงที่ขนานอย่างสมบูรณ์แบบนี้หากนำไปโฟกัสเพื่อรวมแสงแล้ว จะได้จุดรวมแสงที่มีขนาดเล็กจิ๋วและความเข้มสูงมาก จึงมีประโยชน์ทางการเจาะตัดวัสดุที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง และรอยเจาะตัดที่คมชัด

4) มีความเข้ม (Intensity หรือ Brightness) สูงมาก

ซึ่งความเข้มหมายถึงกำลังของแสงเลเซอร์ที่ถูกปล่อยออกมาต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งมุมตัน (solid angle) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร- สเตอเรเดียน (w/cm – steradian) ด้วยสมบัติพิเศษเหล่านี้ ทำให้แสงเลเซอร์ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่นทางด้านการสื่อสาร การทหาร บันเทิง อุตสาหกรรม และการแพทย์

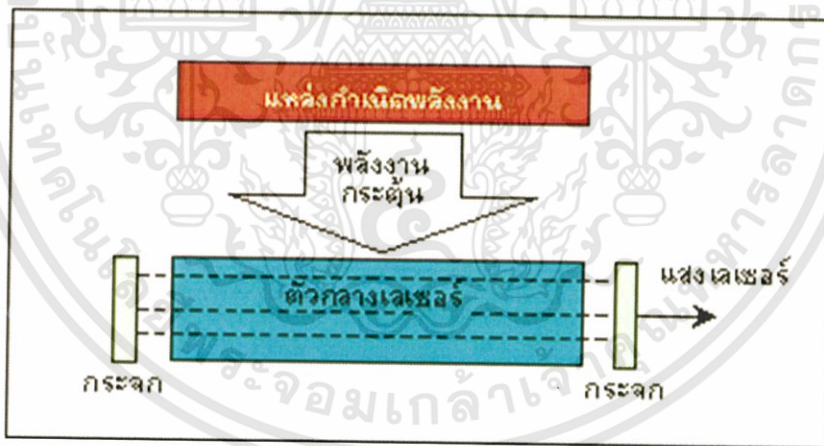
2.7.3 หลักการกำเนิดของเลเซอร์

สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองพลังงานที่มีสามสถานะ (Three Level Model) ดังนี้ เมื่อเลเซอร์ทำงานอิเล็กทรอนิกส์ในอะตอมจากสถานะพื้น (1) ถูกกระตุ้นโดยพลังงานภายนอก เช่น แสงไฟฟ้า ให้มีพลังงานสูงขึ้นไปยังสถานะถูกกระตุ้นที่ไม่เสถียร (3) ดังนั้น เมื่ออิเล็กทรอนิกส์อยู่ที่สถานะ (3) ชั่วขณะ มันจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงธรรมดาที่ไม่ใช่แสงอาพันธ์ เมื่ออิเล็กทรอนิกส์สูญเสียพลังงาน มันจะตกลงมาอยู่ที่สถานะถูกกระตุ้นกึ่งเสถียร (2) (Meta-stable state) อิเล็กตรอนจะอยู่สถานะนี้ได้ยาวนานพอประมาณ ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของสถานะที่ทำให้เกิดเลเซอร์ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 สถานะทั้งสามที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเลเซอร์

เมื่ออิเล็กตรอนจากสถานะ (2) กลับมาที่สถานะพื้น (1) มันจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง กลไกในเครื่องเลเซอร์ประกอบด้วยกระจกพิเศษ 2 บาน (บานหนึ่งสะท้อน 100% อีกบานสะท้อนไม่ถึง 100% แต่ให้ทะลุผ่านได้บ้าง) จะสะท้อนแสงกลับไปมาในเครื่อง ทำให้อะตอมตัวอื่นที่อยู่ในสถานะ (2) ปลดปล่อยแสงออกมาเสริมแสงเดิมที่ไปกระตุ้นทำให้ได้แสงในทิศเดียวกันที่มีความเข้มสูง เป็นแสงอาพันธ์ที่มีความถี่เดียวและเฟสตรงกัน นั่นคือแสงเลเซอร์



รูปที่ 2.16 รูปแสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดเลเซอร์

กระจกที่ทำหน้าที่เป็นออปติคัลเรโซเนเตอร์สองบานนั้น มีความสามารถในการสะท้อนแสงได้ต่างกันเล็กน้อย กล่าวคือ กระจกแผ่นหลังตัวกลางเลเซอร์สามารถสะท้อนแสงได้หมด ในขณะที่กระจกแผ่นหน้าสะท้อนแสงได้เกือบหมด โดยมีปริมาณแสงบางส่วนทะลุผ่านไปได้ แสงที่ทะลุผ่านออกไปก็คือแสงเลเซอร์

2.7.4 ชนิดของเลเซอร์

ปัจจุบันเราสามารถสร้างเลเซอร์โดยใช้ธาตุต่างๆ ได้มากมาย นอกจากธาตุบริสุทธิ์แล้ว สามารถสร้างเลเซอร์ได้จากการผสมธาตุหรือสารประกอบของธาตุเหล่านี้ได้อีกมาก แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเลเซอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเท่านั้น ดังที่ได้กล่าวแล้วว่า เราแบ่งประเภทของเลเซอร์ตามชนิดของตัวกลางเลเซอร์ที่ใช้ออกเป็น 4 แบบ ด้วยกันคือ เลเซอร์แก๊ส (Gas laser), เลเซอร์ของแข็ง (Solid state laser), เลเซอร์ของเหลว (Liquid laser) และเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor laser)

1) เลเซอร์แก๊ส (Gas laser)

เลเซอร์แก๊ส (Gas laser) ที่รู้จักกันดี เช่น ฮีเลียม - นีออนเลเซอร์ , คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ เป็นต้น เลเซอร์แบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ laser) เมื่อ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้รับพลังงานจากภายนอก เช่น โดยพลังงานไฟฟ้าหรือแสง หรือพลังงานจลน์ของอนุภาคอิเล็กตรอนกำลังสูง (Electron beam) โมเลกุลของก๊าซจะมีระดับชั้น พลังงานของการสั่นที่สูงขึ้น (ระดับ E₄) เมื่อมีการลดระดับพลังงานลงโดยการกระตุ้น จะทำให้เกิด แสงเลเซอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด คือ 10.6 μS กับ 9.6 μS ก่อนจะกลับลงสู่ระดับพื้น โดยในเลเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีก๊าซไนโตรเจนกับก๊าซฮีเลียมผสมอยู่ด้วย ซึ่งไนโตรเจน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการกระตุ้นพลังงานให้มีระดับชั้นพลังงานของการสั่นสูงชัน ส่วนก๊าซฮีเลียมจะช่วยในการระบายความร้อน

2) เลเซอร์ของแข็ง (Solid state laser)

เลเซอร์ของแข็ง ได้แก่ เลเซอร์ที่ใช้ตัวกลางเป็นของแข็ง เช่น เลเซอร์ทับทิม เลเซอร์แก้ว ฯลฯ ตัวกลางเหล่านี้ทำหน้าที่เป็น เนื้อวัสดุเจ้าบ้าน (Host Materials) เท่านั้น เพราะตัว ที่ทำให้เกิดการเปล่งแสงนั้นกำหนดจากสารเจือปนที่เติมในเนื้อสารเหล่านี้ เช่น ทับทิมจะใช้โครเมียม เป็นสารเจือปน ในการปั๊มพลังงานแก่ของแข็งเหล่านี้ ต้องใช้วิธีการทางแสงคือใช้หลอดไฟซินอนหรือ หลอดไฟทั้งสแตนดาร์ด โดยมีตัวสะท้อน แสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการปั๊มพลังงาน ตัวสะท้อนแสง นี้มีลักษณะเป็นกระจกที่มีพื้นหน้าตัดเป็นรูปวงรี และมีการวางหลอดไฟและตัวกลางเลเซอร์ไว้ที่ ตำแหน่งของจุดโฟกัสของวงรี

3) เลเซอร์ของเหลว (Liquid laser)

เราสามารถใช้ตัวกลางเลเซอร์ที่ทำจากของเหลวได้ เช่น ใช้สีย้อมผ้า (Dye) ผสมน้ำ หรือแอลกอฮอล์ บรรจุใส่ภาชนะใส การปั๊มพลังงานแก่ ของเหลวเหล่านี้ใช้วิธีทางแสงเช่นเดียวกับ ตัวกลางเลเซอร์ที่เป็นของแข็ง เช่น ใช้หลอดซินอนหรือเลเซอร์ไนโตรเจน เลเซอร์ของเหลวเหล่านี้จะมี จุดเด่นที่สำคัญ คือ เป็นเลเซอร์ที่ให้สีที่ตามองเห็น ค่าความยาวคลื่นของแสงสามารถปรับได้ จึงเป็นทูนเนเบิลเลเซอร์ (Tunable Laser) เพราะโมเลกุลของสีย้อมผ้ามีขนาดโต เนื่องจากเป็น สารอินทรีย์เคมีระดับพลังงานที่ซ้อนหลายชั้น ไม่ได้เป็นชั้น เดียวๆ เหมือนกรณีของก๊าซหรือของแข็ง

4) เลเซอร์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor laser)

เป็นเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ ทำด้วยรอยต่อ พี-เอ็น ที่มีขนาดเล็กมาก เลเซอร์แบบนี้จะให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด คือ ประมาณ 800 - 900 nm

นอกจากเลเซอร์ 4 แบบ ดังกล่าวนี้แล้ว ยังมีเลเซอร์อีกหลายชนิดที่ได้รับการพัฒนา และค้นพบในภายหลัง เช่น เอกไซเมอร์เลเซอร์ (Excimer laser) ซึ่งตัวกลางเลเซอร์ประกอบด้วย อะตอมของแก๊สหายาก (rare gas) เช่น Xe, Ar, Kr และอะตอมของ halogen หรือ halide เช่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cl, F, Br ตัวอย่างของเลเซอร์แบบนี้ ได้แก่ XeF, XeCl, ArF, KrF ซึ่งให้แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากว่าตัวกลางเลเซอร์อยู่ในสถานะของแก๊สหรือไอ ดังนั้น จึงอาจจะจัดอยู่ในประเภทเลเซอร์แก๊สได้

2.7.5 การประยุกต์เลเซอร์

ปัจจุบันได้มีการนำเลเซอร์มาประยุกต์ใช้งานหลากหลายด้าน ดังนี้

1) ด้านการผลิตทางอุตสาหกรรม

ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมที่มีการนำเลเซอร์ไปประยุกต์ ได้แก่ อุตสาหกรรมโลหะ พลาสติก เซรามิก ซึ่งใช้เลเซอร์ในการเชื่อม ตัด เจาะ สกัดและการใช้ความร้อนหรือการอบผิวโลหะเพื่อทำให้แข็ง นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ จะใช้เลเซอร์ในการเชื่อมอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น การเชื่อมขาตัวเก็บประจุ การเชื่อมตะกั่วบนแผงวงจร และการตัดตัวต้านทาน (Resistor trimming) เป็นต้น

2) ด้านการแพทย์

เลเซอร์ที่ใช้ทางการแพทย์ ได้แก่ CO₂ laser กำลังต่ำ เนื่องจากเลเซอร์นี้ให้ความร้อน ดังนั้นจึงใช้ในการผ่าตัดเนื้อเยื่อทุกชนิดโดยการทำให้เนื้อเยื่อเกิดการสลายหลุดไปโดยอิทธิพลของความร้อน ในการนำเลเซอร์มาใช้งานด้านการแพทย์ เลเซอร์เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเชื่อมเส้นเลือดอุดตันในเรตินา เพราะมันทำให้อุณหภูมิที่บริเวณเส้นเลือดสูงขึ้นเพียง 15-20°C โดยไม่ทำลายเนื้อเยื่อโดยรอบ

3) งานวิจัยและพัฒนา

กล่าวได้ว่ามีการใช้เลเซอร์ในงานวิจัย และพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะทางด้านสเปกโตรสโคปี ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานทางด้านเคมี เป็นการศึกษาธรรมชาติและโครงสร้างของอะตอมหรือโมเลกุล กระบวนการปฏิกิริยาทางเคมีและการแยกไอโซโทป

4) การทหาร

แบ่งเป็น 2 ด้านใหญ่ๆ คือ แบบไม่ทำลาย และในการทำลาย หรือที่เรียกว่าอาวุธเลเซอร์ แยกเป็น 2 หัวข้อย่อยดังนี้

4.1) แบบไม่ทำลาย คือ ใช้เลเซอร์ในการยิงจรวดนำวิถีและทิ้งระเบิดในการตรวจหาเป้าหมายหรือวัดระยะทางของเป้า ซึ่งมีทั้งแบบมือถือและแบบติดรถถัง สำหรับเลเซอร์ที่ใช้งานทางด้านทั้งสองนี้ได้แก่ Nd : YAG laser

4.2) ในการทำลาย หรือที่เรียกว่าอาวุธเลเซอร์ โดยเลเซอร์ที่ใช้จะต้องมีกำลังสูงกว่า 20 กิโลวัตต์ขึ้นไป เลเซอร์ที่ใช้เป็นอาวุธทำลายเป้าหมาย เช่น รถถังและเครื่องบิน ได้แก่ CO₂, Gas dynamic laser, Chemical laser และ Free electron laser เป็นต้น

5) การสื่อสาร

การสื่อสารในปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้คลื่นไมโครเวฟ หรือใช้โทรศัพท์ อย่างไรก็ตามหลังจากที่มีการพัฒนาเลเซอร์ไดโอด (Semiconductor diode laser) และเส้นใยแก้วนำแสง (Optical fiber) แล้วการสื่อสารด้วยแสง (Optical communication) หรือการส่งข้อมูลข่าวสารจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งหรือระหว่างเมืองต่างๆ ก็เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ในอนาคตการสื่อสารด้วยเลเซอร์จะเข้ามาแทนที่ระบบโทรศัพท์ที่ใช้ลวดตัวนำที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

6) การวัดและควบคุม

การใช้เลเซอร์ในการวัด นับ ทดสอบ ตรวจสอบและควบคุม ทั้งในกระบวนการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตและในงานวิทยาศาสตร์ เช่น การตรวจสอบยางล้อเครื่องบินแบบไม่ทำลายโดยวิธีโฮโลกราฟี (Holography) การวัดปริมาณมลภาวะเพื่อหาปริมาณของสารต่างๆ ในบรรยากาศ

7) ด้านบันเทิง

ปัจจุบันได้มีการนำเลเซอร์ไปใช้ในบาร์และไนท์คลับอย่างกว้างขวาง ซึ่งเลเซอร์ที่ใช้ได้แก่ He-Ne laser, Ar laser และ Kr laser ซึ่งให้แสงสีต่างๆกัน โดยการใช้เลเซอร์ในการสร้างภาพ การเขียนตัวหนังสือเป็นภาพ 3 มิติ รวมทั้งการควบคุมให้ภาพสีที่สร้างหรือตัวหนังสือเคลื่อนไหวได้ตามจังหวะดนตรีประกอบที่ต้องการ

8) การเก็บข้อมูลโดยใช้แสง

กรรมวิธีการบันทึกสัญญาณดิจิทัลหรือการเขียนข้อมูล โดยใช้แสงเลเซอร์ลงบนแผ่นดิสก์ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของ Optical video disk (หรือ Laser disc) compact disc และ Magneto-optic media โดยที่แผ่นดิสก์สามารถบันทึกได้ทั้งสัญญาณเสียง ภาพ และหนังสือสำหรับแผ่นดิสก์ 1 แผ่น ขนาด 12" - 14" สามารถบันทึกข้อมูลได้ระหว่าง 1000 - 4000 MB หรือมากกว่านี้

9) การพิมพ์และกราฟฟิก

งานด้านอุตสาหกรรมที่ใช้เลเซอร์และมีการขยายตัวเร็วมาก ได้แก่ งานทางด้านกราฟฟิก เครื่องพิมพ์ด้วยเลเซอร์ ซึ่งสามารถพิมพ์ได้อย่างรวดเร็วและพิมพ์ได้มากกว่า 1 หน้า ต่อ 1 วินาที

10) การตรวจแถบรหัส (Barcode scanner)

สินค้าต่างๆ ที่วางขายตามซูเปอร์มาร์เก็ต มักจะมีรหัสบอกราคาสินค้าเป็นแถบดำขาว (barcode) สลับกันตามราคาสินค้า เมื่อผู้ซื้อนำสินค้ามาที่โต๊ะจ่ายเงิน พนักงานที่คิดเงินจะใช้เลเซอร์อ่านแถบรหัส ซึ่งจะบอกราคาสินค้าอย่างรวดเร็วแทนที่จะใช้เครื่องคำนวณซึ่งช้ากว่า และโดยวิธีเก่านั้นเมื่อพนักงานทำงานต่อเนื่องทั้งวัน จะมีโอกาสที่กดเครื่องคำนวณเพื่อคิดราคาผิดพลาดได้

2.8 ไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis, FEA) ได้เข้ามามีอิทธิพลต่อการออกแบบงานด้านวิศวกรรม ในปัจจุบันวิศวกรในภาคอุตสาหกรรมต่างๆพึ่งพาการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์เพื่อป้องกันปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นจากการออกแบบได้โดยตรงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อหลีกเลี่ยงการทดลองที่ไม่จำเป็นและที่สำคัญชิ้นงานที่ออกแบบขึ้นมานั้นจะมีความถูกต้องและให้ประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการใช้งานต่างๆ และทำการแก้ปัญหาโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์

