

การพัฒนากระบวนกรรบบความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์
โดยใช้ฮีทไปป์

THE DEVELOPMENT OF THERMOELECTRIC GENERATOR
COOLING SYSTEM BY HEAT PIPE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การพัฒนาระบบระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์
โดยใช้ฮีทไพป์

THE DEVELOPMENT OF THERMOELECTRIC GENERATOR
COOLING SYSTEM BY HEAT PIPE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE DEVELOPMENT OF THERMOELECTRIC GENERATOR
COOLING SYSTEM BY HEAT PIPE**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาระบบระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์
โดยใช้ฮีทไปป์

THE DEVELOPMENT OF THERMOELECTRIC GENERATOR
COOLING SYSTEM BY HEAT PIPE

ชื่อนักศึกษา นางสาวคณิดา กามาตะ

นายชานน หทโยทัย

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ราชศักดิ์ สักดานุภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม	
ดร.ณัฐพร พรหมรส	
อ.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข	
ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก	
ดร.ราชศักดิ์ สักดานุภาพ	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาระบบระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ โดยใช้ฮีทไปป์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวคณิดา กามาตะ นายชานน หทโยทัย
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบระบบระบายความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ระบบระบายความร้อนสองชนิดคือ ฮีทไปป์และฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์ ใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อนวางบนเทอร์โมอิเล็กทริก จากนั้นกำหนดอุณหภูมิทดสอบทางด้านร้อนเป็น $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ บันทึกค่าที่อุณหภูมิทางด้านเย็น กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า เป็นเวลาประมาณ 30 นาที โดยใช้ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่ออุณหภูมิทดสอบสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อใช้ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์จะมีค่าสูงกว่าการใช้ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์อย่างเดียว กำลังไฟฟ้าที่ได้สูงสุดของระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์ที่อุณหภูมิด้านร้อน $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น 1.5 W , 2.1 W ตามลำดับ จากแบบจำลองที่ใช้อธิบายการระบายความร้อนของฮีทไปป์จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศเป็นแบบอิสระเท่ากับ $30.8\text{ W/m}^2\text{K}$ และเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์จะได้ค่าความต้านทานเชิงความร้อนรอยต่อระหว่างฮีทไปป์กับฮีทซิงค์มีอยู่ในช่วงประมาณ $0.11 - 0.15\text{ K/W}$ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าระบบระบายความร้อนที่มีพื้นผิวมากกว่าจะสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามจะต้องลดค่าความต้านทานเชิงความร้อนที่รอยต่อของอุปกรณ์ระบายความร้อนให้น้อยที่สุดเพื่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่สูงสุด

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก, ระบบระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The Development of thermoelectric generator cooling system by heat pipe
Students	Miss. Kanita Kamata Mr. Chanon Hathayothai
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Physics
Academic Year	2013
Advisor	Dr. Apaporn Sakulkalavek
Co-Advisor	Dr. Rachsak Sakdanuphab

ABSTRACT

The main objective of this project is to study and design thermoelectric cooling system. Heat pipe and heat pipe combined with heat sinks were used as cooling system. The heat source was generated from heater at the hot side of the module by determined the temperatures as 150 °C, 200 °C and 230 °C. The information such as hot side and cool side temperatures, electric current and voltage were collected by automatic measurement for 30 min. The results indicated that with the increase of temperature, the electric power and percentage difference when using heat pipe combined with heat sinks was higher than using heat pipe alone. The maximum electric power when using heat pipe and heat pipe combined with heat sinks at 230 °C hot side temperature were 1.5W and 2.1W, respectively. From the model that used to expand cooling mechanism of heat pipe indicated that heat transfer coefficient for natural convection was 30.8 W/m²K . The thermal resistance for junction of heat pipe combined with heat sinks was 0.11-0.15 K/W. The results indicated that cooling system with the higher surface area have better performance. However, in order to raise the maximum efficiency the thermal resistance for junction of cooling equipment needs to minimize.

Keywords : Thermoelectric, Cooling system

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถ การช่วยเหลือและสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ดร.อาภาภรณ์ สกฤตกระเวก และดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ เป็นผู้ให้คำปรึกษา แนวคิด ข้อเสนอแนะ แนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆตลอดจนโครงการพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจ และเป็นแรงผลักดันให้คณะผู้จัดทำซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการศึกษาและจัดทำโครงการพิเศษนี้

นางสาวกณิดา กามาตะ

นายชานน ทหโยทัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
คำย่อและสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีในการดำเนินงาน	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก	6
2.1.1 ปრაกฏการณ์ซีเบค	6
2.1.2 ปრაกฏการณ์เพลทีเยอร์	7
2.1.3 ปრაกฏการณ์ทอมสัน	8
2.1.4 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก	9
2.2 ท่อความร้อน	11
2.2.1 ท่อความร้อน	11
2.2.2 หลักการทำงานของท่อความร้อน	11
2.2.3 สารทำความเย็น	13
2.2.4 ข้อพิจารณาพื้นฐานในการออกแบบท่อความร้อน	16
2.2.5 การประยุกต์ใช้งานท่อความร้อน	18
2.2.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	19

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 การถ่ายเทความร้อน	19
2.3.1 สภาวะสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ	20
2.3.2 การนำความร้อน	21
2.3.3 การพาความร้อน	23
2.3.4 การแผ่รังสี	25
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	28
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	28
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	32
3.3.1 การออกแบบลักษณะของฮีทไปป์	32
3.3.2 ทดสอบความสามารถในการระบายความร้อนของฮีทไปป์	33
3.3.3 วัดกำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อใช้เตาเป็นแหล่งความร้อน	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	
4.1 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก	35
เมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์	
4.1.1 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ที่วางตัวในแนวตั้ง	35
และในแนวระดับ	
4.1.2 ผลการทดสอบอุณหภูมิทางด้านเย็น เมื่อฮีทไปป์วางตัวแนวระดับ	37
4.1.3 ผลการทดสอบอุณหภูมิทางด้านเย็น เมื่อฮีทไปป์วางตัวแนวตั้ง	39
4.1.4 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก	40
4.1.5 แบบจำลองอธิบายการระบายความร้อนของฮีทไปป์	42
4.2 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และฮีทซิงค์	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	53

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการเปลี่ยนความร้อนเหลือทิ้งจากเตาहुงดัมเป็นไฟฟ้า โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกส์โมคูลและแหล่งระบายความร้อน	3
2.1 ตารางแสดงสารบรรจุทำงานที่ใช้กันและช่วงอุณหภูมิใช้งาน	17
2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	21
2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	24
3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก	29
4.1 กำลังไฟฟ้าและอัตราการไหลของความร้อนผ่านเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออุณหภูมิทดสอบด้านร้อนเป็น 150 °C, 200 °C และ 300 °C	44
4.2 กำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อมีอัตราการไหลของความร้อนและความต้านทานเชิงความร้อน ของรอยต่อ	52



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 กระบวนการเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล	2
2.1 Thomas Johann Seebeck	6
2.2 ความต่างศักย์ซีเบคและการไหลของกระแสไฟฟ้า	6
2.3 Jean Charles Athanase Peltier	7
2.4 William Thomson (Lord Kelvin)	8
2.5 วงจรเทอร์โมไดนามิกส์ของปรากฏการณ์ทอมสัน (H.J. Goldsmid, 1960)	9
2.6 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	9
2.7 เทอร์โมอิเล็กทริก (a) ขณะทำความเย็น (b) ขณะทำความร้อน	10
2.8 เทอร์โมอิเล็กทริกขณะผลิตไฟฟ้า	11
2.9 โครงสร้างภายในของอีทไปป์	12
2.10 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนในแบบต่างๆ	19
2.11 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น	20
2.12 การนำความร้อนแบบมิติเดียวผ่านผนังราบชั้นเดียว	22
2.13 ลักษณะของการพาความร้อน	23
2.14 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับการถ่ายโอนจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆ	24
2.15 ลักษณะของการแผ่รังสี	25
3.1 เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น HZ-14	28
3.2 อีทไปป์	29
3.3 แผ่นทองแดงและแผ่นอะลูมิเนียม	29
3.4 EAD MILL	30
3.5 กระบวนการจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	30
3.6 NI 9201, NI 9211 และ NI9227	31
3.7 โปรแกรม LabVIEW	31
3.8 ภาพไอโซเมตริกแสดงลักษณะของฐานทั้งสองด้านของชุดระบายความร้อน	32
3.9 การกีดกันงานอะลูมิเนียมและทองแดง	32
3.10 ชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองแดงเพื่อทำการกัดเสร็จ	33
3.11 ชุดระบายความร้อนเมื่อประกอบเข้าด้วยกัน	33