2.8.1 องค์ประกอบของความรู้ที่จำเป็น

องค์ประกอบของความรู้มี 5 ประการดังต่อไปนี้

1) ความเข้าใจในสมการเชิงอนุพันธ์

ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ล้วนตั้งอยู่บนรากฐานของสมการเชิงอนุพันธ์ ยกตัวอย่างเช่น อสมการ T บนแผ่นเหล็กซึ่งวางตัวอยู่ในระนาบ x-y นั้นสามารถหามาได้จากความจริงที่ว่า ณ ตำแหน่งใดๆบนแผ่นเหล็กนี้ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านเข้าและออกต้องเท่ากัน นั่นคือ

พลังงานไม่สูญหายไปไหน ความจริงเช่นนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์ได้ เช่น $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$

การศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยจึงบังคับให้เรียนวิชาทางคณิตศาสตร์เช่น แคลคูลัส และสมการเชิงอนุพันธ์ เพื่อแก้สมการหาผลลัพธ์ของอุณหภูมิซึ่งเป็นฟังก์ชันของ x และ y จะมีลักษณะเป็นเช่นไร

ในทำนองเดียวกัน หากแผ่นเหล็กเดียวกันนี้ถูกตั้งด้วยแรงตลอดขอบตรงข้ามทั้งสองด้าน แผ่นเหล็กจะเสียรูปและเกิดความเค้นขึ้นตามมา การวิเคราะห์หาลักษณะการเสียรูปและความเค้นนั้นทำได้จากการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยอีกเช่นกันแต่หากอยู่ในรูปแบบที่ต่างกันซึ่งบอกถึงผลรวมของแรง ณ จุด ใดๆ บนแผ่นเหล็กนี้ต้องอยู่ในภาวะที่สมดุลไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์จึงแบ่งไปด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ตั้งต้นที่สอดคล้องกันสมอดังนั้นก่อนที่จะนำไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ใดๆมาใช้จึงจำเป็นต้องรู้ว่าไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์นั้นถูกประดิษฐ์ขึ้นเพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์แบบใดที่สอดคล้องกับปัญหา

2) ความเข้าใจในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

หัวใจของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ เพื่อหาผลลัพธ์ขั้นตอนการเปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ไปสู่สมการพีชคณิตเพื่อให้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีความถูกต้องมากที่สุด

3) ความเข้าใจในระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

สมการพีชคณิตอันเป็นผลมาจากการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์นั้นต้องใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขอันประกอบด้วยกระบวนการอย่างเป็นขั้นเป็นตอนมาแก้เพื่อหาคำตอบ ความรู้ความเข้าใจในระเบียบวิธีเชิงตัวเลขจะทำให้ผู้ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์เกิดความเข้าใจและทราบล่วงหน้าก่อนการวิเคราะห์ว่าเป็นปัญหาชนิดใด ใช้เวลามากแค่ไหน

4) ความเข้าใจในการประดิษฐ์ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

ด้วยประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันทำให้การแก้ปัญหาขนาดใหญ่เป็นไปได้ด้วยความรวดเร็วการประดิษฐ์ไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นในการลดเวลาของการคำนวณและจัดข้อผิดพลาดที่เคยทำด้วยมือหรือด้วยเครื่องคิดเลข ขั้นตอนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นเหมือนกับการทำด้วยมือ หากผู้ใช้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และสามารถเขียนโปรแกรมเองได้ก็สามารถประดิษฐ์ไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ด้วยตนเอง

5) ประสบการณ์ในการใช้คอมพิวเตอร์

ประสบการณ์ในการใช้คอมพิวเตอร์มีผลอย่างมากต่อการวิเคราะห์ปัญหา ความเข้าใจในระบบและศักยภาพของคอมพิวเตอร์มีผลอย่างมากต่อการทำงาน

2.8.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน

- 1) การแบ่งโดเมนของปัญหาของเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ
- 2) การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ การเลือกใช้เอลิเมนต์ชนิดต่างๆกันมีผลโดยตรงกับผลลัพธ์ที่จะคำนวณได้
- 3) การประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์
- 4) การรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้ระบบสมการใหญ่
- 5) การคำนวณหาค่าอื่นๆ ที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ มี 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังนี้

1) กระบวนการขั้นต้น

คือการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์จากรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของปัญหา จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตก่อนวิเคราะห์ปัญหานั้น

2) การบวนการวิเคราะห์

ต่างๆของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นและเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดไว้ในขั้นแรก จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ |จะสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหานั้นสำหรับทุกๆเอลิเมนต์ก่อนที่จะนำมาประกอบเข้าด้วยกันขึ้นเป็นระบบสมการรวมขนาดใหญ่

3) กระบวนการขั้นท้าย

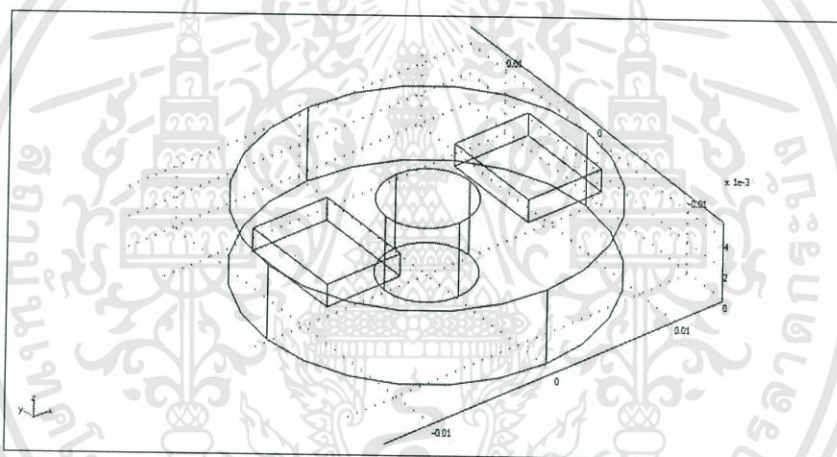
กระบวนการขั้นท้ายมีความจำเป็น รูปแบบของการแสดงผลลัพธ์นั้นมีหลายชนิด นับตั้งแต่การแสดงด้วยแถบชั้นสี การแสดงด้วยเส้นชั้นสี เป็นต้น ทั้งบนรูปทรงเดิมหรือบนรูปทรงที่เสียรูปไปแล้วดังนั้นความเข้าใจในผลลัพธ์อันเป็นผลจากรูปทรงที่ได้ออกแบบไปบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงอย่างรวดเร็วทำให้ผู้ออกแบบเข้าใจในปัญหาและอาจก่อให้เกิดแนวคิดในการปรับรูปทรงเพื่อก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้ จะเป็นการออกแบบระบบระบายความร้อนให้กับเลเซอร์ ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาใช้ในการระบายความร้อนให้กับเลเซอร์ โดยอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆใน Housing จะมีการกระจายตัวของความร้อนที่แตกต่างกันเมื่อติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลไว้ ดังนั้นเพื่อเป็นการประเมินหาตำแหน่งที่เหมาะสมเบื้องต้นในการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จึงได้ทำการวิเคราะห์ถึงตำแหน่งและจำนวนในการวางเทอร์โมอิเล็กทริกบน Housing โดยใช้โปรแกรม Finite Element ดังนี้

3.1 การออกแบบโดยใช้กระบวนการแก้ไขปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

3.1.1 กระบวนการขั้นต้น

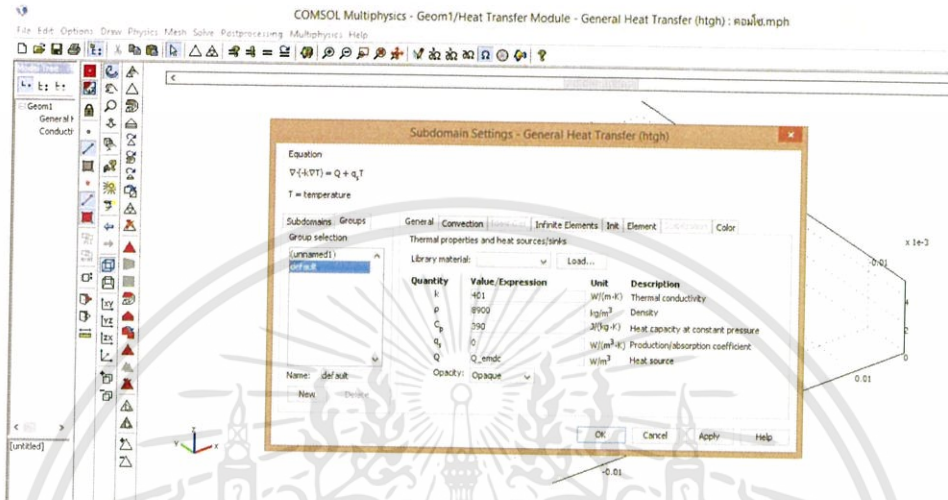


รูปที่ 3.1 รูปแบบชิ้นงานทรงเรขาคณิต

กระบวนการขั้นต้นนี้ จะเป็นการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์จากรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของชิ้นงาน ซึ่งข้อมูลเบื้องต้นสำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ต้องการ คือหมายเลขของเอลิเมนต์และหมายเลขของจุดต่อพร้อมทั้งค่าพิกัดของแต่ละจุดต่อ และข้อมูลอื่นๆที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ขั้นต่อไป ในส่วนของการออกแบบ Housing นั้นจะใช้วัสดุเป็นทองแดง เพราะทองแดงเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเด่นมากมาย โดยเฉพาะการนำความร้อนได้ดี มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี และสามารถแปรรูปด้วยวิธีต่างๆได้ง่าย ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้จึงได้นำทองแดงมาทำเป็น Housing เพื่อห่อหุ้มเลเซอร์ไว้ โดยขนาดของทองแดงที่นำไปกลึง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 mm. และหนา 2 mm.

3.1.2 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

ในขั้นตอนนี้จะมีการกำหนดขอบเขตให้กับชิ้นงาน เช่น ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity), ค่าความหนาแน่น (Density) หรือค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) เป็นต้น



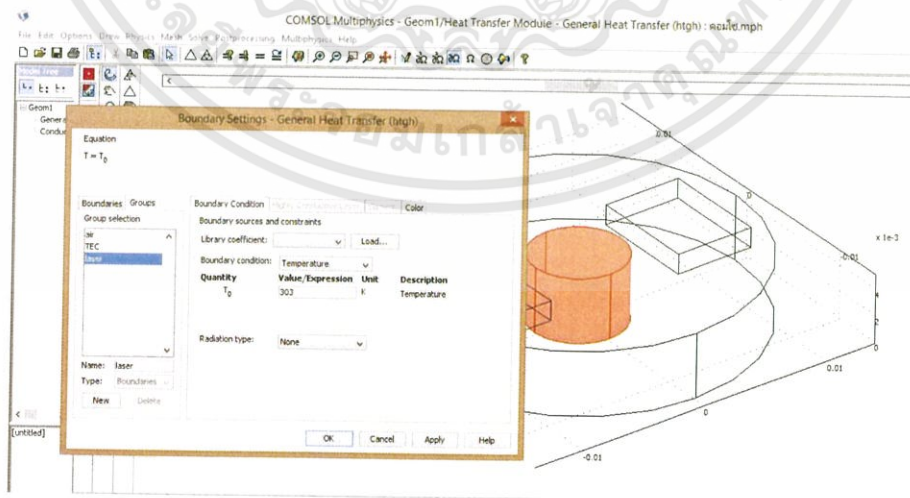
รูปที่ 3.2 การกำหนดค่า Subdomain ให้กับชิ้นงาน

จากรูปที่ 3.2 จะเป็นการกำหนดค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) , ค่าความหนาแน่น (Density) และค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ให้กับชิ้นงาน

หมายเหตุ : ค่าการนำความร้อนของทองแดง มีค่าเท่ากับ 401 W/mk

ค่าความหนาแน่นของทองแดง มีค่าเท่ากับ $8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

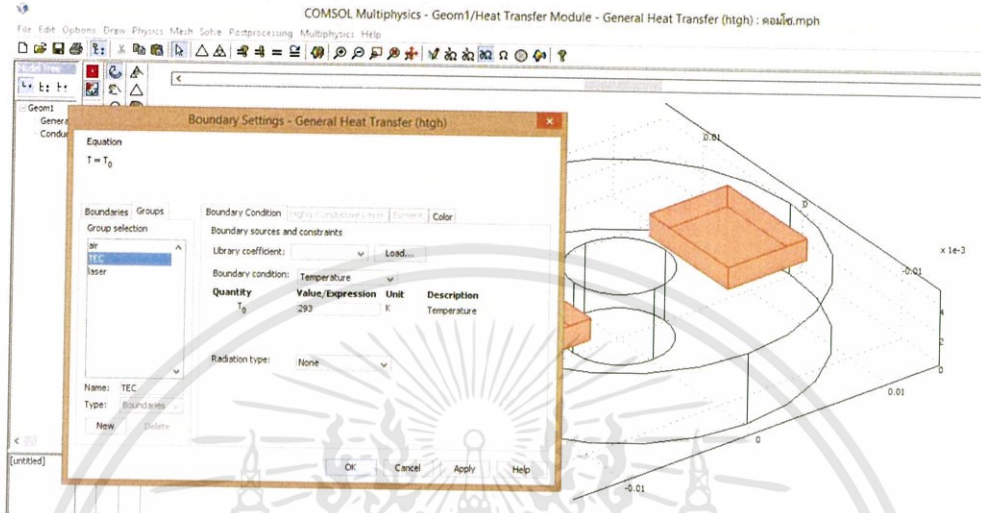
ค่าความจุความร้อนของทองแดง มีค่าเท่ากับ $0.39 \times 10^3 \text{ J/kg.k}$



รูปที่ 3.3 การกำหนดค่า Boundary ให้กับชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 จะเป็นการกำหนดคุณสมบัติของเลเซอร์และคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล โดยกำหนดให้อุณหภูมิของเลเซอร์เป็น 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลเป็น 30 องศาเซลเซียส

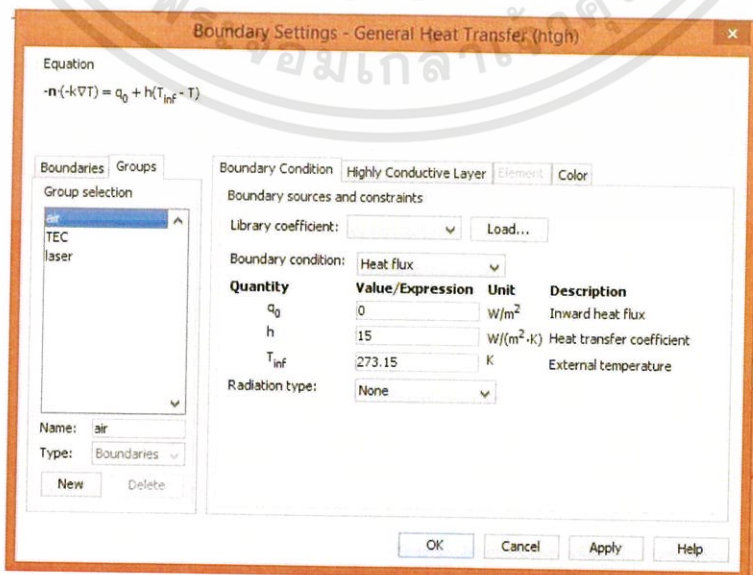


รูปที่ 3.4 การกำหนดค่า Boundary ให้กับชิ้นงาน

จากรูปที่ 3.4 จะเป็นการกำหนดคุณสมบัติของเลเซอร์และอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล โดยกำหนดให้อุณหภูมิของเลเซอร์เป็น 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลเป็น 30 องศาเซลเซียส

3.1.3 กระบวนการขึ้นท่าย

กระบวนการขึ้นท่าย จะเป็นการวิเคราะห์ผลจากในขั้นตอนที่ผ่านมา มีรูปแบบของการ แสดงผลลัพธ์หลายชนิด เช่น การแสดงด้วยแถบสี หรือการแสดงด้วยเส้นชั้นสี ผลลัพธ์ที่แสดงออกมา จะทำให้เราเข้าใจถึงการกระจายความร้อนของตัวชิ้นงานและปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานได้มากขึ้น



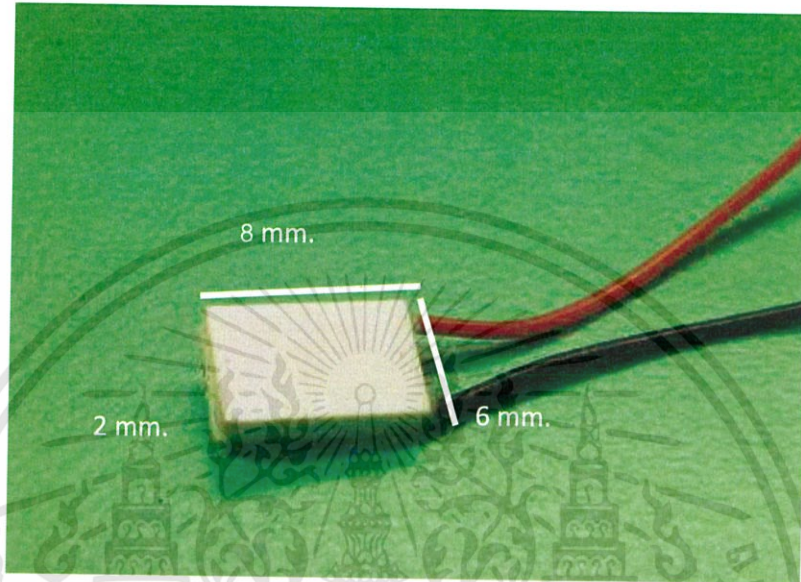
รูปที่ 3.5 การแสดงผลลัพธ์ของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการพิเศษ