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ฐานของชุดระบายความร้อนโดยใช้อะลูมิเนียม	35
4.2 ฐานของชุดระบายความร้อนโดยใช้ทองแดง	36
4.3 ระบบระบายความร้อนโดยใช้โดยใช้อีทไปป์	36
4.4 ภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพความร้อน (IR Camera, FLIR)	37
4.5 อุณหภูมิด้านเย็น (T_c) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 200 °C	38
4.6 อุณหภูมิด้านเย็น (T_c) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 250 °C	38
4.7 อุณหภูมิด้านเย็น (T_c) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 300 °C	38
4.8 อุณหภูมิด้านเย็น (T_c) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 200 °C	39
4.9 อุณหภูมิด้านเย็น (T_c) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 250 °C	39
4.10 อุณหภูมิด้านเย็น (T_c) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 300 °C	39
4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับการถ่ายโอนจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆ	40
4.12 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C, 200 °C และ 230 °C	41
4.13 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C, 200 °C และ 230 °C	41
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของความร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก	42
4.15 เปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลของความร้อนกับความต้านทานแบบอนุกรมของระบบไฟฟ้า	44
14.6 ฮีทซิงค์	46
4.17 ระบบระบายความร้อนโดยใช้โดยใช้อีทไปป์และฮีทซิงค์	46
4.18 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C เมื่อระบบระบายความร้อนเป็นอีทไปป์และอีทไปป์กับฮีทซิงค์	47
4.19 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 200 °C เมื่อระบบระบายความร้อนเป็นอีทไปป์และอีทไปป์กับฮีทซิงค์	47
4.20 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C เมื่อระบบระบายความร้อนเป็นอีทไปป์และอีทไปป์กับฮีทซิงค์	47
4.21 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C	48
4.22 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 200 °C	48
4.23 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C	49

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 ช่องว่างระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์ที่ทำให้เกิดความต้านทานเชิงความร้อน	49
4.25 เปรียบเทียบระหว่างความต้านทานเชิงความร้อนกับความต้านทาน แบบอนุกรมและขนานของระบบไฟฟ้า	50



คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
kW	กิโลวัตต์
W	กำลังไฟฟ้า
T _H	อุณหภูมิด้านร้อน
T _C	อุณหภูมิด้านเย็น
T _R	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม
I	กระแสไฟฟ้า
V	ความต่างศักย์
$\bar{E}$	เวกเตอร์สนามไฟฟ้า
α	สัมประสิทธิ์ซีเบค
$\bar{\nabla}T$	เกรเดียนของอุณหภูมิ
M	เมตร
K	เคลวิน
Q	อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับได้
τ	Thomson Coefficient
Kg	กิโลกรัม
cm ²	ตารางเซนติเมตร
°C	องศาเซลเซียส
$\dot{Q}$	Heat Transfer Rate
K	Thermal Conductivity
A	พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ
X	ความหนาของวัสดุ
T ₁	อุณหภูมิด้านร้อน
T ₂	อุณหภูมิด้านเย็น
m ²	ตารางเมตร
mm	มิลลิเมตร
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน
ΔT	ผลต่างอุณหภูมิ

คำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

คำย่อ	ความหมาย
ms	มิลลิวินาที
Ω	โอห์ม
R_C	ความต้านทานเชิงความร้อนเนื่องจากรอยต่อ
P	กำลังไฟฟ้า
r_o	รัศมีภายนอกของฮีทไปป์
r_i	รัศมีภายในของฮีทไปป์
K	สภาพนำความร้อนของทองแดง
L	ความยาวของทองแดง
R_{h1}	ความต้านทานเชิงความร้อนของการนำความร้อนในบริเวณฮีทไปป์
R_{k1}	ความต้านทานเชิงความร้อนของการพาความร้อนในบริเวณฮีทไปป์
R_{h2}	ความต้านทานเชิงความร้อนของการนำความร้อนในบริเวณฮีทซิงค์
R_{k2}	ความต้านทานเชิงความร้อนของการพาความร้อนในบริเวณฮีทซิงค์
R_c	ความต้านทานเชิงความร้อนของรอยต่อระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์
R_b	ความต้านทานความร้อนของฐาน
t_b	ความหนาของฐาน
K	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอะลูมิเนียม
A_b	พื้นที่ผิวข้างฐาน
R_f	ความต้านทานความร้อนของครีป
n	จำนวนครีป
h_f	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ
w_f	ความยาวครีป
t_f	ความหนาครีป
L_f	ความสูงครีป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

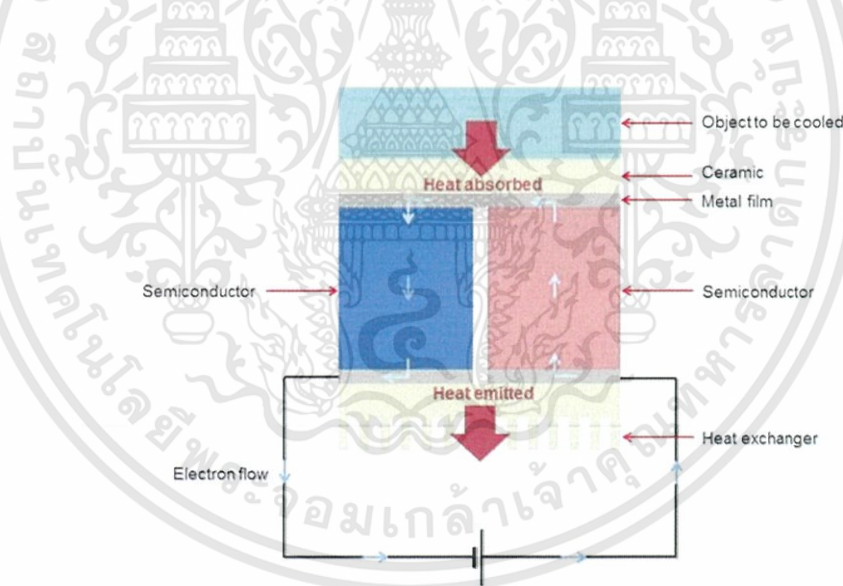
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ภาวะโลกร้อน (Global warming) เป็นปัญหาสำคัญในระดับนานาชาติที่ส่งผลกระทบรุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก สาเหตุหนึ่งเกิดจากการที่มนุษย์เผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil) เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เพื่อผลิตพลังงาน โดยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ออกสู่ชั้นบรรยากาศเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและเพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันล้วนนำมาซึ่งวิกฤติการณ์ขาดแคลนเชื้อเพลิงในอนาคต จึงจำเป็นต้องมีการแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อทดแทน ที่สำคัญต้องไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมและภาวะเรือนกระจกด้วย

การใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเป็นอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากความร้อนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานสะอาด เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้นทำจากสารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดต่างกัน ทำให้เกิดการดูดกลืนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำชนิด พี สู่วัสดุระดับสูงในสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็น ส่งผลให้เกิดการดูดกลืนความร้อนที่ด้านเย็น และขณะเดียวกันก็เกิดการดูดกลืนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น สู่วัสดุระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำชนิด พี ส่งผลให้เกิดการคายความร้อนที่ด้านร้อน จากหลักการทำงานดังกล่าวของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจึงนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตอุปกรณ์สำหรับการผันกลับความร้อนมาเป็นกระแสไฟฟ้า จึงนับได้ว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเป็นอีกแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ที่สะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ในพื้นที่ชนบทของประเทศที่กำลังพัฒนา ประชากรประมาณ 90% ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการดำเนินกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะใช้ในระบบเตาหุงต้มเพื่อประกอบอาหาร ซึ่งรูปแบบของเตาหุงต้มที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพต่ำ [1] Bhattacharya และคณะ [2] ได้ศึกษารูปแบบของเตาหุงต้มที่ใช้ในประเทศต่างๆในทวีปเอเชีย เช่น ไทย ลาว เวียดนาม มาเลเซีย อินเดีย เป็นต้น พบว่า ทุกๆประเทศจะมีเตาหุงต้มแบบดั้งเดิมซึ่งจะมีประสิทธิภาพต่ำ อีกทั้งยังปลดปล่อยคาร์บอนออกมาในปริมาณมาก โดยในแต่ละประเทศจะมีการปรับปรุงเตาหุงต้มแบบดั้งเดิมให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งการปรับปรุงจะเน้นการเพิ่มช่องเปิดเพื่อให้อากาศสามารถเข้าไปในเตาได้มากขึ้น และการเพิ่มฉนวนความร้อนที่หุ้มด้านนอกเตาเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ถึงอย่างไรก็ตาม เตาหุงต้มของไทยมีประสิทธิภาพที่ประมาณ 11% ถึง 18% ซึ่งถือว่าต่ำเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ

องค์การ 'Pllanete Bois' ของประเทศฝรั่งเศส ได้วิจัยและพัฒนาระบบเพื่อสามารถนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากเตาหุงต้มมาผลิตเป็นไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก [3] Nuwayhid และคณะ [4] ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำความร้อนประมาณ 20 ถึง 50 kW ที่ได้จากการหุงต้มมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าประมาณ 10 ถึง 100 W โดยต้นแบบแรกที่ศึกษาพบว่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในอัตรา 1 W ซึ่งน้อยมาก เนื่องจากโมดูลที่เลือกใช้เป็นแบบที่มีคุณภาพต่ำ จึงมีข้อจำกัดด้านผลต่างอุณหภูมิ ต่อมาเมื่อเปลี่ยนมาใช้โมดูลที่มีคุณภาพสูงขึ้น จำนวน 1, 2 และ 3 โมดูล โดยใช้สิ่งแวดล้อมทำหน้าที่เป็นแหล่งระบายความร้อน พบว่า สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในอัตรา 4.2 W ต่อโมดูลและกำลังไฟฟ้าต่อโมดูลลดลงเมื่อจำนวนโมดูลที่ใช้มากขึ้น เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นลดลง ผู้วิจัยได้แนะนำระบบระบายความร้อนเป็นท่อระบายความร้อน (Heat pipe) ซึ่งคาดว่าจะทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงขึ้น Lertsatitthannkorn [5] นำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์กับเตาหุงต้มของประเทศไทยเพื่อผลิตไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ชนบท โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในอัตรา 2.4 W เมื่อความต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 150°C ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ได้เพียงพอที่จะนำไปใช้สำหรับระบบไฟส่องสว่างและวิทยุขนาดเล็ก กระบวนการเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าแสดงดังแผนภาพ



รูปที่ 1.1 กระบวนการเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

จากรูปที่ 1 พบว่าระบบการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกจะให้ประสิทธิภาพที่ดีนอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาประดิษฐ์เป็นโมดูลแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ การออกแบบระบบระบายความร้อน (Heat sink) ซึ่งถ้าการระบายความร้อนดีจะทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าดีขึ้น ตารางที่ 1 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการนำเมอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาใช้ในระบบเตาหุงต้ม ซึ่งข้อมูลได้จากงานวิจัยต่างๆ

ตารางที่ 1.1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการเปลี่ยนความร้อนเหลือทิ้งจากเตาหุงต้มเป็นไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลและแหล่งระบายความร้อน

ผู้วิจัย	ระบบระบายความร้อน (Heat sink)	กำลังไฟฟ้าที่ได้ต่อ โมดูล (W)
Nuwayhid et al., 2003 [4]	Natural air cooling	1
Nuwayhid et al., 2005 [6]	Natural air cooling	4.2
Nuwayhid and Hamade., 2005 [7]	Natural air cooling	3.4
Lertsatitthannkorn, 2007 [5]	Natural air cooling	2.4
Mastbergen and Wilson, 2007 [8]	Forced air cooling (1 W)	4
“BioLite” 2009 [9]	Forced air cooling (1 W)	1-2
Champier et al. “TEGBios” 2009 [10]	Water cooling	5
Rinalde et al., 2010 [11]	Forced water cooling	10

ข้อดีของการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้กับระบบเตาหุงต้ม คือ

1. ความร้อนที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นความร้อนที่ได้โดยตรงจากเตาหุงต้ม ซึ่งไม่จำเป็นต้องนำความร้อนภายนอกมาเพิ่มอีก
2. การดูแลรักษาง่าย เนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนที่ใช่มอเตอร์จึงไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่และเสียงดัง
3. การใช้งานจะได้ตลอดเวลาที่มีการประกอบอาหารซึ่งอาจจะเป็นช่วงเช้าหรือช่วงเย็น ในทุกสภาพอากาศ จึงเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการวิจัยของ ดร.อาภาภรณ์ [12] และคณะ ได้นำผนังบางส่วนของเตาหุงต้มออกและนำระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเข้าไปติดตั้งที่ จากผลการทดลอง พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาผลิตไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเตาหุงต้ม เมื่ออุณหภูมิด้านร้อนมีค่าประมาณ 180° C อุณหภูมิด้านเย็น 120° C จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1.6 W นอกจากนี้เมื่อนำไฟฟ้าบางส่วนมาขับเคลื่อนพัดลมขนาดเล็กเพื่อเป่าอากาศเข้าไปในเตา ทำให้ได้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยดังกล่าวมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรเจาะผนังเตาให้เล็กลงเพื่อลดการสูญเสียความร้อน
2. ระบบระบายความร้อนควรใหญ่ขึ้นเพื่อให้ระบายความร้อนได้ดีและป้องกันพัดลมเป่าลมไปสัมผัสกับแผ่นอะลูมิเนียมที่รับความร้อน ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิด้านร้อนมีค่าไม่สูงพอ

3. นำฉนวนมาถักนึ่งระหว่างน็อตกับฮีตซิงค์เพื่อลดการนำความร้อนจากด้านร้อนมาสู่ด้านเย็นซึ่งจะทำให้อุณหภูมิด้านเย็นมีค่าต่ำลงส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ได้มากขึ้น
4. หาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพิ่มเติมจากการนำพัดลมไปเป่าเข้าในเตาเพื่อให้ได้ปริมาณความร้อนมากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยในหัวข้อเรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาหุงต้มด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล” ปัญหาที่พบในงานวิจัยคือ แหล่งระบายความร้อนยังมีประสิทธิภาพต่ำ ส่งผลให้ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าน้อยลง ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาต่อยอดและปรับปรุงระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้ม โดยเน้นปรับปรุงระบบระบายความร้อนสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เพื่อให้อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมีค่าน้อยกว่า 120°C ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากกว่า 1.6 W นอกจากนี้จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อนให้ได้มากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงระบบระบายความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้ม
2. หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการนำพลังงานบางส่วนที่ผลิตได้ไปขับเคลื่อนพัดลมขนาดเล็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อนให้ได้มากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ระยะเวลาดำเนินการ 8 เดือน ตั้งแต่ 1 มิถุนายน 2556 ถึง 28 กุมภาพันธ์ 2557

1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีในการดำเนินงาน

เดือนที่ 1-4 เป้าหมายคือ ได้ระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ

1. ศึกษาระบบระบายความร้อนประเภทต่างๆ
2. ออกแบบระบบระบายความร้อนที่เหมาะสม และนำไปติดตั้งกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้แหล่งความร้อนเป็นฮีตเตอร์
3. บันทึกอุณหภูมิด้านร้อน (T_H), อุณหภูมิในการระบายความร้อน (T_C), อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (T_R), กระแสไฟฟ้า (I), และความต่างศักย์ (V) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ

เดือนที่ 5-6 เป้าหมายคือ ได้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลโดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้มที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า 1.6 วัตต์

4. นำระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยใช้แหล่งระบายความร้อนที่ออกแบบไปประกอบเข้ากับเตาหุงต้ม
5. บันทึกอุณหภูมิด้านร้อน (T_H), อุณหภูมิในการระบายความร้อน (T_C), อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (T_R), กระแสไฟฟ้า (I), และความต่างศักย์ (V) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ

เดือนที่ 7-8 เป้าหมายคือ ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้ได้มากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์

6. นำพลังงานไฟฟ้าบางส่วนที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ไปขับเคลื่อนพัดลมขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานความร้อน
7. สรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ ใช้งานสะดวก และมีต้นทุนต่ำ
2. นำระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลโดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้มไปใช้จริง และนำองค์ความรู้ที่ได้ไปพัฒนาโดยใช้แหล่งความร้อนที่มีผลกระทบต่อชุมชนมากขึ้น เช่น ความร้อนจากเตาเผาถ่าน เตาเผาอิฐ หรือเตาเผาขยะ เป็นต้น
3. นำความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายความร้อนชนิดอื่นๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

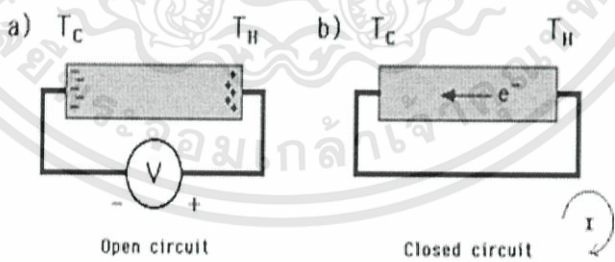
2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)

2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect)

ในปี 1821 โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) [13] นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันกล่าวว่า “เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด”



รูปที่ 2.1 Thomas Johann Seebeck
Undated engraving, Deutsches Museum, Munich



รูปที่ 2.2 ความต่างศักย์ซีเบคและการไหลของกระแสไฟฟ้า

ปรากฏการณ์ซีเบคเป็นปรากฏการณ์ที่มีรากฐานอยู่ที่การผันความร้อนเป็นไฟฟ้า ความสำคัญทางกายภาพของมันสามารถเห็นได้โดยการพิจารณาปรากฏการณ์ของการบังคับกระเด็นตัวของอนุภาคมิสม่าเสมอให้ไหลไปตามตัวนำจำกัด ซึ่งในตอนเริ่มแรกตัวนำจะควบคุมการกระจายอย่างสม่ำเสมอของตัวพาหะประจุ แต่ภายใต้เกรเดียนต์อุณหภูมิหนึ่งพาหะอิสระต่างๆ ที่ปลายด้านร้อน

(Hot end) จะมีพลังงานจลน์มากกว่าที่ปลายด้านเย็น (Cold end) และมีแนวโน้มที่จะแพร่ไปปลายด้านเย็น การเกิดขึ้นของประจุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (Back Electromotive Force หรือ Back e.m.f) ซึ่งตรงกันข้ามกับการไหลของประจุ ความต่างศักย์วงจรเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหลที่เกิดขึ้น เรียกว่า ความต่างศักย์ซีเบค (Seebeck Voltage)

สำหรับสมการของ Seebeck Effect ถ้าเขียนในรูปของความต่างศักย์และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ จะได้ว่า

$$\bar{E} = \alpha \bar{\nabla} T \quad (1)$$

โดย	$\bar{E}$	คือ	เวกเตอร์สนามไฟฟ้า (V/m)
	α	คือ	สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)
	$\bar{\nabla} T$	คือ	เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ (K)

วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck Coefficient) ไม่เท่ากับศูนย์ จะเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก และจะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ เช่น ในกรณีของสารกึ่งตัวนำ N-type จะมีสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นลบ แต่ P-type จะมีสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นบวก เป็นต้น

2.1.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

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



รูปที่ 2.3 Jean Charles Athanase Peltier

ปรากฏการณ์เพลเทียร์เป็นปรากฏการณ์หนึ่งซึ่งคู่กันกับปรากฏการณ์ซีเบค และถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำระบบหล่อเย็นจากการผันความร้อนจากไฟฟ้า (Thermoelectric Refrigeration) ในที่นี้ อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับได้ (Rate of Reversible Heat Absorption, Q) ซึ่งส่งมาพร้อมกับการผ่านกระแสไฟฟ้า (I) ผ่านรอยต่อ คือ

$$Q = \pi_{ab} I \quad (2)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์ของเพลเทียร์ของรอยต่อ หาได้จาก