3.2.1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

ในโครงการพิเศษนี้เลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEFC1-02312 ผลิตจากบริษัท Thermonamic Electronics (Jiangxi) Corp., Ltd. ดังรูปที่ 3.6 มีขนาด 6x8x2 มิลลิเมตร



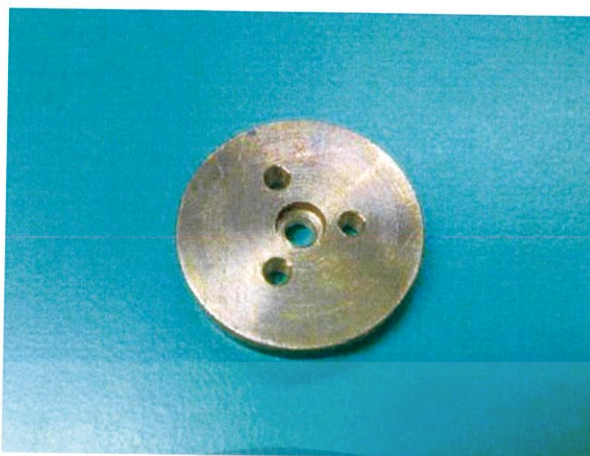
รูปที่ 3.6 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEFC1-02312

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของ เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEFC1-02312

Th (°C)	50	Hot Side temperature at environment :dry air,N ₂
DT _{max} (°C)	83	Temperature Difference between cold and hot side of the module when cooling capacity is zero at cold side
U _{max} (Voltage)	3.26	Voltage applied to the module at DT _{max}
I _{max} (Amps)	1.2	DC current through the modules at DT _{max}
Q _{Cmax} (Watts)	2.53	Cooling capacity at cold side of the module under DT = 0 °C
AC.resistance (Ohms)	2.1	The module resistance is tested under AC
Tolerance (%)	10 %	For thermal and electricity parameters

3.2.2 แผ่นทองแดง

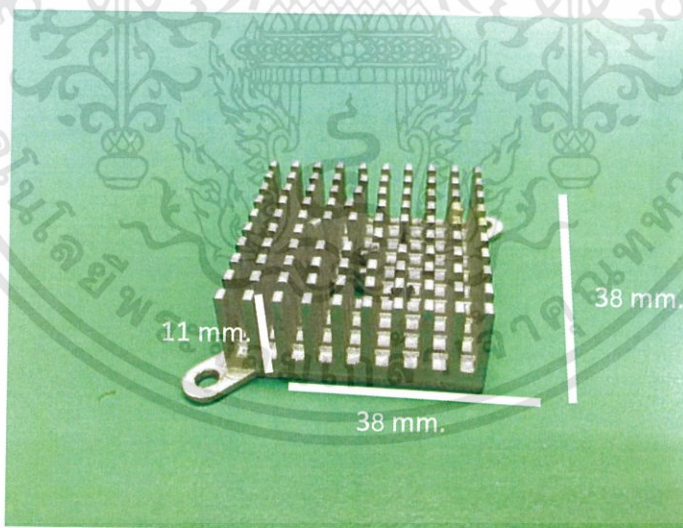
เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะอ่อนที่มีคุณสมบัติเด่นมากมายโดยเฉพาะการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี จึงจัดรูปเป็นรูปร่างต่างๆได้ง่าย ซึ่งในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการออกแบบ Housing โดยใช้แผ่นทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น เพื่อหุ้มไดโอดเลเซอร์ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 Housing ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร

3.2.3 Heat sink

ฮีทซิงค์ (Heat Sink) เป็นอุปกรณ์เพิ่มความเย็นหรือระบายความร้อนออกจากตัวอุปกรณ์โดยอาศัยหลักของอุณหพลศาสตร์ คือ พลังงานที่อุณหภูมิสูงจะไหลไปหาอุณหภูมิต่างๆ ส่วนมากทำมาจากวัสดุประเภทโลหะ ประสิทธิภาพของฮีทซิงค์ จะขึ้นอยู่กับ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) พื้นที่ผิวสัมผัสก็เป็นสิ่งที่สำคัญ ถ้าหากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากก็จะสามารถส่งถ่ายพลังงานความร้อนได้มาก ใช้ฮีทซิงค์ขนาดกว้าง 38 มิลลิเมตร ยาว 38 มิลลิเมตร สูง 11 มิลลิเมตร จำนวน 100 ครีบ

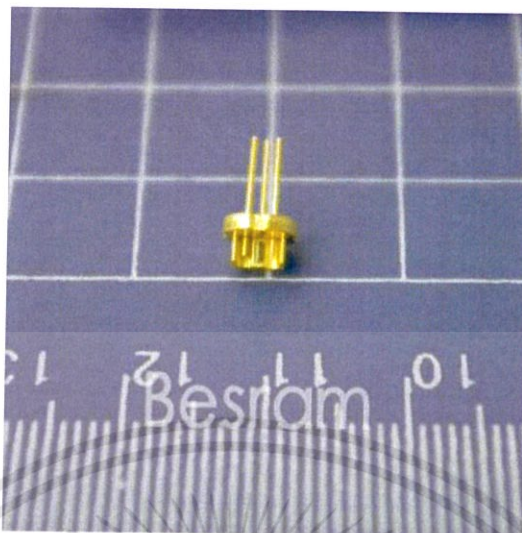


รูปที่ 3.8 Heat sink ขนาด 38 × 38 × 11 มิลลิเมตร

3.2.4 เลเซอร์

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เลเซอร์เป็น High Power Laser Diode รุ่น LPC-836 High Power เป็นเลเซอร์ที่มีสีแดง มีความยาวคลื่นประมาณ 650 nm โดยมีกำลังของเลเซอร์ 380 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 เลเซอร์รุ่น LPC-836 High Power 650nm Red Laser Diode: 380mW

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของเลเซอร์ รุ่น LPC-836

Wavelength	650 nm
Output Power CW	380 mW
Operating Current	< 340 mA
Operating Voltage	2.2-3.0 V
Maximum Operating Temperature	75 °C
Operating Temperature	32 °C

3.2.5 Thermocouple Type T

ในการตรวจจับอุณหภูมินั้นจะมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิหลายแบบแตกต่างกันไป โครงการพิเศษนี้จะเลือกใช้ Thermocouple ชนิด T มาใช้ในการวัดอุณหภูมิ ซึ่งเทอร์โมคัปเปิลแบบ T เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิในย่านต่ำ มีเสถียรภาพในการวัดที่ดี สามารถทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนและมีความชื้นได้ดี ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง



รูปที่ 3.10 Thermocouple ชนิด T

3.2.6 ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ เครื่อง NI 9211

ในระหว่างกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้น จะมีตัวแปรต่างๆที่ต้องศึกษามากมาย เช่น อุณหภูมิของแหล่งความร้อน (T_H) อุณหภูมิในการระบายความร้อน (T_C) รวมถึงค่ากระแสไฟฟ้า (I) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ฯลฯ ตัวแปรต่างๆเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดเก็บข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำโดยในโครงการพิเศษนี้ใช้เครื่อง NI 9211 บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทำได้ โดยเลือกใช้โปรแกรมมาตรฐานที่มีชื่อว่า LabVIEW ในการจัดเก็บสัญญาณและแสดงผลแบบ Real Time ข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บและนำมาวิเคราะห์เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของตัว TEC

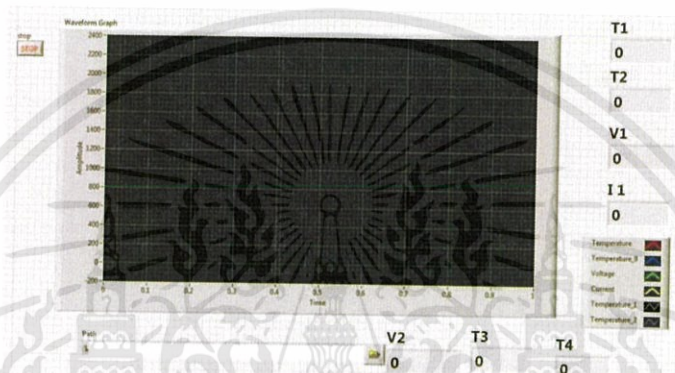


รูปที่ 3.11 NI9211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 โปรแกรม LAB VIEW

LabView ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในการจัดการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม ซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยจากรูปที่ 3.12 จะแสดงแผนภาพลักษณะของโปรแกรม LabVIEW ในการทำงานหากจะเริ่มดำเนินการบันทึกค่าให้กดลูกศร (RUN) กราฟการทดลองจะปรากฏที่ Waveform Graph ส่วนค่าตัวเลขผลการทดลองจะปรากฏที่ T1 แสดงค่าอุณหภูมิที่ด้านร้อน, T2 แสดงค่าอุณหภูมิที่ด้านเย็น, V1 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า, I1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า และกด STOP เมื่อสิ้นสุดการบันทึก



รูปที่ 3.12 โปรแกรม LabView

3.2.8 Cooler Master Silicon (ชนิดหลอด) Grease IC-Essential E2

IC-Essential E2 เป็นสารระบายความร้อนประสิทธิภาพสูงที่สามารถนำความร้อนได้เป็นอย่างดีและความทนทานต่อความร้อนต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้ เนื่องจากเป็นสารที่ไม่นำไฟฟ้า สามารถแผ่กระจายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับการระบายความร้อน โดยในงานวิจัยนี้ได้นำ IC-Essential E2 มาใช้ในการติดยึด TEC เข้ากับแผ่นทองแดง Housing



รูปที่ 3.13 Cooler Master Silicon Grease IC-Essential E2

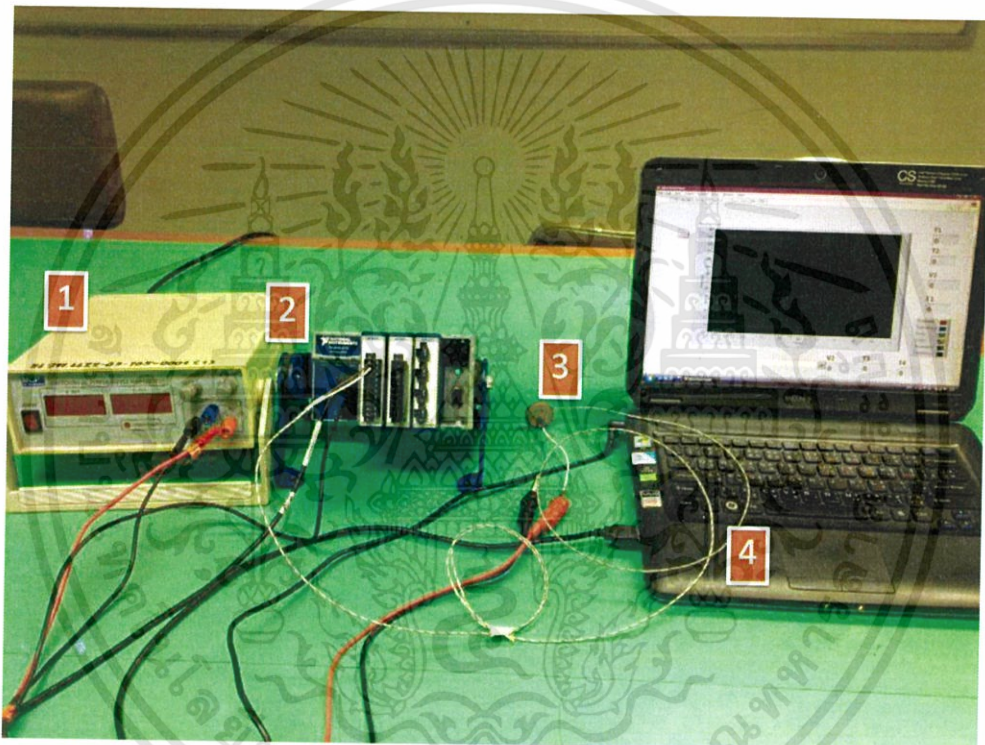
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะอธิบายถึงผลที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์ผลของการศึกษาความเป็นไปได้ของการออกแบบระบบระบายความร้อนให้กับเลเซอร์โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ขั้นตอน คือดังนี้

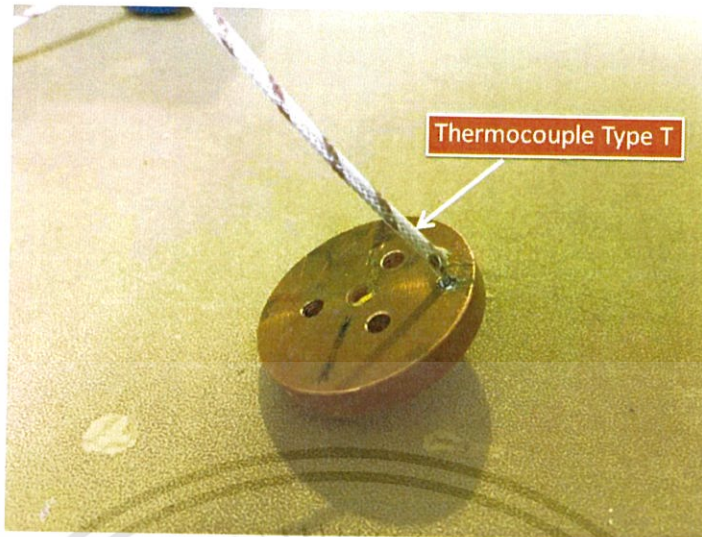
4.1 ผลการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ที่ Housing เมื่อไม่มีระบบระบายความร้อน



รูปที่ 4.1 การติดตั้งระบบการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ที่ Housing

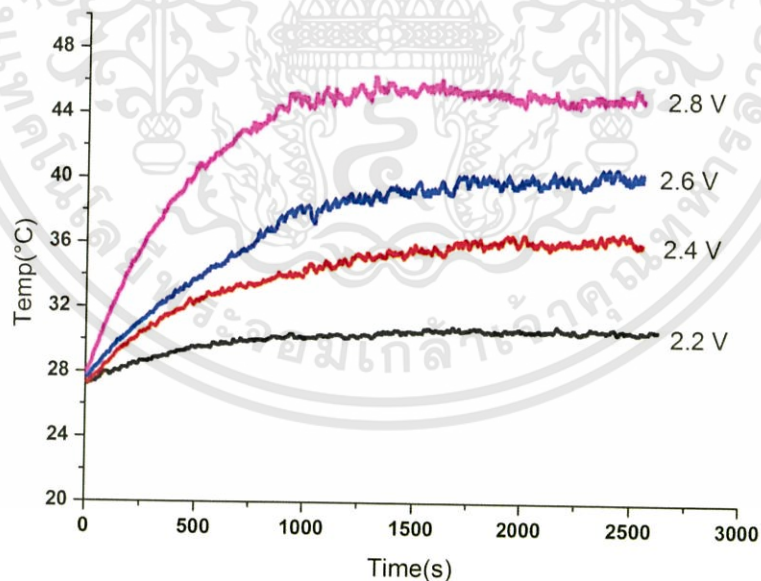
- หมายเหตุ :
- 1 คือ Power Supply ใช้สำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเลเซอร์
 - 2 คือ เครื่อง NI 9211 ใช้สำหรับบันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้
 - 3 คือ การติดตั้ง Housing
 - 4 คือ คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การติด Thermocouple ชนิด T ที่ Housing

ในการทดลองนี้จะศึกษาอุณหภูมิของเลเซอร์ โดยใช้ Thermocouple ชนิด T ในการวัดอุณหภูมิและใช้เครื่อง NI 9211 ในการจัดเก็บค่าอุณหภูมิ ซึ่งโครงงานพิเศษนี้จะเลือกใช้โปรแกรม LabVIEW ในการจัดเก็บสัญญาณและแสดงผลแบบ Real Time ข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บและนำมาวิเคราะห์ผลในขั้นตอนต่อไป โดยจะกำหนดให้มีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันให้กับเลเซอร์ เป็น 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของ Housing เมื่อมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันกับเวลา

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของ Housing กับเวลา ที่มีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เป็น 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V จะได้อุณหภูมิ 30, 36, 40 และ 46 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการทดลองนี้จะเห็นว่าเมื่อเริ่มมีการทดลองในตอนเริ่มต้นนั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนคงที่ที่เวลาประมาณ 1000 วินาที หลังจากนั้นอุณหภูมิก็จะคงที่ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง โดยมีการทำการทดลองเป็นเวลา 40 นาที

ดังนั้น จากการระบายความร้อนของ Housing ที่มีการจ่ายค่าความต่างศักย์เป็น 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V จะพบว่า เมื่อมีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเลเซอร์เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิของ Housing ที่ได้ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