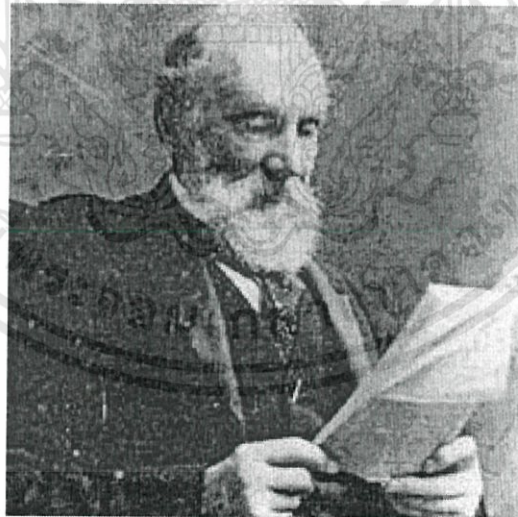
$$\pi = \alpha T \quad (3)$$

$\pi < 0$; ค่าสัมประสิทธิ์ เพลเทียร์เป็นลบ

$\pi > 0$; ค่าสัมประสิทธิ์ เพลเทียร์เป็นบวก

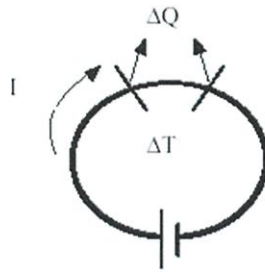
2.1.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson Effect)

ในปี 1954 วิลเลียม ทอมสัน (William Thomson) หรือ หลอด เคลวิน (Lord Kelvin) นักฟิสิกส์ชาวสก็อตกล่าวว่า “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าสองจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ทิศทางความร้อนขึ้นอยู่กับการไหลของกระแสไฟฟ้าจากจุดเย็นไปจุดร้อนหรือจากจุดร้อนไปจุดเย็น”



รูปที่ 2.4 William Thomson (Lord Kelvin)

ปรากฏการณ์ทอมสัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแพร่ของความร้อนแบบกลับได้ ΔQ ซึ่งเกิดขึ้นมาเนื่องจากการผ่านของกระแสไฟฟ้าตามตัวนำเดี่ยวอันหนึ่งเมื่อมีเกรเดียนต์ ΔT อุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรเทอร์โมไดนามิกส์ของปรากฏการณ์ทอมสัน (H.J. Goldsmid, 1960)

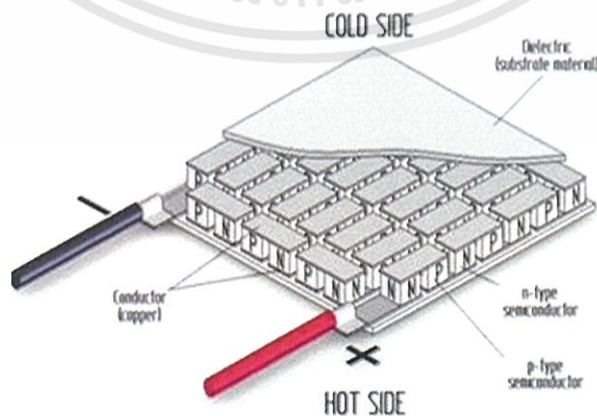
ความสัมพันธ์ระหว่าง α และ τ เป็น

$$\tau = T \frac{d\alpha}{dT} \tag{4}$$

τ คือ Thomson Coefficient (VK^{-1})

2.1.4 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

การประกอบ “วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก” [14] ให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้งานเป็นแหล่งพลังงานได้ เรียกว่า “เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric Module)” เริ่มต้นจากการนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ชนิดเอ็น (N-type) และชนิดพี (P-type) ชิ้นเล็กๆ มาต่อกันเป็นคู่ๆ โดยวางสลับกัน และมีโลหะขนาดเล็กเชื่อมต่อทั้งคู่เข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละคู่ที่ต่อกันจะมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้าตั้งแต่ตัวแรกถึงตัวสุดท้าย เมื่อนำมาต่อเข้ากับ โหลด (Load) หากมีกระแสไฟฟ้าไหลก็จะครบวงจรพอดี ที่ด้านบนและด้านล่างถูกประกบด้วยแผ่นเซรามิค ปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นด้านบนและด้านล่างขึ้นอยู่กับจำนวนคู่ของ เอ็น-พี ในโมดูลนั้น

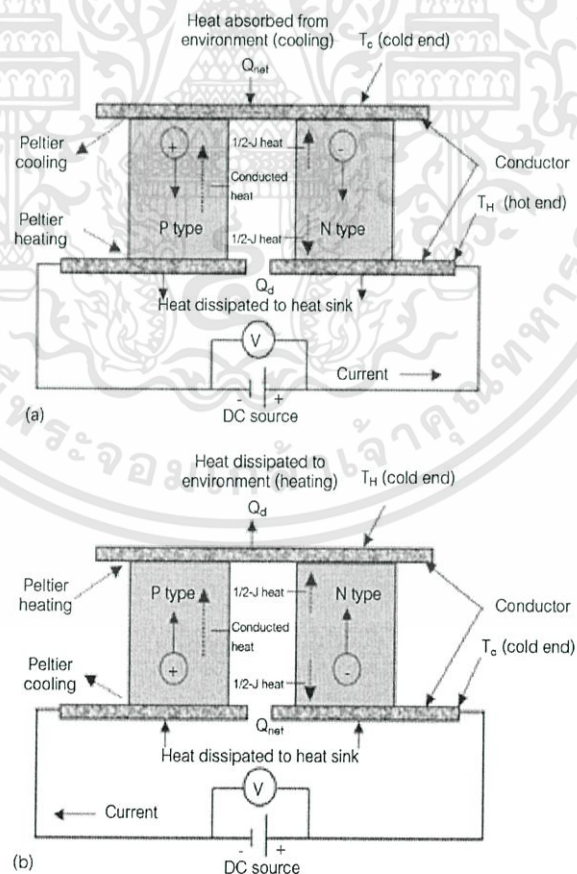


รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

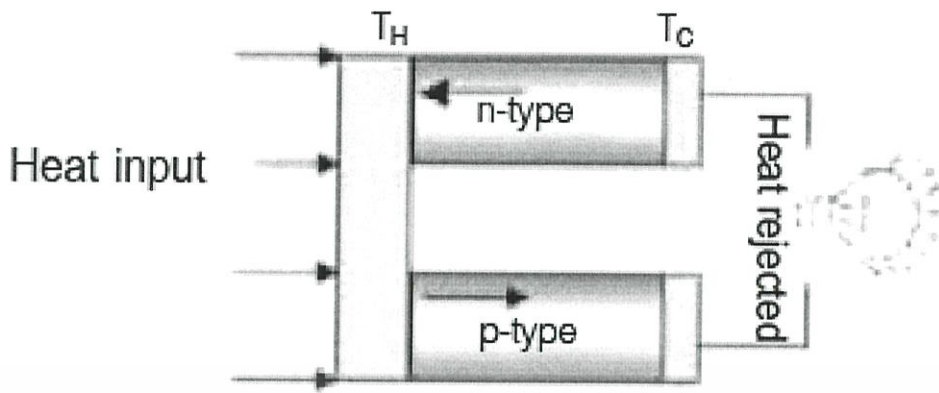
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล แบ่งเป็น 2 โหมดดังนี้ โหมดแรก เรียกว่า “โหมดผลิตไฟฟ้า (Generator Mode)” โดยให้ความต่างของอุณหภูมิบนแผ่นเซรามิคด้านบนและด้านล่างทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเนื่องจากพาหะเอ็นและพีในสารกึ่งตัวนำเหล่านั้น ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวก เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง โฮลก็จะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่าง เช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจึงไหลตามกันไปทิศทางเดียวกัน

ส่วนการทำงานอีกโหมดหนึ่งในทางกลับกัน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนและด้านล่าง เรียกว่า “โหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้า (Refrigerator Mode)” เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอก เช่น แบตเตอรี่ จะทำให้เกิดความแตกต่างของความร้อนและความเย็นที่ผิวแต่ละด้าน เนื่องจากการกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง



รูปที่ 2.7 เทอร์โมอิเล็กทริก (a) ขณะทำความเย็น (b) ขณะทำความร้อน [15]



รูปที่ 2.8 เทอร์โมอิเล็กทริกขณะผลิตไฟฟ้า [15]

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้แล้วในต่างประเทศที่มีอากาศหนาว เช่น โหมมการผลิตรถกระแสไฟฟ้า สามารถนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลด้านหนึ่งมาประกบเข้ากับแหล่งความร้อนที่สูญเสียต่างๆ เช่น เครื่องจักร เครื่องยนต์ประเภทใช้ได้ทั้งไฟฟ้าและน้ำมัน (Hybrid) ท่อไอเสีย คอมเพรสเซอร์แอร์ เตาความร้อน หรือแม้แต่บนดาวเทียม ที่ผิวอีกด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลอากาศเย็นกว่า ก็จะเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งนี้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้

2.2 ท่อความร้อน (Heat Pipe)

2.2.1 ท่อความร้อน (Heat Pipe)