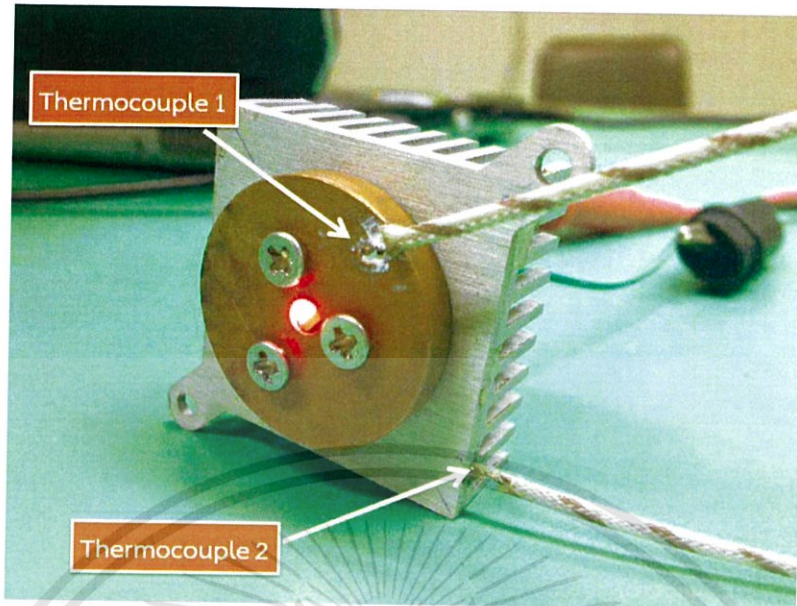
ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิสูงสุดของ Housing ที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เลเซอร์ที่แตกต่างกัน โดยจับเวลาในการทำการทดลอง 40 นาที

ความต่างศักย์ (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	T_{Housing} ($^{\circ}\text{C}$)
2.2	0.11	0.242	30.0
2.4	0.19	0.456	36.0
2.6	0.31	0.806	40.0
2.8	0.41	1.148	46.0

จากการทดลองดังกล่าว จะเห็นว่าการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด อุณหภูมิที่วัดได้จาก Housing จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่เรากำหนดไว้ ซึ่งอุณหภูมิที่เราสนใจคือ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจะเป็นการศึกษาและการออกแบบระบบระบายความร้อนโดยใช้ Heat Sink มาติดตั้งร่วมกับ Housing

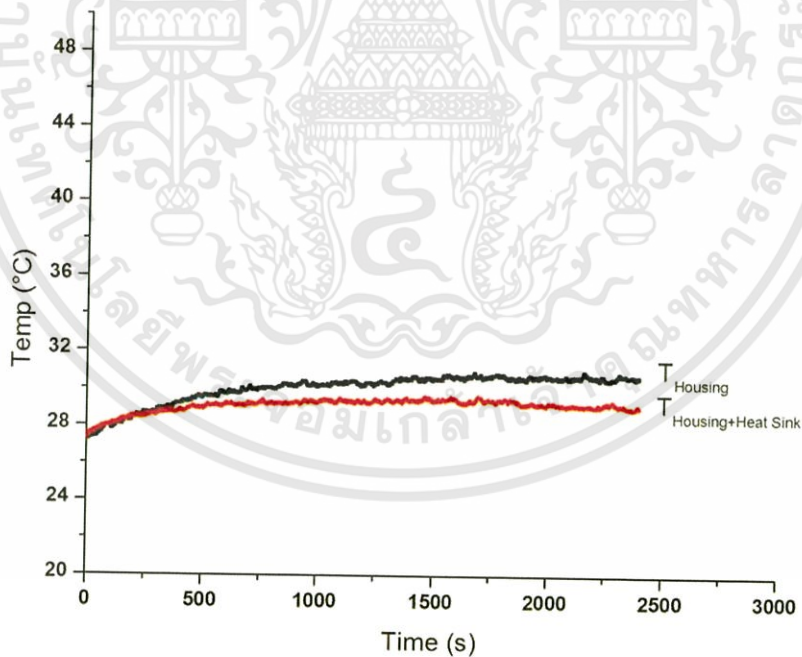
4.2 ผลการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ เมื่อมีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink

ในโครงการพิเศษนี้ เราได้ทำการทดสอบขั้นต้นก่อนว่าอุณหภูมิ Housing ที่วัดได้นั้นมีค่าอุณหภูมิสูงมากน้อยเพียงใด โดยผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นว่าอุณหภูมิที่ Housing จะมีค่าที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเลเซอร์เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบระบบระบายความร้อนโดยติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ Housing เพื่อช่วยในการระบายความร้อนให้ดียิ่งขึ้น ในการทำการทดลองนี้จะใช้ Thermocouple ชนิด T ตรวจจับวัดอุณหภูมิ จำนวน 2 จุด กำหนดให้มีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันให้กับเลเซอร์ เป็น 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V โดยจะทำการอุณหภูมิ 2 จุด คือ Housing และ Heat Sink แสดงดังรูปที่ 4.4



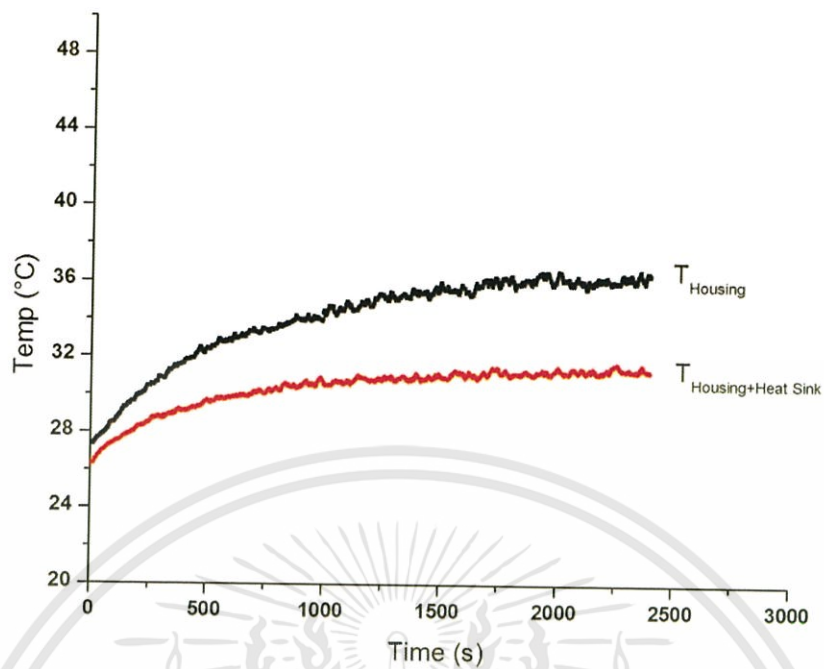
รูปที่ 4.4 การติด Thermocouple จำนวน 2 ตัว ที่ Housing และ Heat Sink

กำหนดให้มีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันให้กับเลเซอร์ เป็น 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V อุณหภูมิที่จุดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.5

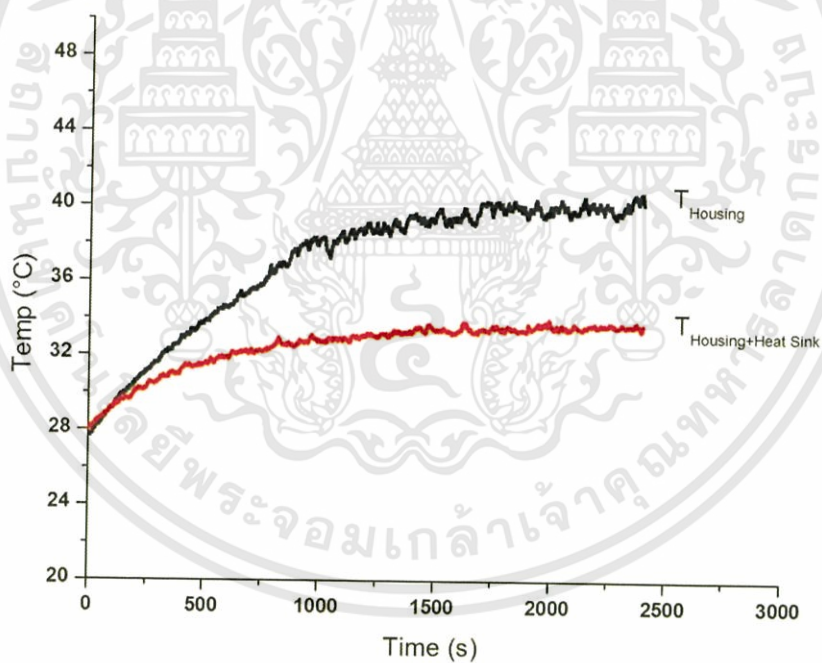


(a) 2.2 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

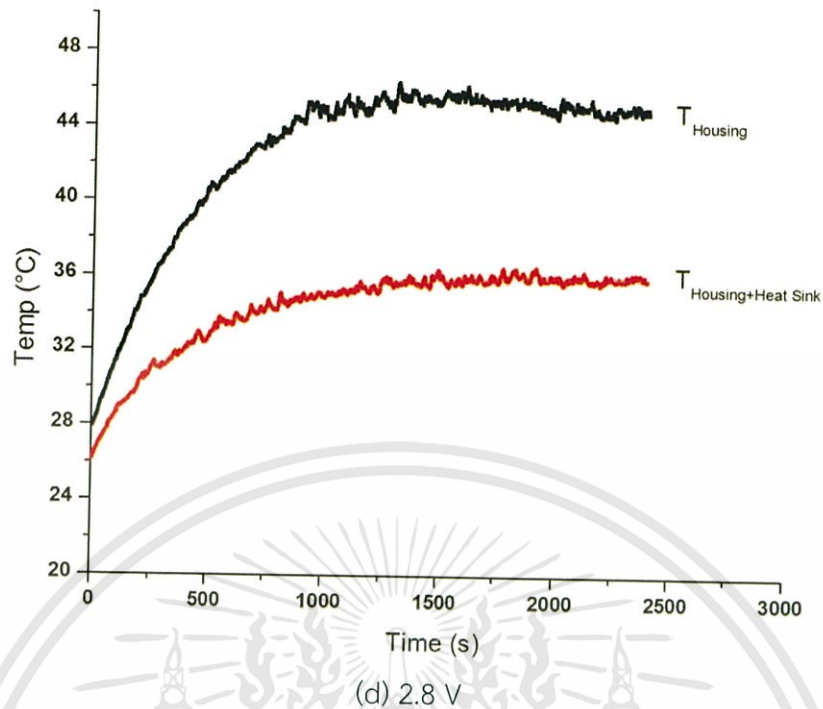


(b) 2.4 V



(c) 2.6 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ Housing และอุณหภูมิของ Housing ที่ติดตั้งร่วมกับ Heat Sink กับเวลา เมื่อมีจ่ายค่าความต่างศักย์ให้กับเลเซอร์ (a) 2.2 V, (b) 2.4 V, (c) 2.6 V และ (d) 2.8 V ตามลำดับ

รูปที่ 4.5 (a-d) เป็นการแสดงและเปรียบเทียบอุณหภูมิของ Housing (ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1) และอุณหภูมิของ Housing ที่ติดตั้งร่วมกับ Heat Sink จะเห็นว่าการทดลองในตอนเริ่มต้นอุณหภูมิที่ได้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งที่เวลาประมาณ 1000 วินาที หลังจากนั้นอุณหภูมิก็จะคงที่ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง โดยมีการทำการทดลองชุดละ 40 นาที ซึ่งอุณหภูมิที่วัดได้จาก Housing ที่ติดตั้งร่วมกับ Heat Sink จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของ Housing ที่ยังไม่มีติดตั้งระบบระบายความร้อนใดๆ ทั้งนี้เป็นเพราะมีการนำ Heat Sink มาติดตั้งร่วมกับ Housing ซึ่งส่งผลให้มีการระบายความร้อนได้ดีกว่าและทำให้อุณหภูมิของ Housing มีค่าลดลงเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์เป็น 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V จะได้อุณหภูมิ Housing ที่ติดตั้งร่วมกับ Heat Sink เป็น 29.2, 31.5, 33.5 และ 36.0 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ Housing ที่ยังไม่ได้มีการติดตั้งระบบระบายความร้อน เป็น 30, 36, 40 และ 46 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ดังนั้น เมื่อมีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเลเซอร์เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิของ Housing ที่ติดตั้งร่วมกับ Heat Sink ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่จะมีอุณหภูมิน้อยกว่าอุณหภูมิของ Housing ที่ไม่ได้ติดตั้ง Heat Sink

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิของ Housing, อุณหภูมิของ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่ติดตั้งร่วมกับ Heat Sink ที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เลเซอร์แตกต่างกัน จัปเวลา 40 นาที ทุกๆ ครั้งที่มีการจ่ายกำลังให้เลเซอร์

ความต่างศักย์ (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	Temp (°C)	
			T _{Housing}	T _{Housing+Heat Sink}
2.2	0.12	0.264	30.0	29.2
2.4	0.21	0.504	36.0	31.5
2.6	0.30	0.78	40.0	33.5
2.8	0.38	1.064	46.0	36.0

จากการทดลองดังกล่าว จะเห็นว่าชุดการทดลองที่มีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด อุณหภูมิที่วัดได้จาก Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink จะลดลงจากเดิมเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของ Housing (จากการทดลองที่ 4.1) แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่เรากำหนดไว้ ซึ่งอุณหภูมิที่เราสนใจคือ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจะเป็นการศึกษาและการออกแบบระบบความร้อนโดยใช้ Heat Sink มาติดตั้งร่วมกับ Housing และมี TEC มาช่วยทำความเย็น

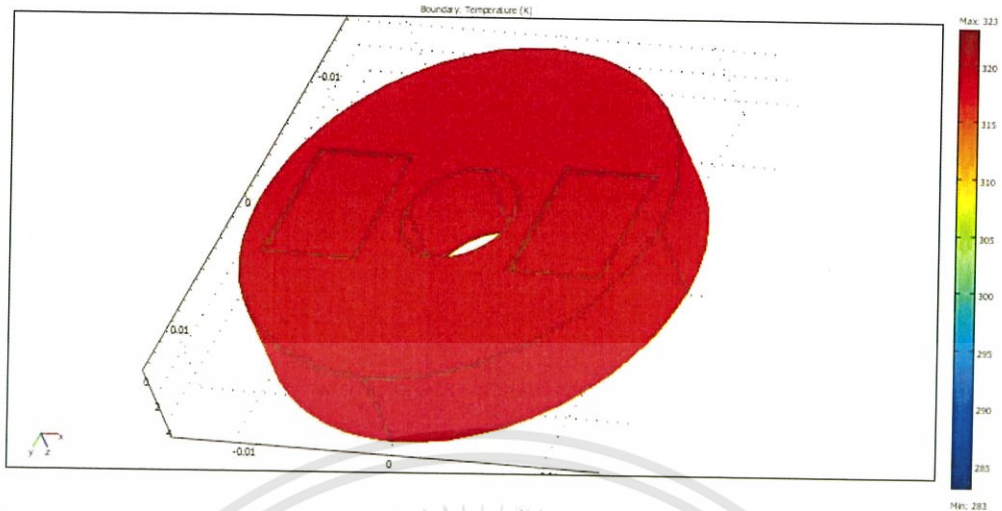
4.3 ผลของการออกแบบ Housing

ในการระบายความร้อนของเลเซอร์ที่มีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink เมื่อนำอุณหภูมิที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่าการติดตั้ง Housing เพียงอย่างเดียว จะเห็นได้ว่า การติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink จะมีการระบายความร้อนได้ดีกว่าและอุณหภูมิที่ได้มีค่าต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามในหัวข้อที่ 4.3 นี้ได้มีการใช้โปรแกรม Finite Element เพื่อดูการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ Housing ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยจะกำหนดให้อุณหภูมิของเลเซอร์มีค่าเป็น 46 องศาเซลเซียส และกำหนดให้อุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเป็น 30 องศาเซลเซียส จากการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบการทดลอง ดังนี้

4.3.1 Housing ที่ไม่มีการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

- 1) กำหนดให้อุณหภูมิของเลเซอร์ คือ 46 องศาเซลเซียส
- 2) อุณหภูมิของ TEC คือ 30 องศาเซลเซียส
- 3) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ตัวกลางเป็นอากาศ คือ $15 \text{ W/m}^2\text{k}$

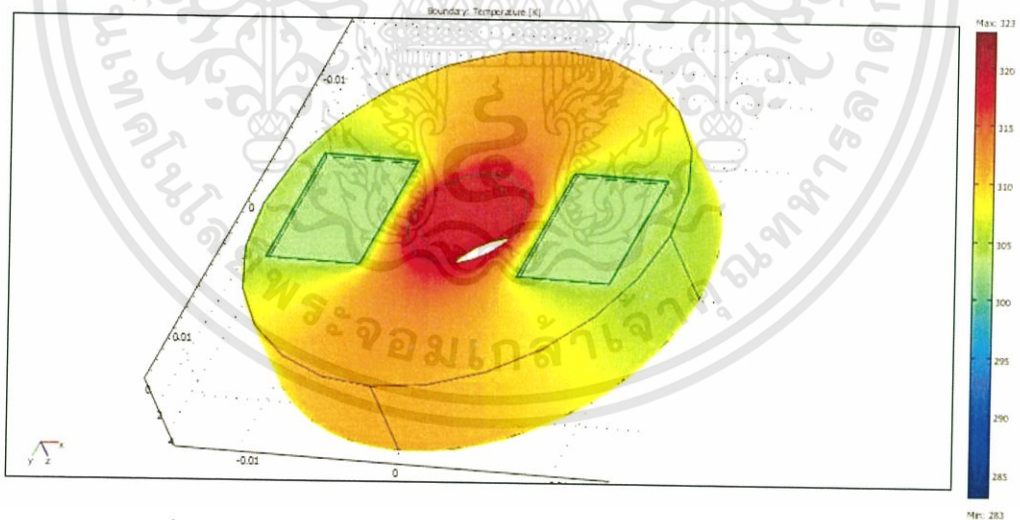
เนื่องจากการออกแบบ Housing นั้น ชิ้นส่วนทำมาจากทองแดง ซึ่งในการออกแบบ จะต้องมีการกำหนดขอบเขตให้กับชิ้นงาน เพื่อดูการกระจายตัวของอุณหภูมิ โดยมีการกำหนดขอบเขตต่างๆ เป็นดังนี้ ค่าการนำความร้อนของทองแดง (Thermal Conductivity) มีค่าเท่ากับ 401 W/mk , ค่าความหนาแน่นของทองแดง (Density) มีค่าเท่ากับ $8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และค่าความจุความร้อนของทองแดง (Heat Capacity) มีค่าเท่ากับ $0.39 \times 10^3 \text{ J/kg.k}$



รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของความร้อนภายในตัวชิ้นงาน โดยที่ยังไม่มีการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

รูปที่ 4.6 แสดงการกระจายตัวของความร้อนภายในตัวชิ้นงานที่ไม่มีการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ซึ่งความร้อนที่ออกจากเลเซอร์จะแพร่กระจายออกไปทั่ว Housing จะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของเลเซอร์

4.3.2 การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing 2 ตัว

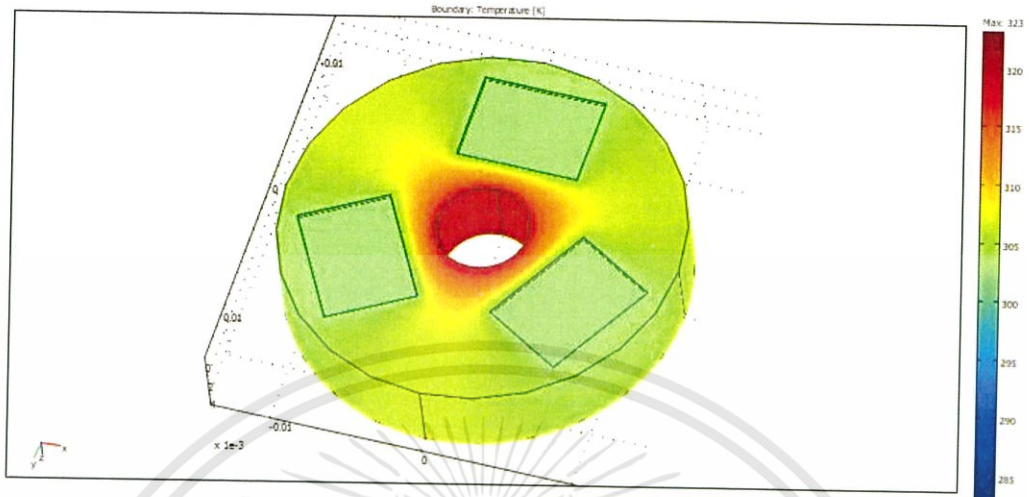


รูปที่ 4.7 การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing จำนวน 2 ตัว

รูปที่ 4.7 แสดงการกระจายตัวของความร้อนภายในตัวชิ้นงานที่มีการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลไว้บน Housing จำนวน 2 ตัว โดยความร้อนที่ออกจากเลเซอร์จะแพร่กระจายออกไปทั่ว Housing ซึ่งการกระจายความร้อนภายใน Housing จะลดลงเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.6 ที่ไม่มีการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล แต่จากรูปที่ 4.7 Housing ยังคงมีอุณหภูมิที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ TEC จำนวน 2 ตัว ยังมีการระบายความร้อนจาก Housing ได้ไม่เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

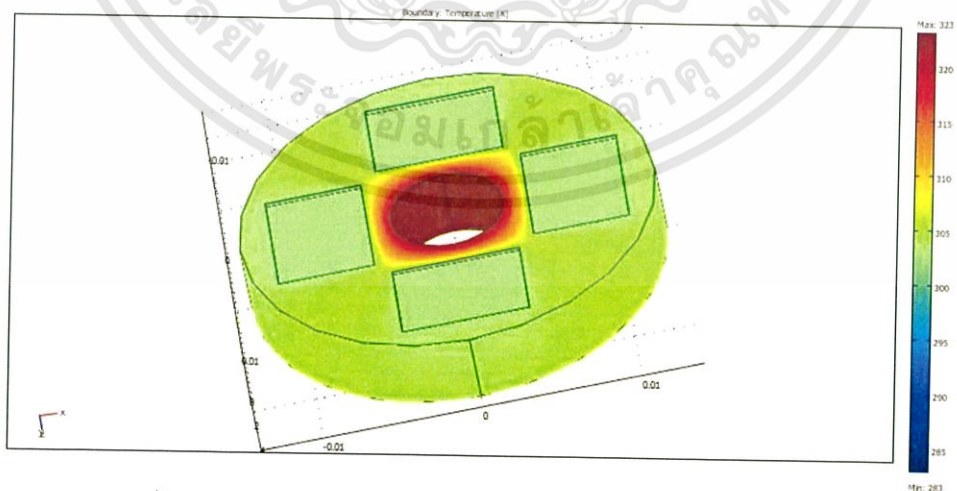
4.3.3 ติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing 3 ตัว



รูปที่ 4.8 การติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing จำนวน 3 ตัว

รูปที่ 4.8 แสดงการกระจายตัวของความร้อนภายในตัวชิ้นงานที่มีการติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลไว้บน Housing จำนวน 3 ตัว โดยความร้อนที่ออกจากเลเซอร์จะแพร่กระจายออกไปทั่ว Housing ซึ่งการกระจายความร้อนภายใน Housing จะลดลงเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.7 ที่ไม่มีการติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล แต่จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าการใช้ TEC จำนวน 3 ตัว จะมีการระบายความร้อนที่ Housing ได้เพียงพอ ซึ่งอุณหภูมิที่กระจายรอบ Housing จะมีค่าประมาณ 30 องศาเซลเซียส

4.3.4 การติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing 4 ตัว



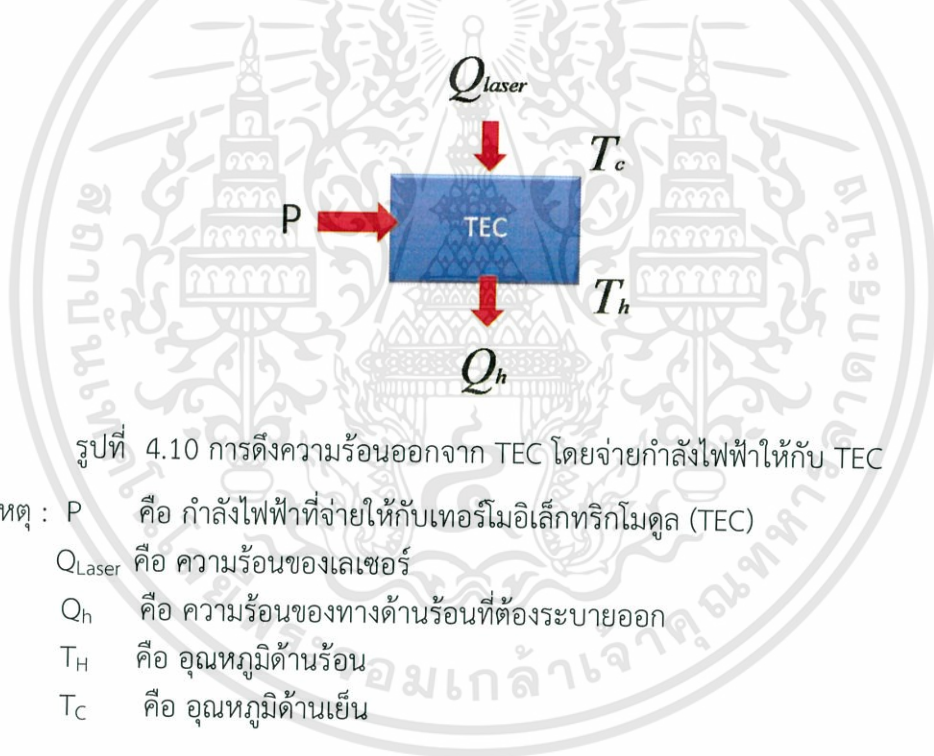
รูปที่ 4.9 การติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing จำนวน 4 ตัว

แสดงการกระจายตัวของความร้อนภายในตัวชิ้นงานที่มีการติดเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลไว้บน Housing จำนวน 4 ตัว โดยความร้อนของเลเซอร์ที่แพร่กระจายออกไปทั่ว Housing จะลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้ง

เมื่อเทียบกับรูปที่ 4.8 ที่มีการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลบน Housing จำนวน 3 ตัว จากผลการทดลองดังกล่าว จะพบว่าการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มการระบายความร้อนใน Housing ได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิของ Housing ที่ได้จะลดลงเมื่อเทียบกับ Housing ที่ยังไม่มีติดตั้ง TEC เนื่องจากโครงการพิเศษนี้ได้สนใจที่จะออกแบบ Housing โดยนำ TEC มาวางบน Housing ในแนวสมมาตร เพื่อพิจารณาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิและต้นทุน จะพบว่าการกระจายตัวของความร้อนที่มีการติดตั้ง TEC จำนวน 3 ตัว จะมีอุณหภูมิที่เพียงพอต่อการใช้งานของโครงการพิเศษนี้

4.4 ผลของการคำนวณพื้นที่ของ Heat Sink

ในการทำการทดลองนี้ จะต้องมีการนำ Heat Sink มาช่วยในการระบายความร้อนของ เลเซอร์และเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จึงต้องมีการคำนวณพื้นที่ของ Heat Sink เพื่อที่จะเลือก Heat Sink ที่มีพื้นที่ผิวที่เพียงพอสำหรับในการนำมาใช้ในการระบายความร้อนให้กับเลเซอร์



รูปที่ 4.10 การดึงความร้อนออกจาก TEC โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ TEC

หมายเหตุ : P คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (TEC)

Q_{Laser} คือ ความร้อนของเลเซอร์

Q_h คือ ความร้อนของทางด้านร้อนที่ต้องระบายออก

T_H คือ อุณหภูมิด้านร้อน

T_C คือ อุณหภูมิด้านเย็น

เนื่องจากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นระบบการดูดความร้อนแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยอาศัยปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier) กล่าวคือ เมื่อมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ TEC ความร้อนจากเลเซอร์ (Q_{Laser}) จะถูกดึงออกมายังอีกฝั่งหนึ่งของ TEC ทำให้ด้านหนึ่งจะเย็น อีกด้านหนึ่งจะร้อน ซึ่งความร้อนที่แผ่ออกมานี้จะถูกระบายสู่ระบบภายนอกหาได้จากสมการที่ 2.8 ดังนี้

$$Q_h = P + Q_{Laser} \quad (2.8)$$

จากการทดลองจะทำการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับ TEC และความร้อนจากเลเซอร์หาได้จากสมการที่ 2.9 ดังนี้

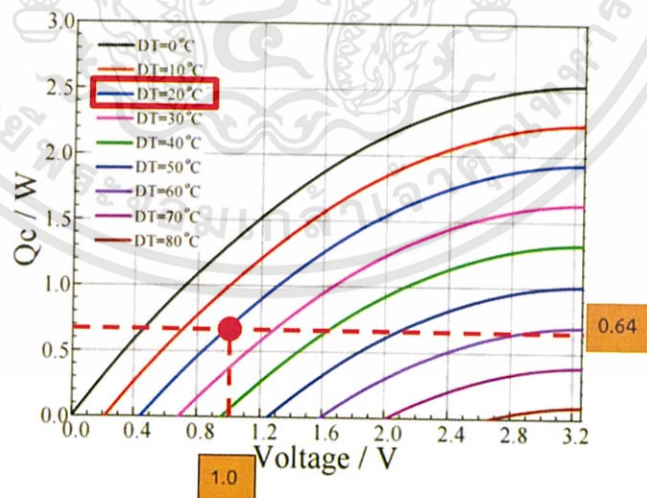
$$Q_{\text{Laser}} = 0.6IV \quad (2.9)$$

หมายเหตุ : เมื่อมีการจ่ายกำลังให้กับเลเซอร์ พลังงานของเลเซอร์จะเปลี่ยนเป็นพลังงานแสง 40 เปอร์เซ็นต์ และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน 60 เปอร์เซ็นต์ [4]

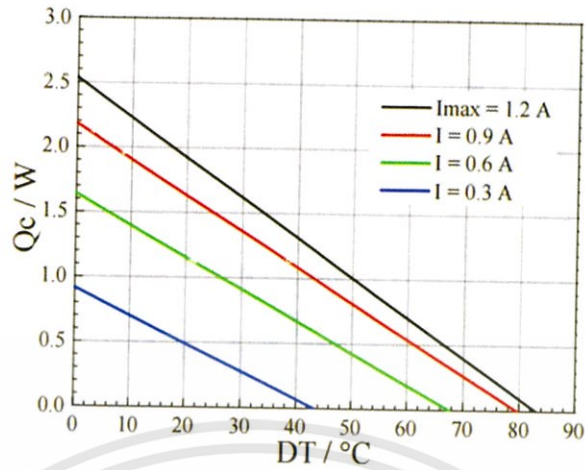
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Q_{Laser} ที่ความต่างศักย์แตกต่างกัน

V (V)	I (A)	Q_{Laser} (W)
2.2	0.13	0.17
2.4	0.21	0.30
2.6	0.30	0.47
2.8	0.38	0.64

จากตารางที่ 4.3 เมื่อมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเลเซอร์ พลังงานของเลเซอร์จะเปลี่ยนเป็นพลังงานแสง 40 เปอร์เซ็นต์ และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการทดลองจะมีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเลเซอร์เป็น 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V จากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อมีการจ่ายค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้น ความร้อนที่ออกจากเลเซอร์ก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยที่มีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่า $Q_{\text{Laser}} = 0.64 \text{ W}$ ความต่างศักย์ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 1.0 โวลต์ และมีค่า ΔT เท่ากับ $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_c (W) กับ Voltage (V) [5]
เมื่อค่า ΔT เท่ากับ $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ค่ากระแสไฟฟ้า เท่ากับ 0.3 A ในรูปที่ 4.12 [6]



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_c (W) กับ DT (16°C)

จากสมการที่ 2.9 $Q_h = P + Q_{\text{Laser}}$
 $P = IV = (0.3) \times (1) = 0.3 \text{ W}$
 $Q_h = (0.3) + (0.64) = 0.94 \text{ W}$

เมื่อได้ค่า $Q_h = 0.94 \text{ W}$ เราสามารถคำนวณหาพื้นที่ของ Heat Sink ได้จากสมการที่ 3.0

$$Q_h = Q_{\text{Convection}} = h \cdot A \cdot \Delta T_{\text{HS}} \quad (3.0)$$

$$A = \frac{Q_{\text{Convection}}}{h \cdot \Delta T_{\text{HS}}}$$

$$A = \frac{0.94 \text{ W}}{15 \times (30 - 25)}$$

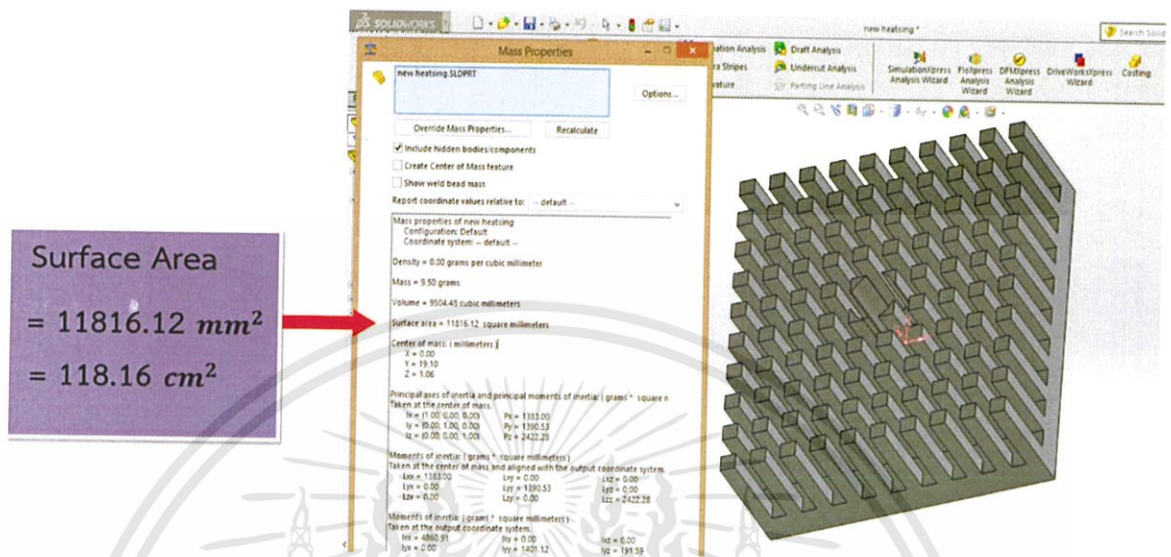
$$A = \frac{0.94 \text{ W}}{15 \times (5)}$$

$$A = 0.012533 \text{ m}^2$$

$$A = 125.33 \text{ cm}^2$$

4.4.1 ผลการคำนวณพื้นที่ Heat Sink จากโปรแกรม Solid Work

จากรูปเป็นการออกแบบโมเดลของ Heat Sink โดยใช้โปรแกรม Solid Work

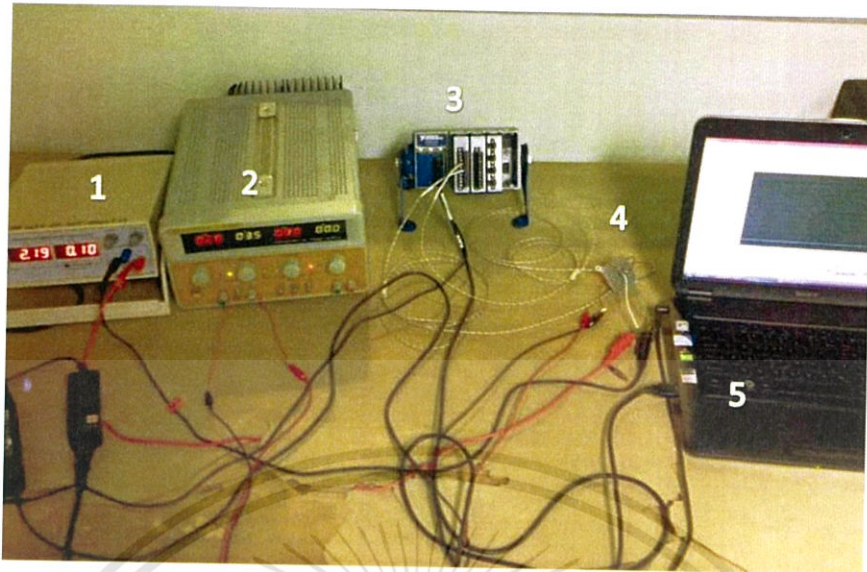


รูปที่ 4.13 แสดงพื้นที่ผิวของ Heat Sink ในโปรแกรม Solid Work

จากการคำนวณหาพื้นที่ของ Heat sink จากสมการที่ 3.0 เราจะได้พื้นที่ของ Heat sink ที่ จะใช้การระบายความร้อน เท่ากับ 125.33 cm² ซึ่ง Heat sink ที่ออกแบบในโปรแกรม Solid Work มีพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 1181.612 cm² ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Heat sink ที่ออกแบบในโปรแกรม Solid Work มีพื้นที่น้อยกว่าพื้นที่ของ Heat sink ที่ได้จากการคำนวณ