ท่อความร้อนหรือฮีทไปป์ [16] คือ อุปกรณ์อย่างง่ายซึ่งมีความสามารถถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆ ได้รวดเร็วมาก โดยเปรียบเทียบกับได้กับตัวนำยิ่งยวด (Superconductor) ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนได้ทั้งหมดโดยไม่มีการสูญเสีย

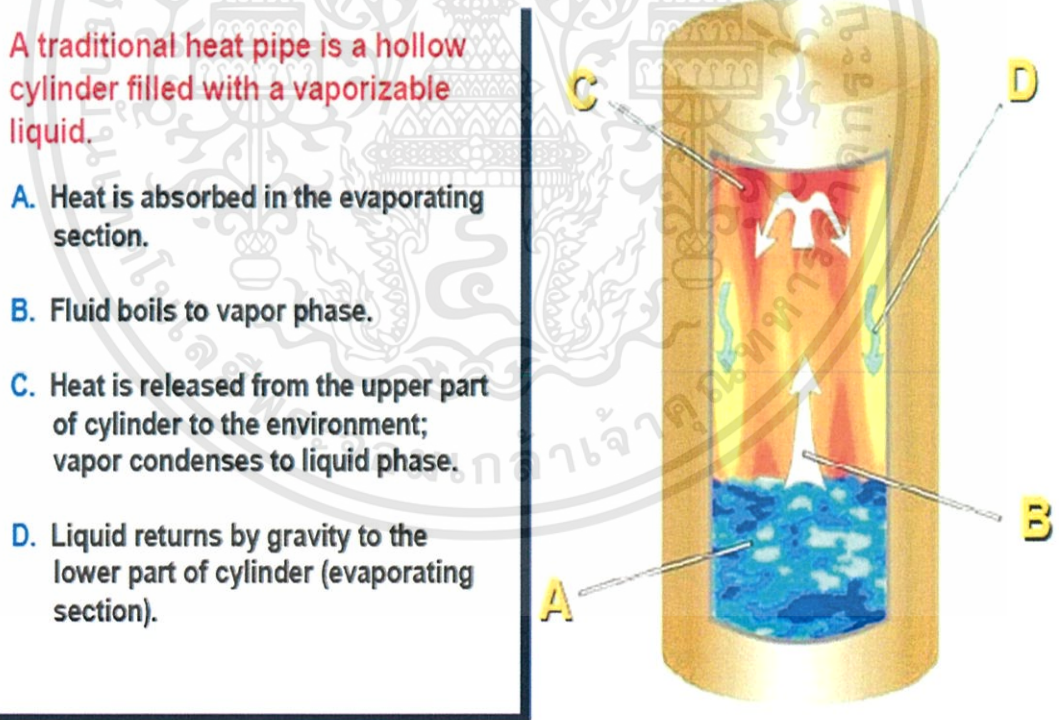
ฮีทไปป์ถูกคิดค้นในช่วงประมาณปี ค.ศ. 1950 และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ ค.ศ. 1970 เป็นต้นมาและค้นคว้าพัฒนามาถึงปัจจุบันมีเวลานานกว่า 60 ปีแล้ว โดยแรกเริ่มต้นในด้านเทคโนโลยีอวกาศ ดาวเทียม โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยในระยะหลัง 10 - 15 ปี จนถึงปัจจุบันฮีทไปป์ได้ถูกนำมาใช้ในการลดความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ หรือนำไปใช้ด้านประหยัดพลังงานและแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรมทั่วไป

2.2.2 หลักการทำงานของท่อความร้อน

ฮีทไปป์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน โดยการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารที่บรรจุอยู่ภายในท่อซึ่งไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก

มีลักษณะเป็นท่อปลายปิดทั้งสองข้างเป็นสุญญากาศที่มีสารทำงาน (Working Fluid) บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งมักจะเป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) ฟรีออน R-22 หรือ R134A โดยท่อที่ใช้จะเป็นอะลูมิเนียม ทองแดง หรือ สแตนเลส โดยแยกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนทำระเหย (Evaporator) และส่วนควบแน่น (Condenser) และมีส่วนโครงสร้างวัสดุพรุนหรือไส้ (Wick) ในบริเวณผนังผิวในของท่อและมีการทำงานคือของไหลที่อยู่ภายในท่อ เมื่อได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอจากส่วนทำระเหยและนำเอาความร้อนนั้นส่งถ่ายจากส่วนแรกไปถ่ายเทยังส่วนที่เย็นกว่า จากนั้นไอจะควบแน่นกลายเป็นของเหลวอีกครั้งและไหลกลับสู่ปลายท่อที่ร้อนส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงอีกครั้งเป็นวัฏจักรและจากค่าความร้อนแฝงของการระเหยของของไหลที่มีค่าสูงมาก ดังนั้นท่อความร้อนจะสามารถส่งถ่ายความร้อนปริมาณมากจากปลายหนึ่งไปสู่อีกปลายหนึ่ง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิไม่มากได้

หลักการข้างต้นจึงสามารถนำท่อความร้อนในการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากกลับไปใช้ในการอบแห้งหรือการระบายความร้อนเข้าหรือออกจากเครื่องจักรอุปกรณ์ทางไฟฟ้าได้หลากหลายประเภท



รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายในของฮีทไปป์

การทำงานของฮีทไปป์อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นร่วมกับแรงโน้มถ่วงของสารทำงาน โดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก (Passive) กล่าวคือสารทำงานในท่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านที่ต่ำกว่าเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นไปยังด้านที่สูงกว่าแล้วคายความร้อนออก ทำให้ไอของสารทำงานมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่นกลายเป็นของเหลวตกลงสู่ด้านที่ต่ำกว่าอีกครั้ง และด้วยเหตุนี้จึงเรียกด้านที่อยู่ต่ำกว่าว่าด้านระเหย (Evaporation Section) และเรียกด้านที่อยู่สูงกว่าว่าด้านควบแน่น (Condensation Section) ดังแสดงในรูปที่ 2.9

2.2.3 สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน [18] นี้วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้บัญญัติคำศัพท์ทางวิชาการขึ้นเรียกว่า “สารทำความเย็น” และให้ความหมายของคำว่าสารทำความเย็นไว้ว่า “หมายถึง สารที่ทำให้เกิดความเย็นโดยการดูดความร้อน เมื่อขยายตัวหรือเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นไอ สารนี้ในสภาพไอ ถ้าได้ระบายความร้อนออกจะคืนสภาพเป็นของเหลว”

สารทำความเย็นจะทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางในการทำความเย็น (ถ่ายเทความร้อน) ขณะที่สารทำความเย็นในระบบภายในอีแวปอเรเตอร์เดือดเปลี่ยนสถานะเป็นไอที่อุณหภูมิและความดันต่ำจะต้องการความร้อนแฝงดูดซับปริมาณความร้อนจากอากาศภายในห้องรอบอีแวปอเรเตอร์ ปริมาณความร้อนจำนวนนี้จะถูกระบายออกทิ้งภายนอกห้องที่คอนเดนเซอร์เพื่อให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง สารทำความเย็นที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้มีอยู่ 3 ประเภท

โดยทั่วไปแล้วสารทำความเย็นส่วนใหญ่จะเป็นพวก Fluorinated Hydrocarbon แต่ก็ยังมีระบบทำความเย็นบางระบบที่มีการใช้สารทำความเย็นพวกอื่น เช่น พวก Hydrocarbon และสารพวก Inorganic Compound อยู่บ้าง เราสามารถแบ่งชนิดของสารทำความเย็นออกได้ดังนี้

1. กลุ่ม Halocarbon Compound เป็นสารทำความเย็นที่มีองค์ประกอบของกลุ่มธาตุ Halogen หรือ ธาตุหมู่ 7 อยู่ด้วยซึ่งได้แก่ Chlorine, Fluorine หรือ Bromine อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน
2. กลุ่ม Inorganic Compound เป็นสารประเภทอนินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะเป็นสารทำความเย็น ที่ใช้กันในปัจจุบัน เช่น น้ำ อากาศ แอมโมเนีย เป็นต้น
3. กลุ่ม Hydrocarbon เป็นสารที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน ดังรูปที่ 1 ซึ่งสารในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม สารทำความเย็นของระบบทำความเย็นที่ใช้ในอุตสาหกรรม Petroleum และ Petrochemical
4. กลุ่ม Azeotropes เป็นสารทำความเย็นที่ได้จากการผสมของสารทำความเย็นที่ต่างกัน 2 ชนิด โดยที่สารทั้งสองรวมกันเป็นเนื้อเดียวกัน ตัวอย่างสารกลุ่มนี้มีการใช้อย่างแพร่หลาย เช่น Refrigerant 502 ซึ่งมีส่วนผสมของ Refrigerant 22 เท่ากับ 48.8% กับ Refrigerant 115 เท่ากับ 51.2%

สารทำความเย็นที่ใช้โดยทั่วไปในงานเครื่องทำความเย็นในระยะแรกๆ ได้แก่ แอมโมเนีย และ CO_2 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ ต่อมา มีการนำเอาซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเมทิลคลอไรด์ใช้กับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก ต่อมาจึงใช้สารทำความเย็นพวกฟลูออโรคาร์บอนแทนและยังใช้อยู่ในปัจจุบัน สารทำความเย็นฟลูออโรคาร์บอนที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นสารประกอบระหว่างไฮโดรเจนกับคาร์บอนและนำเอาคลอรีนหรือฟลูออรีนเข้าไปแทนที่ ไฮโดรเจน ทั้งหมดนี้เรียกว่า ฮาโลคาร์บอน โดยชนิดและคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่ยังใช้ในระบบเครื่องเย็น ดังนี้คือ