4.5 ผลการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ที่มีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink และ TEC

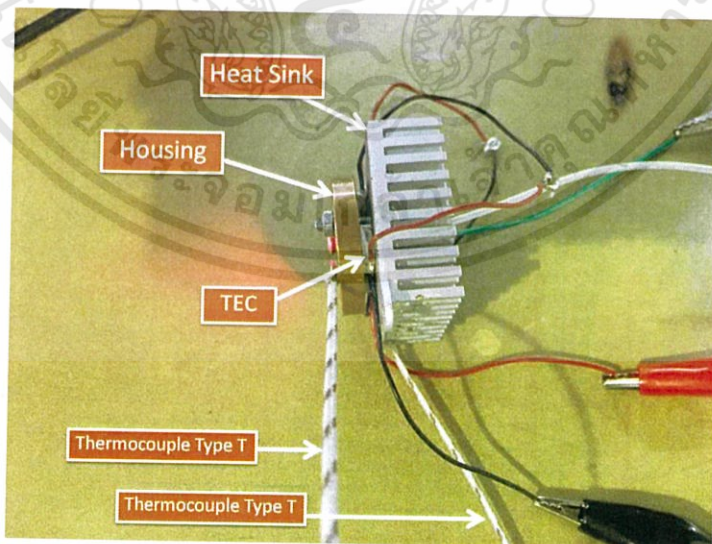
โดยผลการทดลองที่ 4.2 จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ Housing จะมีค่าที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเลเซอร์เพิ่มขึ้น เมื่อมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 2.8 V อุณหภูมิที่วัดได้จะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 4.1 ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบระบบระบายความร้อนโดยมีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink และ TEC เพื่อช่วยในการระบายความร้อน ซึ่งในส่วนของการทดลองนี้จะใช้ Thermocouple ชนิด T ในการตรวจจับวัดอุณหภูมิ กำหนดให้มีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันให้กับเลเซอร์ เป็น 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V และมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับ TEC เป็น 1.4 V, 1.8 V, 2.2 V, 2.6 V, 3.0 V และ 3.4 V เป็นต้น



รูปที่ 4.14 การติดตั้งระบบการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ที่มีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink

- หมายเหตุ : 1 คือ Power Supply ใช้สำหรับจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเลเซอร์
 2 คือ Power Supply ใช้สำหรับจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับ TEC
 3 คือ เครื่อง NI 9211 ใช้สำหรับบันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้
 4 คือ การติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink และ TEC
 5 คือ คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Lab View

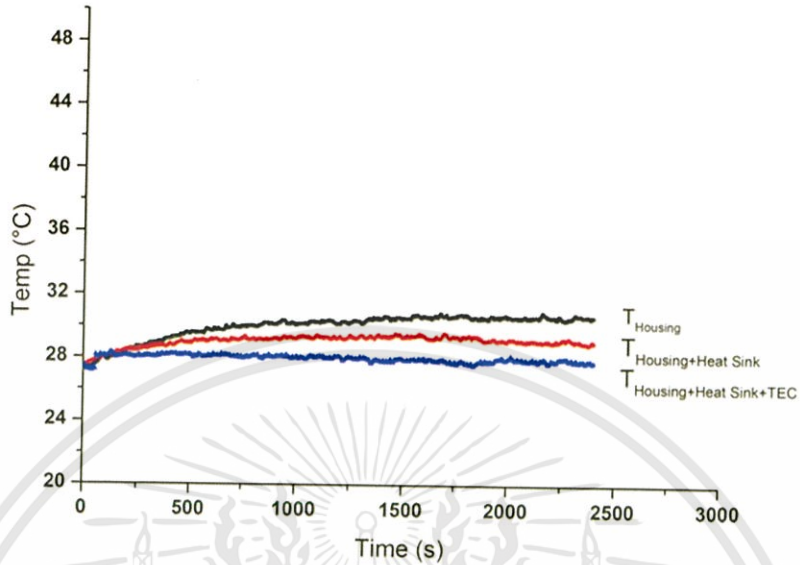
จากการติดตั้งระบบการระบายความร้อนข้างต้น จะมีการวัดอุณหภูมิ 2 จุด คือ Housing และ Heat Sink โดยใช้ Thermocouple Type T จำนวน 2 ตัว แสดงดังรูป ที่ 4.15



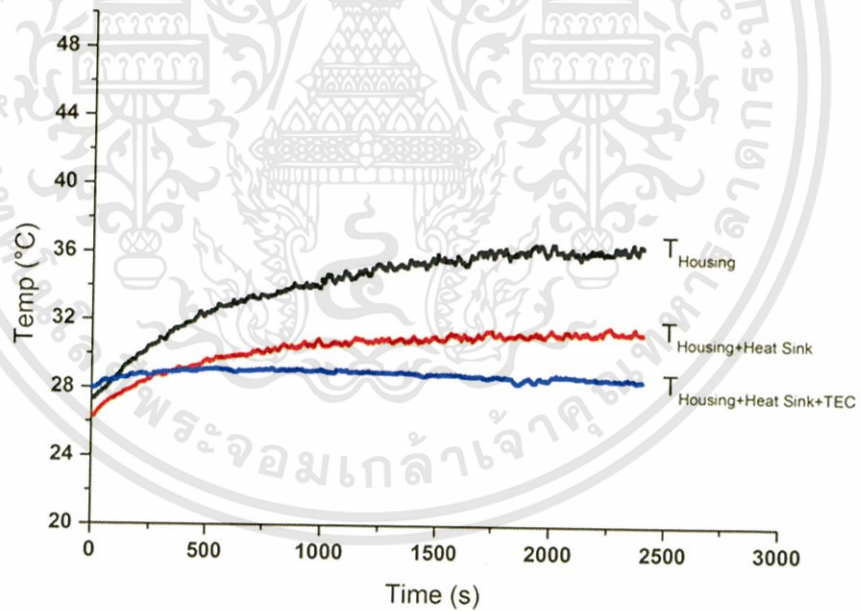
รูปที่ 4.15 การติดตั้ง Thermocouple Type T จำนวน 2 ตัว ที่ Housing และ Heat Sink กำหนดให้มีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันให้กับเลเซอร์ เป็น 2.2 V, 2.4V, 2.6 V, 2.8 V และ 3.0 V ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

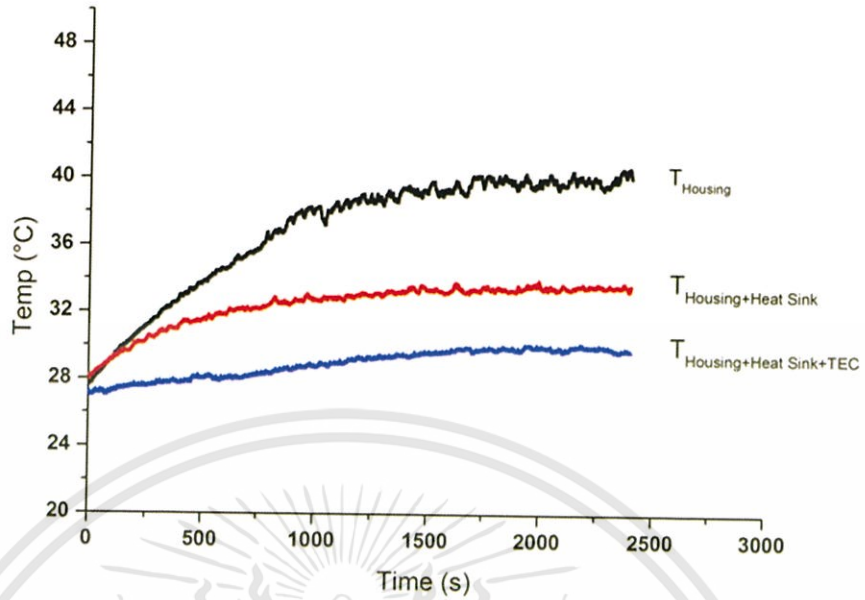
4.5.1 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 1.4 โวลต์



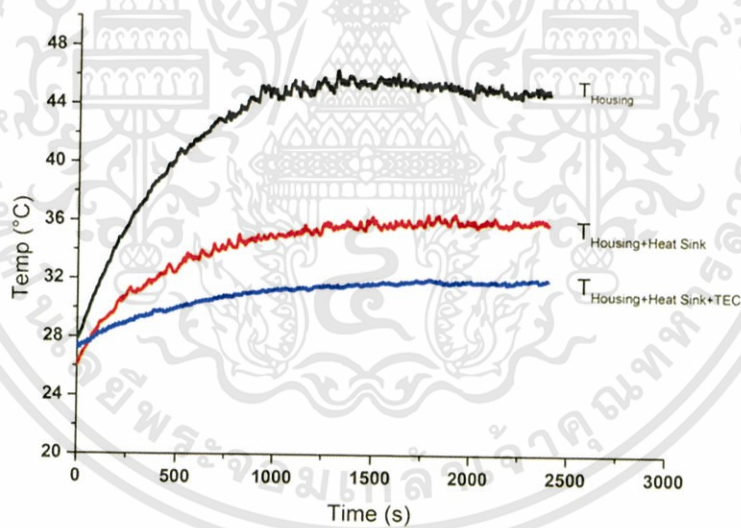
(a) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.2 โวลต์



(b) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.4 โวลต์



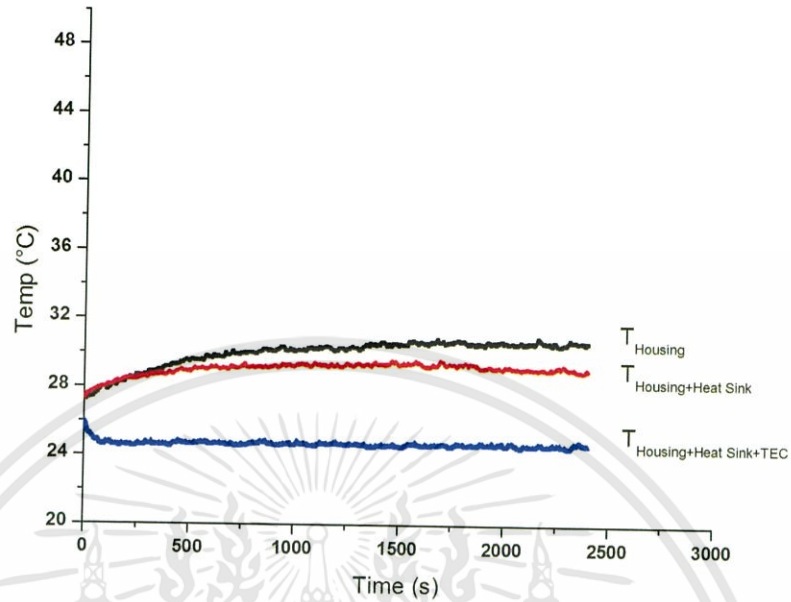
(c) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.6 โวลต์



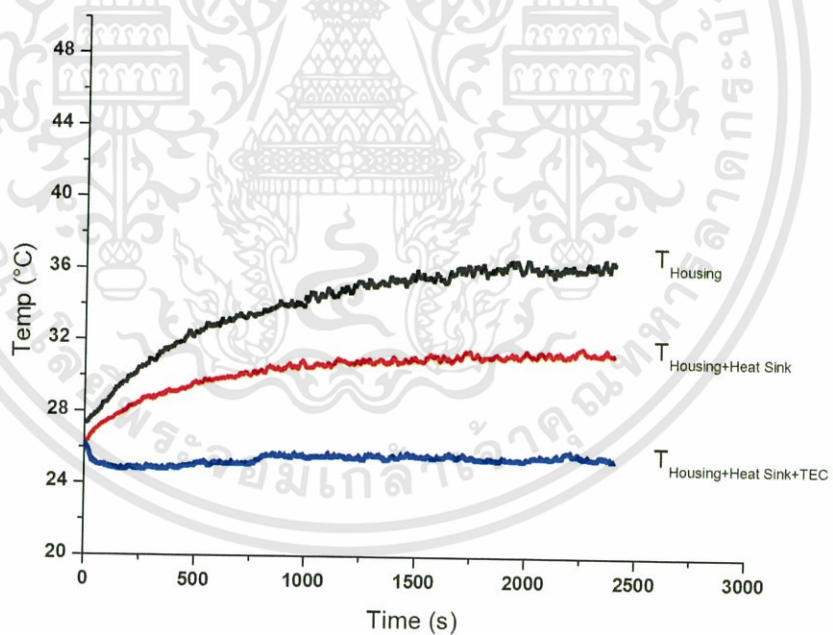
(d) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.8 โวลต์

รูปที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิของ Housing, อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC โดยที่ (a) 2.2 V , (b) 2.4 V ,(c) 2.6 V และ (d) 2.8 V

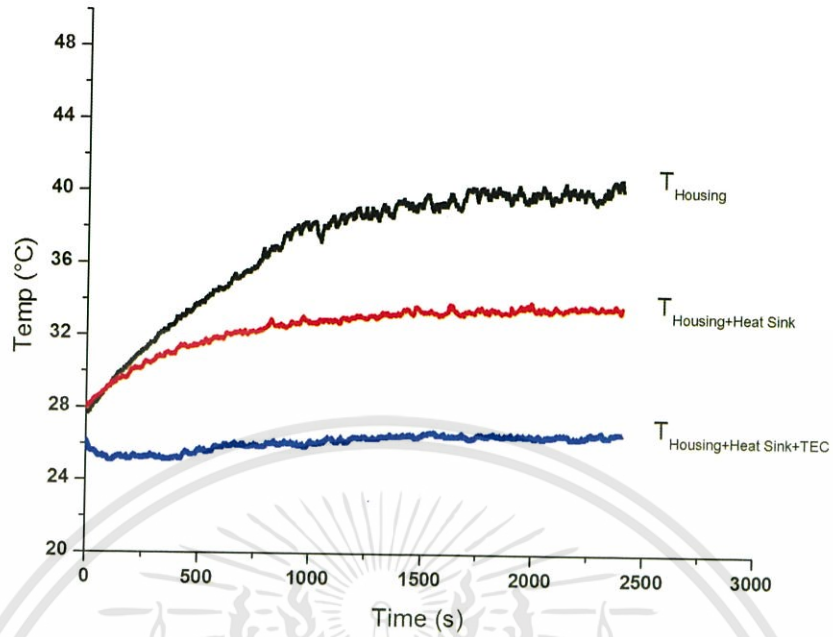
4.5.2 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 1.8 โวลต์



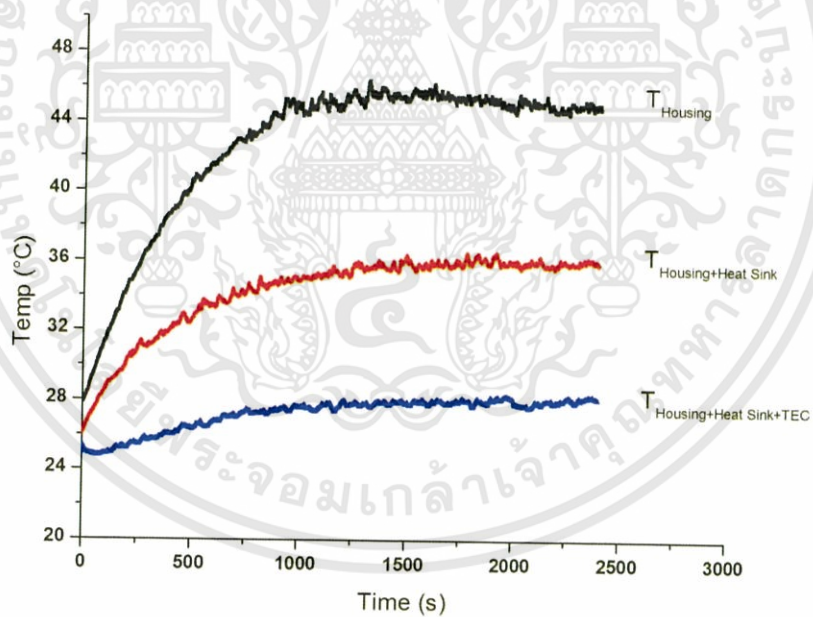
(a) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.2 โวลต์



(b) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.4 โวลต์



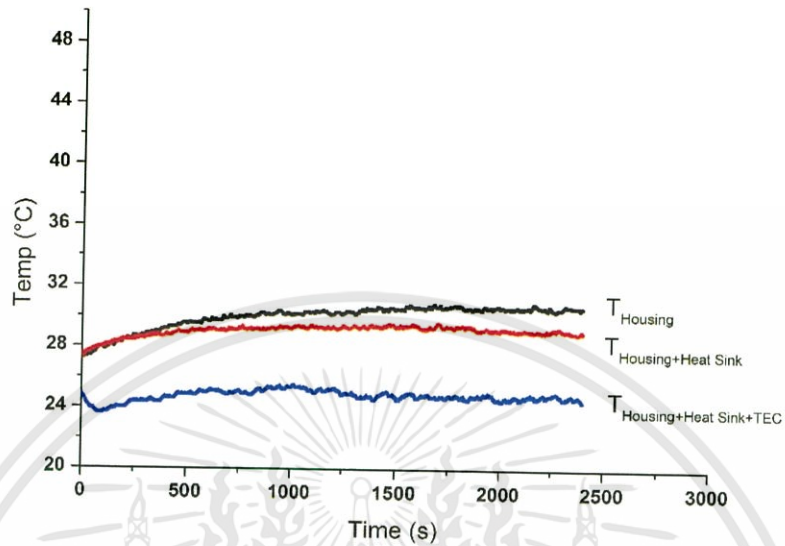
(c) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.6 โวลต์



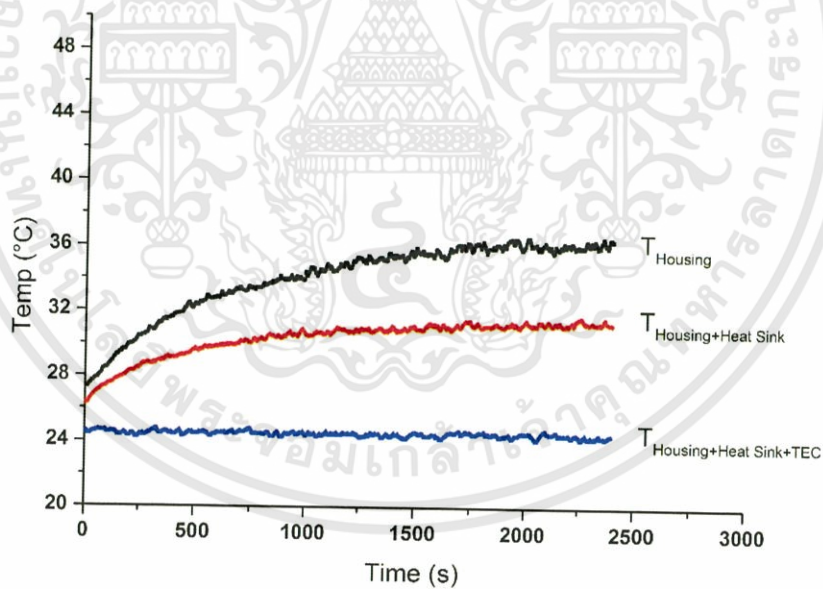
(d) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.8 โวลต์

รูปที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิของ Housing, อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC โดยที่ (a) 2.2 V, (b) 2.4 V, (c) 2.6 V และ (d) 2.8 V

4.5.3 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 2.2 โวลต์

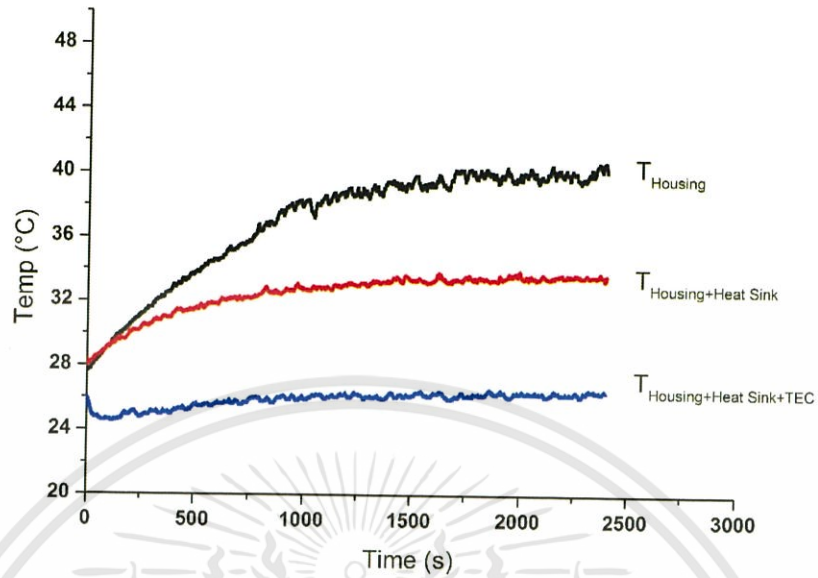


(a) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.2 โวลต์

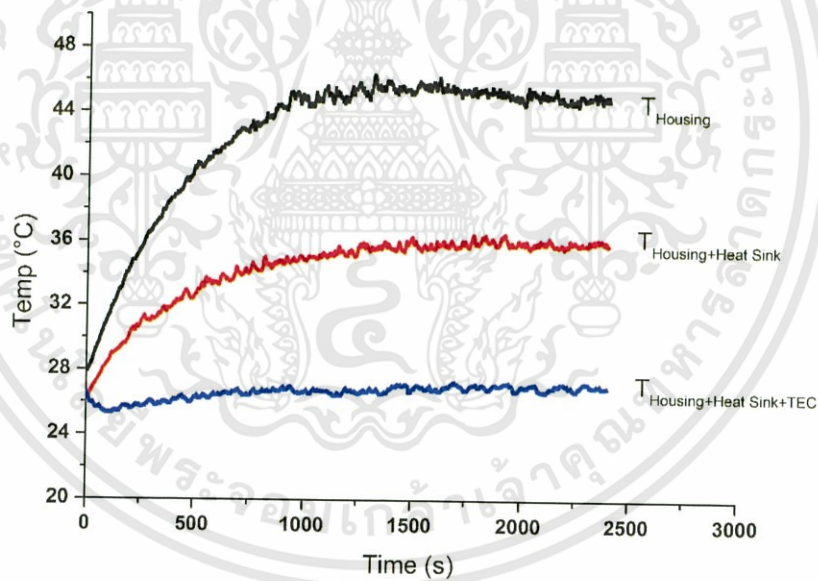


(b) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.4 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



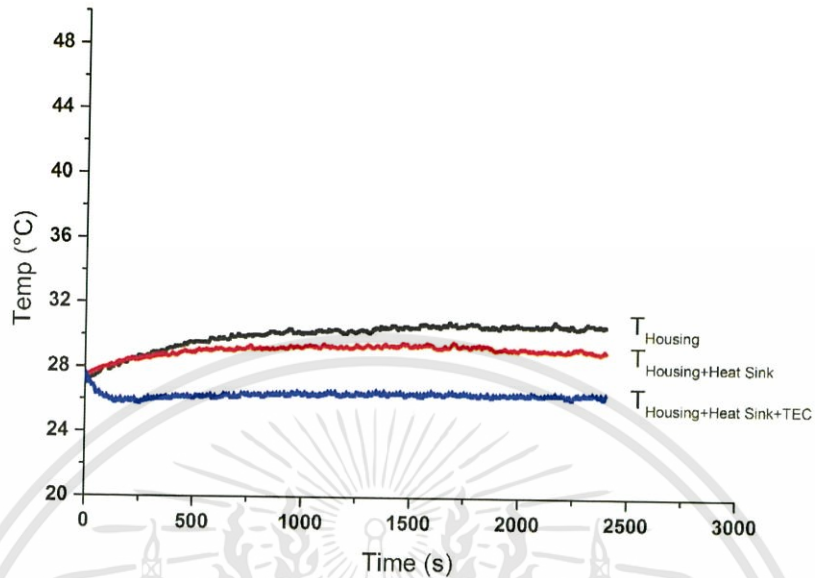
(c) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.6 โวลต์



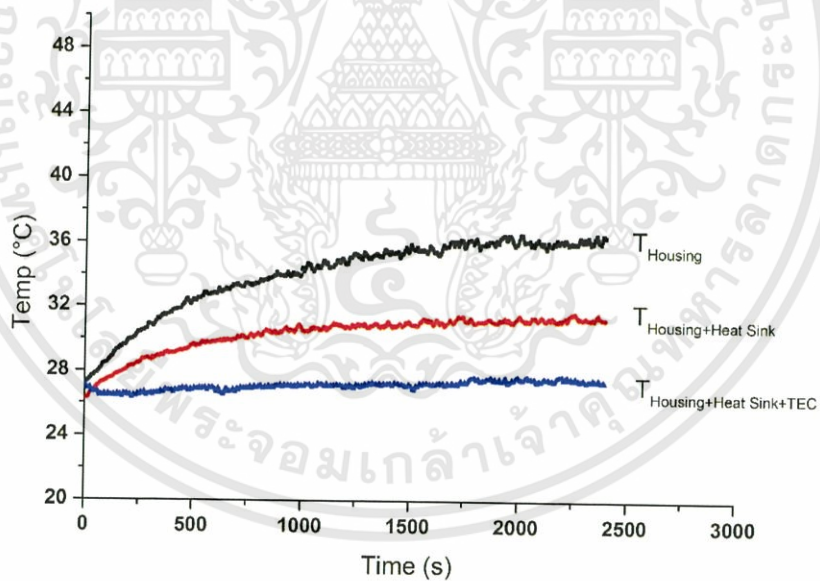
(d) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.8 โวลต์

รูปที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิของ Housing, อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC กับเวลา โดยที่ (a) 2.2 V, (b) 2.4 V, (c) 2.6 V และ (d) 2.8 V

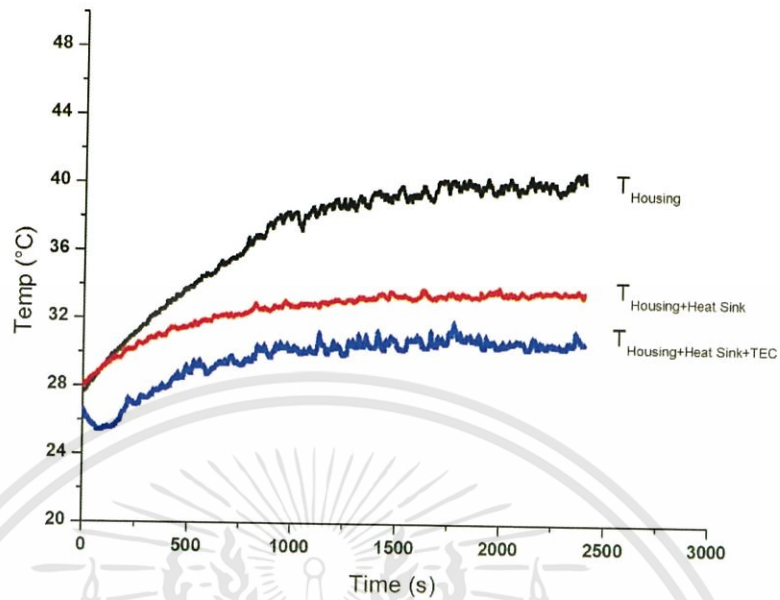
4.5.4 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 2.6 โวลต์



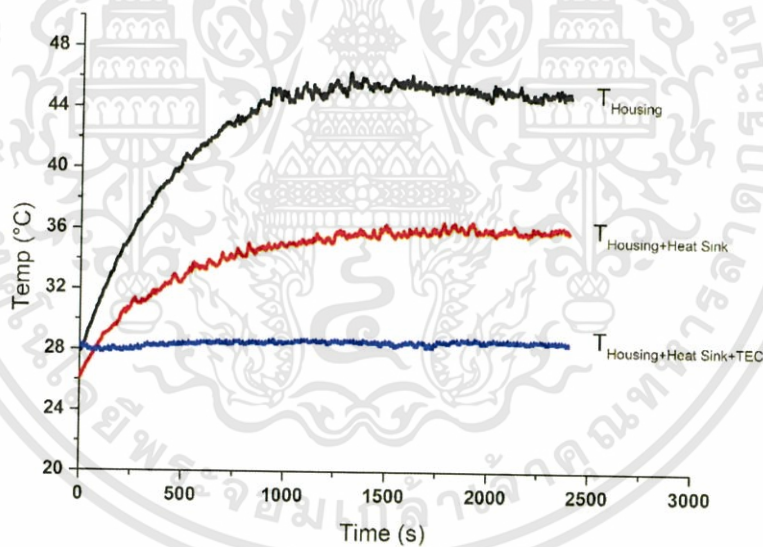
(a) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.2 โวลต์



(b) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.4 โวลต์



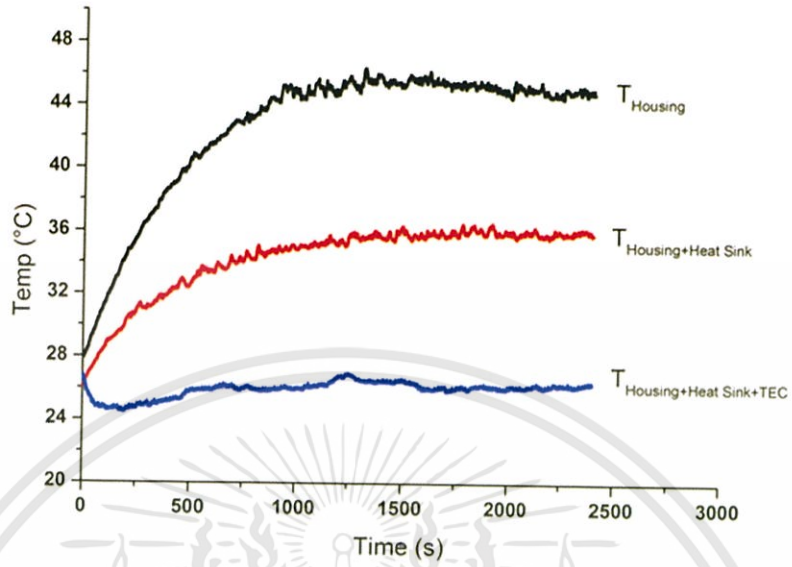
(c) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.6 โวลต์



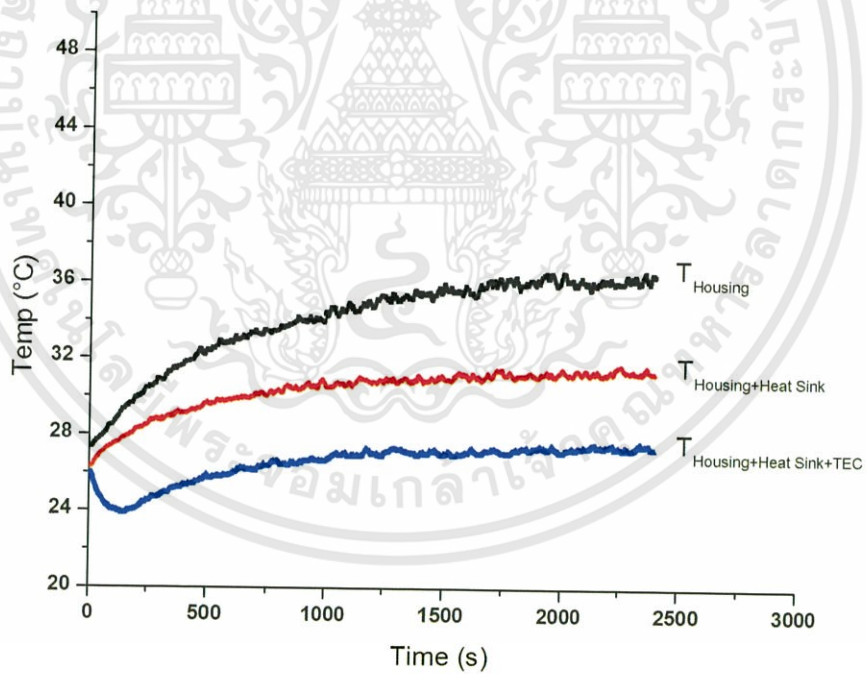
(d) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.8 โวลต์

รูปที่ 4.19 แสดงอุณหภูมิของ Housing ,อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC กับเวลา โดยที่ (a) 2.2 V ,(b) 2.4 V ,(c) 2.6 V และ (d) 2.8 V