1. แอมโมเนีย เป็นสารทำความเย็นที่เป็นพิษและไวไฟหรืออาจเกิดได้ถ้ามีส่วนผสมกับอากาศที่พอเหมาะเป็นสารทำความเย็นที่ดูดซับปริมาณความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง ปัจจุบันพบว่าใช้ในโรงงานทำน้ำแข็ง, โรงงานบรรจุอาหาร, ลานสกตน้ำแข็งและห้องเย็นขนาดใหญ่ๆ มีความดันในการกลั่น 1.4 Kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส และ 10.85 Kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
2. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นสารทำความเย็นที่เป็นพิษแต่ไม่ติดไฟและไม่ระเบิด ยังมีใช้อยู่บ้าง จุดเดือดของสารทำความเย็นนี้อยู่ที่ประมาณ -9.5 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิอิ่มตัว -15 องศาเซลเซียส และที่ 30 องศาเซลเซียส มีความดัน 3.64 Kg/cm^2 ไม่ละลายน้ำกับน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์และหนักกว่าน้ำมัน สารทำความเย็น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ บริสุทธิ์ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะ แต่ถ้ามีความชื้นในระบบจะมีสภาพเป็นกรดกำมะถัน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะ
3. คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารทำความเย็นชนิดแรกที่ใช้ในระบบเครื่องทำความเย็นอุตสาหกรรมเรือเดินทะเล โรงละคร โรงแรมและที่อื่นๆ ที่ต้องการความปลอดภัยเป็นพิเศษ เป็นสารทำความเย็นที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ไม่ติดไฟหรือระเบิดหรือไม่กัดกร่อนโลหะ
4. เมทิลคลอไรด์ เป็นสารพวกฮาโลคาร์บอนของมีเทนจุดเดือดอยู่ที่ -24 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ ใช้ในเครื่องทำความเย็นในบ้าน เช่น ตู้เย็นและตู้แช่ เมทิลคลอไรด์ไม่เป็นพิษเมื่อมีส่วนผสมมาก ติดไฟปานกลางและระเบิดเมื่อผสมกับอากาศระหว่าง $8.1-17.2\%$ โดยน้ำหนัก จะทำปฏิกิริยากับโลหะพวกอะลูมิเนียม สังกะสี แมกนีเซียม ซึ่งเมื่อผสมกับโลหะเหล่านี้อาจจะระเบิดได้ ถ้ามีความชื้นจะระเหิดเป็นกรดไฮโดรคลอริกอย่างอ่อน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะจำพวกเหล็กและอื่นๆ นอกจากนั้นยังทำปฏิกิริยากับยางธรรมชาติและยางเทียมและยังเป็นน้ำยาที่ละลายในน้ำมันเครื่อง

5. สารทำความเย็น R-11 เป็นพวกฟลูออโรคาร์บอนของมีเทน จุดเดือดอยู่ที่ 823.7 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ เป็นน้ำยาที่ไม่เป็นพิษ ละลายน้ำได้อย่างดีและไม่ติดไฟ ละลายยางธรรมชาติได้ ใช้เป็นสารทำความเย็นล้างระบบทำความเย็น
6. สารทำความเย็น R-12 ใช้สำหรับเครื่องทำความเย็นที่ใช้ในบ้าน เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ รถยนต์ มีสภาพแน่นอนไม่เปลี่ยนสภาพได้ง่ายแม้อุณหภูมิสูง จุดเดือดอยู่ที่ -29.87 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ สารทำความเย็น R-12 สามารถละลายในน้ำมันได้อย่างดีทุกสถานะ
7. สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศมาก ที่จุดเดือดอยู่ที่ -40.8 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศและสามารถทำได้ถึง -87 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2
8. สารทำความเย็น R-113 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นที่ทำงานเป็น 2 หรือ 3 ช่วง สามารถใช้แทน R-22 ได้ในเครื่องที่มีอุณหภูมิต่ำบางเครื่อง จุดเดือดอยู่ที่ -98 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศใช้กับคอมเพรสเซอร์ได้ทุกชนิด ไม่ละลายในน้ำมัน
9. สารทำความเย็น R-500 เป็นสารทำความเย็นระหว่าง R-22 กับ R-152a (78% กับ 26.2% โดยน้ำหนัก) สารทำความเย็น R-500 มีจุดเดือดอยู่ที่ -33 องศาเซลเซียส (-28 องศาฟาเรนไฮต์) ที่ความดันบรรยากาศ
10. สารทำความเย็น R-502 เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น 2 ชนิด คือ R-22 เท่ากับ 48.8% ผสมกับ R-115 เท่ากับ 51.2% เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ได้ดีในระบบต้องการอุณหภูมิต่ำขนาด 0 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง -60 องศาฟาเรนไฮต์ สารทำความเย็นชนิดนี้จะใช้ในห้องเก็บอาหารแช่แข็งหรือเย็นจัด ตู้เก็บอาหารเย็นจัดจนแข็งและถึงไอศกรีม
11. สารทำความเย็น R-503 เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น R-23 และ R-13 สัดส่วนเท่ากับ 40.1% กับ 59.9% ตามลำดับ จุดเดือดของสารทำความเย็นชนิดนี้ที่แรงดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับ -128.6 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งเป็นระบบทำความเย็นที่ใช้ในห้องทดลองหรือประเภทระบบเครื่องเย็นอุณหภูมิต่ำที่ต้องการอุณหภูมิ -100 องศาฟาเรนไฮต์ถึง -125 องศาฟาเรนไฮต์ แรงดันทางต่ำที่ 50 องศาฟาเรนไฮต์ เท่ากับ 264 psia และแรงดันทางต่ำที่อุณหภูมิวิกฤติ (Critical Temperature 67.1 องศาฟาเรนไฮต์) เท่ากับแรงดันวิกฤติ (Critical Pressure 607 psia)
12. สารทำความเย็น R-504 เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น 2 ชนิด คือ R-32 เท่ากับ 48.3% ผสมกับ R-115 เท่ากับ 51.7% จุดเดือดของ R-504 เท่ากับ -70 องศา

ฟาเรนไฮต์ที่แรงดันบรรยากาศ แรงดันของอีแวปอเรเตอร์ 5 องศาฟาเรนไฮต์เท่ากับ 85.93 psia แรงดันวิกฤตเท่ากับ 690 psia สารทำความเย็นชนิดนี้ใช้กับระบบเครื่องเย็นอุตสาหกรรมซึ่งต้องการที่อุณหภูมิต่ำขนาด -40 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง -80 องศาฟาเรนไฮต์

2.2.4 ข้อพิจารณาพื้นฐานในการออกแบบท่อความร้อน

มีส่วนประกอบพื้นฐาน 3 อย่างของท่อความร้อน คือ ตัวท่อ (Container), สารบรรจุใช้งาน (Working Fluid) และส่วนโครงสร้างวัสดุพรุนหรือไส้ (Wick หรือ Capillary Structure)

1. ตัวท่อ (Container)

ตัวท่อมี่หน้าที่แยกของไหลทำงานออกจากบรรยากาศไม่ให้เกิดการรั่วเพื่อรักษาความแตกต่างของแรงดันและทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนในส่วนที่ต้องการมาของไหลภายในได้ ส่วนการเลือกวัสดุที่ใช้ทำตัวท่อความร้อนนั้นขึ้นกับองค์ประกอบดังนี้

- ความสามารถที่เข้ากันได้ของวัสดุของไหลและบรรยากาศโดยไม่ทำปฏิกิริยากันหรือกัดกร่อนกัน (Compatibility)
- อัตราส่วนความเค้นต่อน้ำหนักควรมีค่าสูง (Strength to Weight Ratio) เพราะมีความสำคัญต่อการประยุกต์ใช้ในงานอากาศยาน
- มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง (Thermal Conductivity) เพราะทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ดี
- การผลิตประกอบโลหะ สามารถเชื่อมได้, สามารถตกแต่งด้วยเครื่องจักร เช่น การกลึงหรือหล่อเป็นชิ้นงานได้
- ความพรุนของตัววัสดุ (Porosity) โดยวัสดุจะต้องไม่มีความพรุนเพื่อป้องกันการระเหยของไอ
- ความสามารถในการเปียกของน้ำของสารหรือวัสดุ (Wettability)

2. สารบรรจุใช้งาน (Working Fluid)

ประเด็นแรกที่พิจารณาสำหรับความเหมาะสมของสารบรรจุใช้งาน คือ ช่วงอุณหภูมิที่กลายเป็นไอและประเด็นอื่นๆคือ

- สามารถใช้ร่วมงานกันได้และไม่ทำปฏิกิริยากันหรือกัดกร่อนกับไส้และวัสดุตัวท่อ
- สามารถคงความร้อนได้ดี
- ความสามารถในการเปียกของน้ำของสารหรือวัสดุ (Wettability)

- มีค่าแรงดันไอไม่สูงหรือน้อยในช่วงอุณหภูมิใช้งาน
- มีค่าความร้อนแฝงสูง
- มีค่าอุณหภูมิจุดไหลเทที่เหมาะสม

การเลือกสารบรรจุใช้งานต้องเป็นไปตามหลักอุณหพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น จิตจำกัดของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อความร้อน, ความหนืด, คลื่นเสียงและระดับการเดือด

การออกแบบท่อความร้อนนั้นของไหลที่ใช้ต้องมีค่าแรงดันผิวสูง เพราะจะทำให้ท่อความร้อนสามารถทำงานได้โดยแรงโน้มถ่วงเกิดแรงขับไหลสูง ดังนั้นการเพิ่มค่าแรงดันผิวของของไหลทำงานมีความจำเป็นต่อการสัมผัสกับท่อไส้และผิวผนังตัวท่อ คือมุมสัมผัสควรเป็นศูนย์หรือมีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 2.1 สารบรรจุทำงานที่ใช้กันและช่วงอุณหภูมิใช้งาน

สารที่บรรจุหรือตัวกลาง	อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (°C)	อุณหภูมิจุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ (°C)	ช่วงอุณหภูมิใช้งาน (°C)
ฮีเลียม	-271	-261	-271 ถึง -269
ไนโตรเจน	-210	-196	-203 ถึง -160
แอมโมเนีย	-78	-33	-60 ถึง 100
อะซิโตน	-95	57	0 ถึง 120
เมทานอล	-98	64	10 ถึง 130
เอทานอล	-112	78	0 ถึง 130
น้ำ	0	100	30 ถึง 200
ทูโลอิน	-95	110	50 ถึง 200
ปรอท	-39	361	250 ถึง 650
โซเดียม	98	892	600 ถึง 1,200
ลิเทียม	179	1,340	1,000 ถึง 1,800
เงิน	960	2,212	1,800 ถึง 2,300

สารบรรจุใช้งานควรมีค่าความร้อนแฝงสูง เพราะจะถ่ายเทปริมาณความร้อนได้สูง ที่ปริมาณการไหลน้อยและเหตุนี้ทำให้แรงดันตกในท่อความร้อนมีค่าน้อย ทั้งยังต้องมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการนำความร้อนสูงด้วยเพราะจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีค่าน้อย (Radial Temperature Gradient) และลดการเดือดที่เกิดขึ้นกับไส้และผนังตัวท่อ ส่วนการต้านการไหลให้มีค่าน้อยที่สุดโดยเลือกสารบรรจุทำงานที่มีค่าความหนืดต่ำ ซึ่งสารบรรจุทำงานที่ใช้กันแสดงในตารางที่ 2.1

3. ส่วนโครงสร้างวัสดุพรุนภายในหรือไส้ (Wick) [17]

ในท่อความร้อนจะมีไส้เป็นตัวดูดซับของเหลวกลับสู่ส่วนรับความร้อน โดยใช้หลักการหลอดรูเล็ก (Capillary Tube) ไส้จะต้องเป็นวัสดุที่มีลักษณะรูพรุนอาจทำจากเหล็ก, อลูมิเนียม, นิกเกิล, เซรามิก หรือทองแดง ซึ่งมีขนาดของรูพรุนหลากหลาย โดยทั่วไปจะทำจากเซรามิกและในการเลือกวัสดุรูพรุนสำหรับท่อความร้อนนั้นขึ้นกับหลายปัจจัยซึ่งจะพิจารณาจากคุณสมบัติของสารที่บรรจุ

ไส้มีหน้าที่ทำให้เกิดแรงดันด้านการไหลของของไหลทำงานที่ไหลจากส่วนควบแน่น (Condenser) ไปยังส่วนระเหย (Evaporator) ซึ่งจะทำให้ของไหลกระจายรอบส่วนระเหยเพื่อรับความร้อน โดยแรงดันด้านการไหลจะมีค่ามากขึ้นเมื่อจำนวนวัสดุพรุนมีมากและรูพรุนมีขนาดเล็ก การถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุของท่อความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาของวัสดุพรุนและความต้านทานความร้อนรวมที่ส่วนระเหยจะขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อนของของไหลทำงาน ชนิดของไส้ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ผงเซรามิก, ใช้ท่อผนังเกลียวอยู่ภายในท่อและตะแกรง (Screen Mesh) ซึ่งจะใช้กันส่วนใหญ่

2.2.5 การประยุกต์ใช้งานท่อความร้อน

1. ใช้ท่อความร้อนในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปนำท่อความร้อนมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการถ่ายเทความร้อนได้อย่างกว้างขวาง เช่น การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (Heat Pipe Heat Exchanger), การลดความชื้นในระบบปรับอากาศ, การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยนำท่อความร้อนมาแทนที่หรือในเครื่องทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ท่อความร้อนในส่วนแผงรับความร้อน เป็นต้น
2. ใช้ท่อความร้อนเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Economizer) ระหว่างไอเสียจากหม้อน้ำเชื้อเพลิงแข็ง (ไม้ฟืน) ขนาด 10 ตันต่อชั่วโมงกับน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อไอน้ำ ซึ่งสามารถอุ่นน้ำป้อนจากอุณหภูมิ 30 °C เป็น 65 °C ที่อัตราการไหล 12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยอุณหภูมิไอเสียลดลงจาก 230 °C เป็น 130 °C

3. ใช้จัดเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อนำมาอุ่นน้ำใช้ในชีวิตประจำวัน และระบบโรงแรมรีสอร์ท ในส่วนของแผงรับแสงเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นั้นใช้หลอดแก้วสุญญากาศแบบท่อความร้อน (Heat Pipe) เป็นตัวนำความร้อน
4. ใช้ปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำให้อากาศ ที่เรียกว่าฮีทเตอร์ไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำกับอากาศเพื่อให้ได้ลมร้อนไปอบอาหาร) โดยแบบเดิมเป็นท่อเหล็กติดครีป (Finn tube) และปรับปรุงโดยใช้ท่อความร้อนแทนท่อเหล็กติดครีป ส่งผลให้ลดการใช้ไอน้ำลงจากเดิมประมาณ 17 %
5. ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับอากาศ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์, ปั่นดินเผาและกระบวนการอบผลิตภัณฑ์ยาง

2.2.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากฮีทไปป์เป็นท่อปิดและไม่มีส่วนเคลื่อนที่ จึงมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็นออกสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามผู้ผลิตส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็น R-134a ทดแทน R-22 ในการผลิตฮีทไปป์ เพื่อให้เป็นไปตามพิธีสารมอนทรีออลในการควบคุมปริมาณการใช้สารทำความเย็นที่มีผลต่อการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

2.3 การถ่ายเทความร้อน

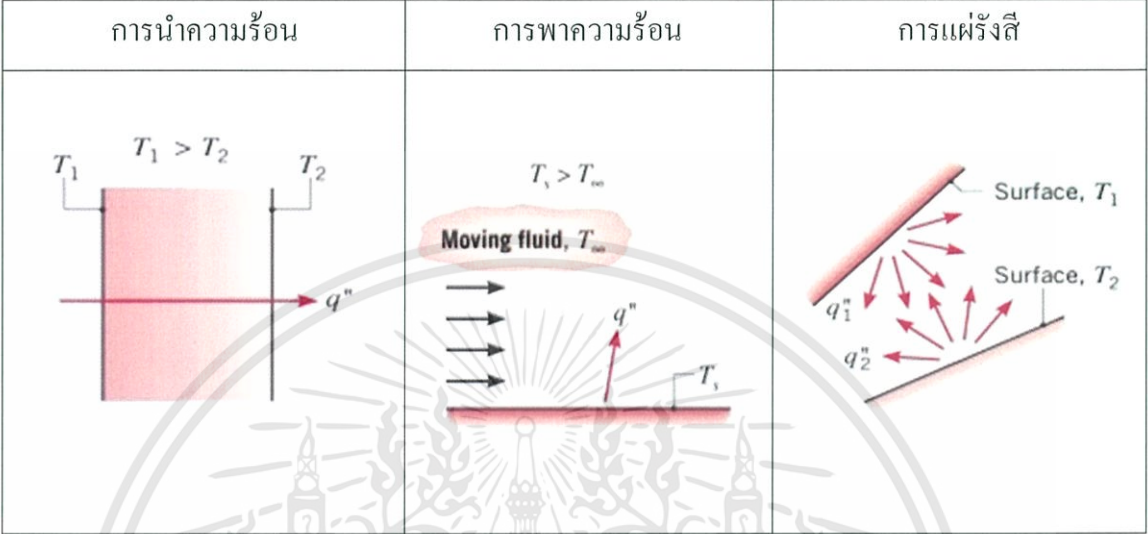
การถ่ายเทความร้อน [19] คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนก็จะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน คือ “ความแตกต่างของอุณหภูมิ” (Temperature Different)



รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนในแบบต่างๆ โดยเส้นทางการถ่ายเทความร้อน
แบบที่ 1 คือ การแผ่รังสี แบบที่ 2 คือ การนำความร้อน และแบบที่ 3 คือ การพาความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการเคลื่อนที่ของความร้อนจากจุดๆหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งแบ่งได้เป็น 3 วิธีคือ การนำ การพา และการแผ่รังสี โดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนทุกกระบวนการอาจเกิดจากการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวหรือหลายวิธีรวมกันก็ได้



รูปที่ 2.11 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี

2.3.1 สถานะสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ (Steady State and Unsteady State)