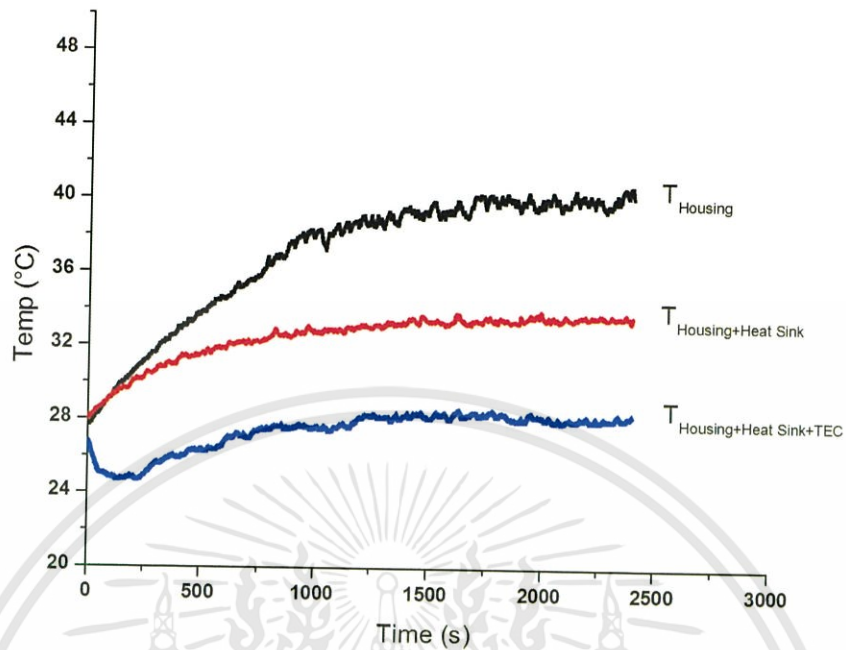
4.5.5 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 3.0 โวลต์



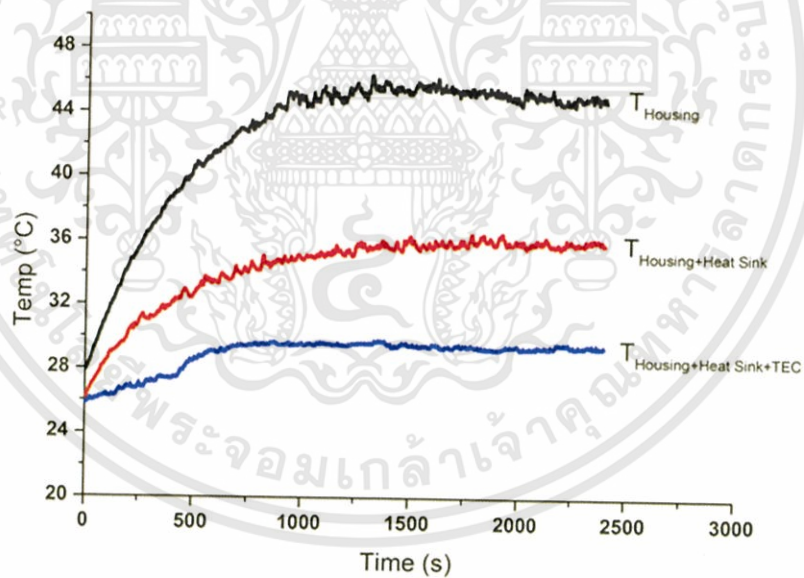
(a) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.2 โวลต์



(b) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.4 โวลต์



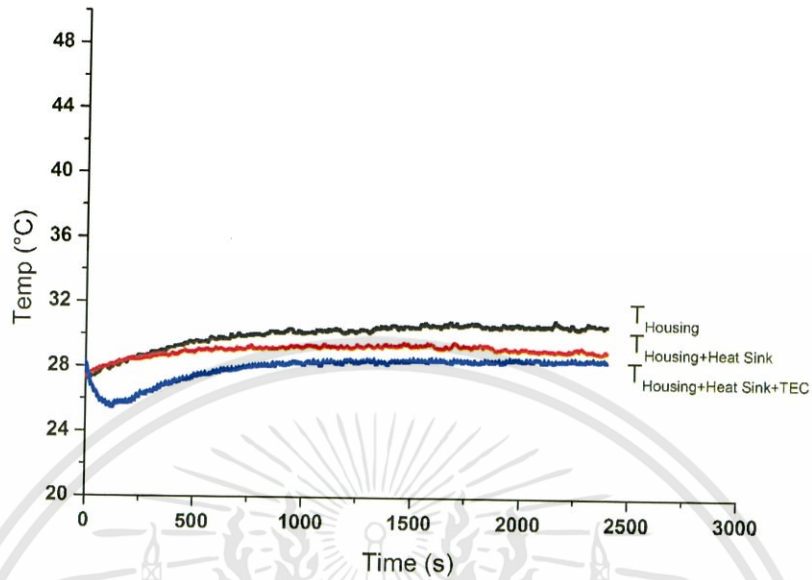
(c) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.6 โวลต์



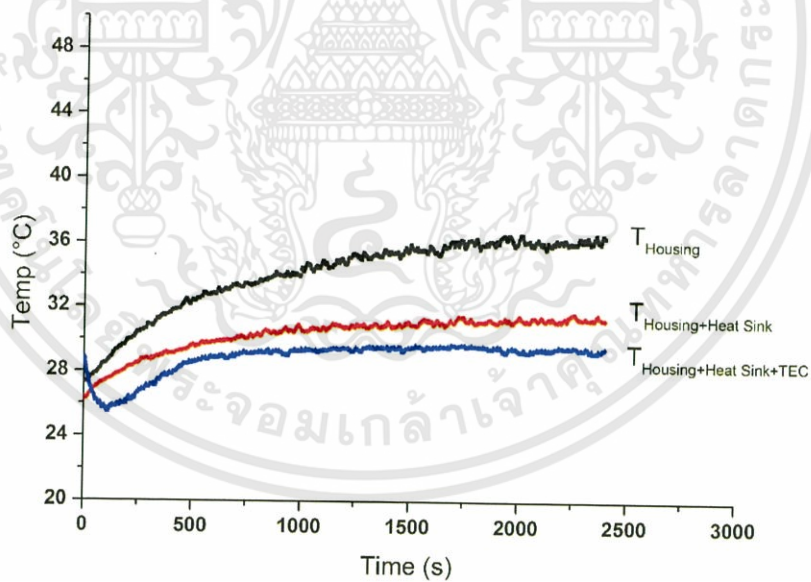
(d) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.8 โวลต์

รูปที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิของ Housing, อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC กับเวลา โดยที่ (a) 2.2 V ,(b) 2.4 V ,(c) 2.6 V และ (d) 2.8 V

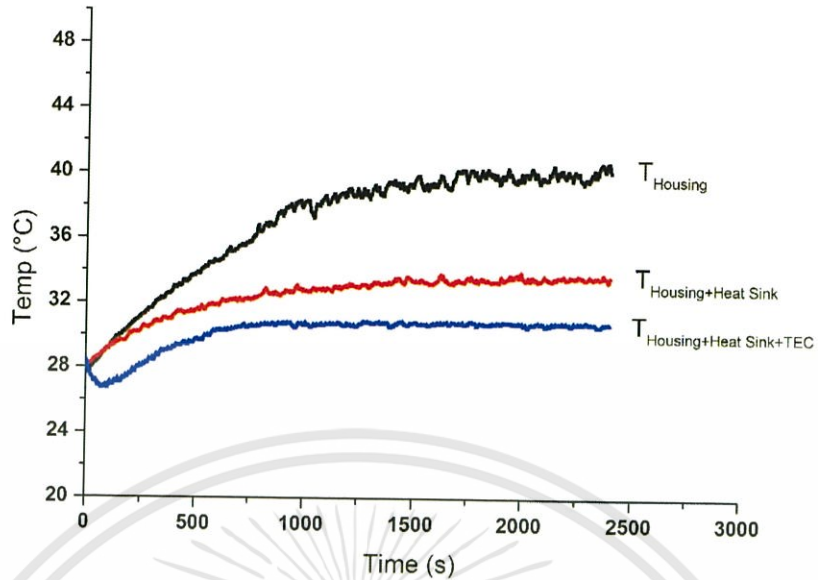
4.5.6 การจ่ายความต่างศักย์ให้กับ Thermoelectric Cooler (TEC) 3.4 โวลต์



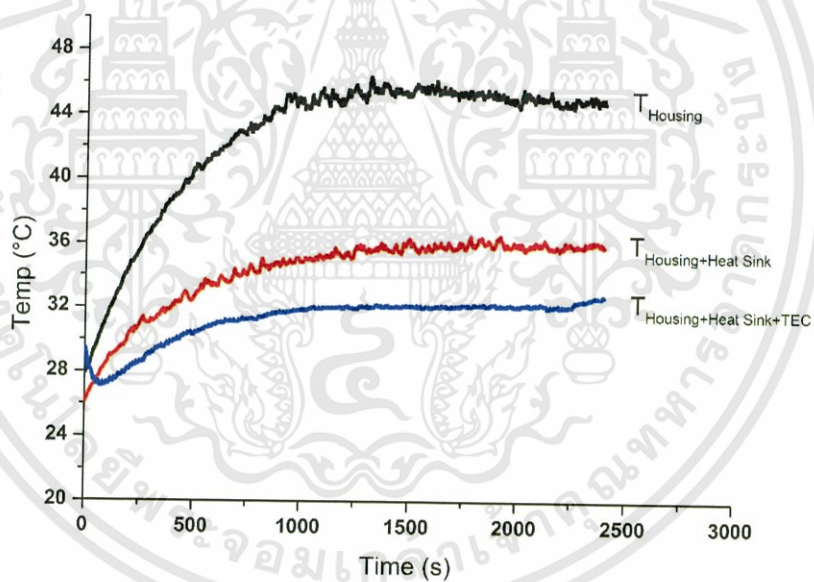
(a) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.2 โวลต์



(b) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.4 โวลต์



(c) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.6 โวลต์



(d) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเลเซอร์ 2.8 โวลต์

รูปที่ 4.21 แสดงอุณหภูมิของ Housing, อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC กับเวลา โดยที่ (a) 2.2 V ,(b) 2.4 V ,(c) 2.6 V และ (d) 2.8 V

จากรูปที่ 4.16 ,4.17 ,4.18 ,4.19 ,4.20 และ 4.21 เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC โดยมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ให้กับ TEC เป็น 1.4 V, 1.8 V, 2.2 V, 2.6 V, 3.0 V และ 3.4 V พบว่า ชุดการทดลองที่ดีที่สุดคือชุดการทดลองที่มีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับ TEC อยู่ในช่วง 1.8 V ถึง 3.0 V เนื่องจากการทดลองนั้น จะทำการวัดอุณหภูมิที่ Housing จะเห็นว่า ในตอนเริ่มต้นนั้นอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC จะลดลงจากอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนคงที่ ในขณะที่อุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink และอุณหภูมิของ Housing ที่ยังไม่ได้มีการติดตั้งระบบระบายความร้อน ก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนคงที่ ซึ่งในการทำการทดลองจะมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเลเซอร์เป็น 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V จะได้อุณหภูมิของ Housing ที่ติดตั้ง Heat Sink ร่วมกับ TEC อยู่ในช่วง 24.5 ถึง 30.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ได้จะมีค่าลดลงถึง 16 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิของ Housing ที่ยังไม่มีระบบระบายความร้อน และลดลง 6 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิของ Housing ที่มีการติดตั้งร่วมกับ Heat Sink

ดังนั้นในการทดลองที่มีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink และ TEC จะช่วยทำให้ อุณหภูมิที่ Housing มีค่าลดลง ซึ่ง TEC นั้นจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการจัดการความร้อนของ เลเซอร์



ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิของ Housing ที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันให้กับเลเซอร์และ TEC

Power of TEC (W)		Power of Laser (W)		Temperature (°C)		
V	I	V	I	T _{Housing}	T _{Housing + Heat Sink}	T _{Housing + Heat Sink + TEC}
1.4	0.03	2.2	0.03	30	29.2	28.5
		2.4	0.07	36	31.5	29.0
		2.6	0.10	40	33.5	30.0
		2.8	0.12	46	36.0	32.1
1.8	0.05	2.2	0.04	30	29.2	24.5
		2.4	0.08	36	31.5	26.0
		2.6	0.10	40	33.5	26.5
		2.8	0.12	46	36.0	28.0
2.2	0.10	2.2	0.04	30	29.2	25.0
		2.4	0.80	36	31.5	25.2
		2.6	0.11	40	33.5	26.0
		2.8	0.13	46	36.0	27.5
2.6	0.16	2.2	0.05	30	29.2	27.0
		2.4	0.07	36	31.5	27.5
		2.6	0.10	40	33.5	28.0
		2.8	0.13	46	36.0	28.5
3.0	0.19	2.2	0.06	30	29.2	27.0
		2.4	0.08	36	31.5	27.5
		2.6	0.11	40	33.5	29.0
		2.8	0.12	46	36.0	30.0
3.4	0.21	2.2	0.06	30	29.2	29.0
		2.4	0.07	36	31.5	29.5
		2.6	0.09	40	33.5	30.5
		2.8	0.11	46	36.0	32.5

จากตารางที่ 4.4 เป็นการแสดงตารางผลการทดลองที่ได้ โดยมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับ TEC เป็น 1.4 V, 1.8V, 2.2 V, 2.6 V, 3.0 V และ 3.4 V ซึ่งแต่ละค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ TEC จะมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเลเซอร์เป็น 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V จะเห็นได้ว่าช่วงที่มีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับ TEC ในช่วง 1.8 V ถึง 3.0 V จะได้อุณหภูมิไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดังนั้นที่มีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 1.4 V จะพบว่าอุณหภูมิของเลเซอร์ที่วัดได้จะมีค่าเกิน 30 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เป็นเพราะในการทดลองนั้นมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ TEC น้อยเกินไป จึงทำให้ TEC ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ และที่มีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 3.4 V จะพบว่าอุณหภูมิที่วัดได้จะมีค่าเกิน 30 องศาเซลเซียส เพราะ Heat Sink มีพื้นที่ผิวไม่เพียงพอต่อการระบายความร้อนของเลเซอร์และ TEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาการระบายความร้อนของเลเซอร์ ทั้งแบบที่ไม่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนและมีการติดตั้งระบบระบายความร้อน โดยใช้การประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลผ่านโปรแกรมมาตรฐาน LabVIEW จากผลการทดลองได้มีการวัดอุณหภูมิของเลเซอร์ที่ Housing 3 แบบ คือระบบที่ยังไม่มีการติดตั้งตัวระบายความร้อน ระบบที่มีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink และระบบที่มีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat Sink และ TEC โดยมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเลเซอร์ที่ 2.2 V, 2.4 V, 2.6 V และ 2.8 V และมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับ TEC เป็น 1.4 V, 1.8 V, 2.2 V, 2.6 V, 3.0 V และ 3.4 V ทำการทดลองวัดค่าและเก็บข้อมูลเป็นเวลา 40 นาที ผลจากการวิเคราะห์ที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบ พบว่าระบบที่ยังไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนใดๆ ที่การจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเลเซอร์เป็น 2.2 V อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 30 องศาเซลเซียสและเมื่อจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 2.8 V จะพบว่าอุณหภูมิที่วัดได้จะเพิ่มสูงขึ้นถึง 46 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ได้เป็นไปตามที่จุดประสงค์ที่ตั้งไว้ จึงต้องมีการนำ Heat Sink มาช่วยในการระบายความร้อนให้กับเลเซอร์ ซึ่งจะพบว่าเมื่อนำ Heat Sink มาช่วยในการระบายความร้อนที่มีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 2.8 V อุณหภูมิของ Housing จะลดลงเท่ากับ 36 องศาเซลเซียส แต่ก็ยังมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ตามจุดประสงค์ของการทดลอง จึงได้มีการนำ TEC มาช่วยในการระบายความร้อนเพิ่มเติม โดยการระบายความร้อนที่มีการติดตั้ง Housing ร่วมกับ Heat sink และ TEC ที่มีการจ่ายค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับ TEC อยู่ในช่วง 1.8 V ถึง 3.0 V จะวัดค่าอุณหภูมิที่ Housing ได้ไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส จากการทดลองนี้จะสรุปได้ว่าในการนำ TEC มาติดตั้งร่วมกับ Heat Sink จะช่วยให้อุณหภูมิของเลเซอร์ลดลงตามที่กำหนดไว้และทำให้ยืระยะเวลาการใช้งานของเลเซอร์ให้นานขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวัดชิ้นงานทุกครั้งจะต้องให้เทอร์โมคัปเปิลสัมผัสกับผิวชิ้นงานได้สนิทพอดี ซึ่งจะทำให้ได้ค่าอุณหภูมิที่ถูกต้องและมีความคลาดเคลื่อนน้อยและไม่ควรให้ชิ้นงานเกิดการสั่นสะเทือน เพราะจะทำให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Brinkmann, et al., Influence of temperature and time on thermally induced forces in corneal collagen and the effect on laser thermokeratoplasty. J,Cataract Refract.Surg.26 (5) (2000) 744-754
- [2] R.E. Simons, R.C. Chu. Application of thermoelectric cooling to electronic equipment: a review and analysis ,in : Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium Sixteenth Annual IEEE,2000.
- [3] I. B. Cadoff and E. Miller. Thermoelctric Materials and Devices. New York : Reinhold Publishing Corporation. 1960.
- [4] D. J. Paul. “Thermoelctric Energy Generation and Peltier Cooling.” [online]. <http://userweb.eng.gla.ac.uk/douglas.paul/thermoelectrics.html>.2009.
- [5] A Review of thermoelectric cooling : Materials, modeling and applications. University of Wyoming,Department of civil and Architectural Engineering,1000 E. University Avenue,Dept. 3295 ,Laramine , WY 82071, USA