1. สถานะสม่ำเสมอ (Steady State) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุดๆหนึ่งในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลาหรืออาจเขียนอยู่ในรูปสมการได้ว่า $\partial T / \partial t = 0$ สถานะสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นในกรณีที่วัตถุได้รับการถ่ายเทความร้อนมาเป็นเวลานานพอสมควร จนอุณหภูมิในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าเราจะถ่ายเทความร้อนให้วัตถุไปอีกนานเท่าใด สถานะสม่ำเสมอซึ่งมีความหมายว่าอุณหภูมิที่จุดหนึ่งจุดใดในตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา เมื่อพิจารณาให้ดีจะเห็นว่า หากเกิดสถานะสม่ำเสมอแล้วอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนที่จุดใด ๆ ในทิศทางของการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากัน แสดงว่าถ้าความร้อนเคลื่อนที่ในทิศทางของ X อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนจะไม่เปลี่ยนแปลงกับ X ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้โดยใช้ปริมาตรควบคุม (Control Volume) ที่บางมากที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน สมมุติว่าจุดที่พิจารณาอยู่ในปริมาตรควบคุมนี้ หากจุด ๆ นั้นมีอุณหภูมิคงที่ก็หมายความว่า ปริมาตรควบคุมไม่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น แสดงว่าความร้อนที่เคลื่อนที่เข้าปริมาตรควบคุมจะเท่ากับความร้อนที่ออกจากปริมาตรควบคุม หากพิจารณาอย่างเดียวกันนี้กับปริมาตรควบคุมอื่นที่วางเรียงต่อเนื่องกันในทิศทาง X แสดงว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนนี้ไม่เปลี่ยนแปลงกับ X

2. สภาวะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady State หรือ Transient State) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุด ๆ หนึ่งในวัตถุยังเปลี่ยนแปลงอยู่ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป หรืออาจเขียนในรูปสมการ $\square \partial T/\partial t \neq 0$ สภาวะไม่สม่ำเสมอเกิดเมื่อตอนที่เรารเริ่มถ่ายเทความร้อนให้แก่วัตถุ อุณหภูมิของวัตถุยังไม่คงที่ ยังคงเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

2.3.2 การนำความร้อน

การนำความร้อน (Heat Conduction) [20] คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K)

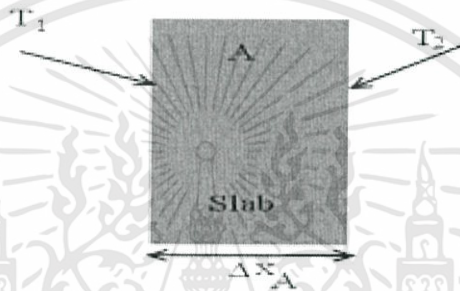
วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน(K) (W/mK)
อากาศ (ที่ความดันบรรยากาศ)	0.026
อะลูมิเนียม	237
คอนกรีต	1.82
ทองแดง	401
เพชร	2300
น้ำแข็ง	2.2
กระดาษ	0.05
ไม้	0.1-0.35
เงิน	429
ฟิวซี	0.161

การนำความร้อนเกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อนในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ (คล้ายการนำไฟฟ้า) ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น

การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K)

1. การนำความร้อนในผนังราบ [19] สำหรับการนำความร้อนมิติเดียวที่สภาวะ Steady State จะใช้ Fourier's law ในการอธิบายดังสมการ

$$\dot{Q} = -KA \frac{dT}{dX} \quad (5)$$



รูปที่ 2.12 การนำความร้อนแบบมิติเดียวผ่านผนังราบชั้นเดียว

สมการการนำความร้อนผ่านผนังราบชั้นเดียวเมื่อคิดว่า K และ A เป็นค่าคงที่ และมีเงื่อนไขขอบเขต คือ $T = T_1$ ที่ $X = 0$ และ $T = T_2$ ที่ $X = L$ เป็นดังนี้

$$\int_{X=0}^L \dot{Q} dx = - \int_{T_1}^{T_2} K A dT \quad (6)$$

อินทิเกรตสมการ (6) ได้เป็น

$$\dot{Q} = \frac{KA}{X} (T_1 - T_2) \quad (7)$$

โดย	$\dot{Q}$	คือ	Heat Transfer Rate (W)
	K	คือ	Thermal Conductivity (W/mK)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (m^2)
	X	คือ	ความหนาของวัสดุ (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_1	คือ	อุณหภูมิด้านร้อน (K)
T_2	คือ	อุณหภูมิด้านเย็น (K)

2.3.3 การพาความร้อน

เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันก็就会有การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ [21] กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อนโดยการพาหรือการพาความร้อน การถ่ายเทความร้อนโดยการพาหรือการพาความร้อนนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection)
2. การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection)

ภาพที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงธรรมชาติของวัฏจักรการพาความร้อน การแผ่รังสีจากกองไฟทำให้เกิดความร้อนที่ก้นหม้อน้ำด้านนอก โลหะทำให้เกิดการนำความร้อนเข้าสู่ภายในหม้อ ทำให้น้ำที่อยู่เบื้องล่างร้อนและขยายตัว ความหนาแน่นต่ำจึงลอยขึ้นสู่ข้างบน ทำให้น้ำเย็นความหนาแน่นสูงซึ่งอยู่ด้านบนเคลื่อนตัวลงมาแทนที่ เมื่อน้ำเย็นที่เคลื่อนลงมาได้รับความร้อนเบื้องล่าง ก็จะลอยขึ้นหมุนวนเป็นวัฏจักรต่อเนื่องกันไป ซึ่งเรียกว่า “วัฏจักรการพาความร้อน” (Convection Circulation)

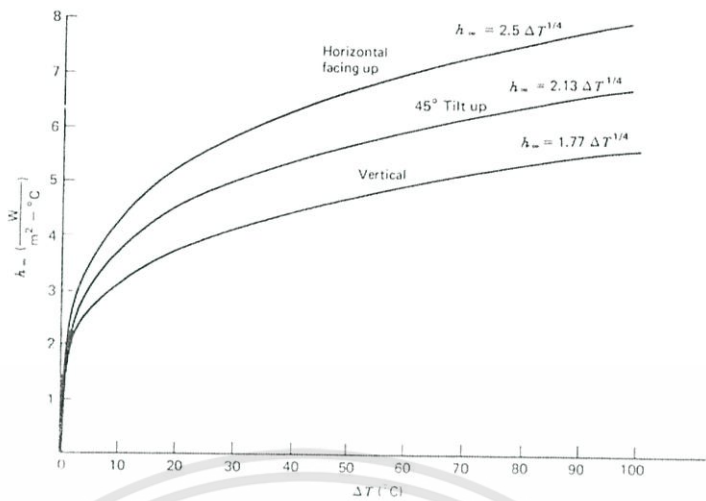


รูปที่ 2.13 ลักษณะของการพาความร้อน

การพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับ

1. รูปลักษณะผิววัตถุ
2. ผิววัตถุอยู่แนวดิ่งหรือแนวราบ
3. ตัวกลางที่พาความร้อน
4. ความหนาแน่น ความหนืด ความร้อนจำเพาะ สภาพนำความร้อนของตัวกลาง
5. ตัวกลางมีการเคลื่อนที่สม่ำเสมอหรือววน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับการถ่ายโอนจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆ

รูปที่ 2.14 [22] กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากพื้นผิวที่องศาต่างๆสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบ โดยค่าสัมประสิทธิ์จะเพิ่มมากขึ้นตามผลต่างอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นผิวเปลี่ยนจากแนวตั้งฉากมาสู่แนวระนาบ

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน [24]

Conditions of Heat Transfer	W/(m ² K)
Gases in free convection	5-37
Water in free convection	100-1200
Oil under free convection	50-350
Gas flow in tubes and between tubes	10-350
Water flowing in tubes	500-1200
Oil flowing in tubes	300-1700
Molten metals flowing in tubes	2000-45000
Water nucleate boiling	2000-45000
Water film boiling	100-300
Film-type condensation of water vapor	4000-17000
Dropsise condensation of water vapor	30000-140000
Condensation of organic liquids	500-2300

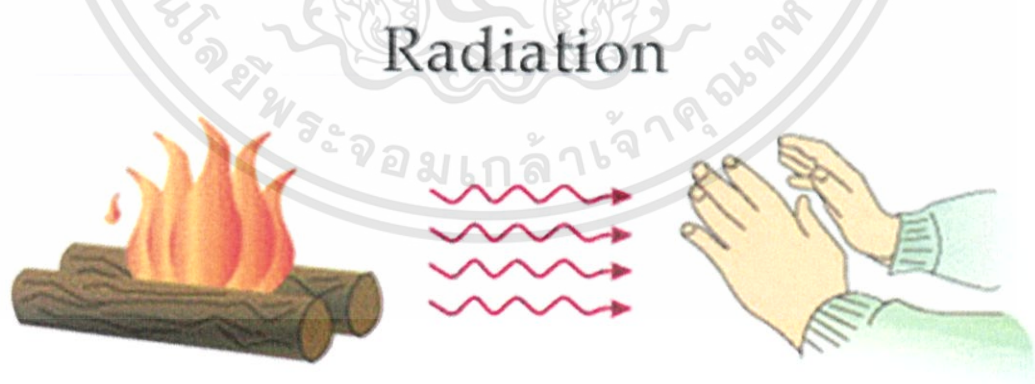
การพาความร้อนแบบบังคับจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เนื่องจากการไหลของการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วที่สูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้นถ้าหากความแตกต่างของอุณหภูมิมีขนาดเท่าๆกันแล้ว การพาความร้อนแบบบังคับก็จะมีอัตราการพาความร้อนที่สูงกว่า แต่ไม่ว่าจะเป็นพาความร้อนแบบไหนก็ตาม ต่างมีสมการสำหรับหาอัตราการพาความร้อนที่อยู่ในรูปของกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) ซึ่งมีรูป สมการเป็น

$$\dot{Q} = hA(\Delta T) \tag{8}$$

โดย	$\dot{Q}$	คือ	Heat Transfer Rate (W)
	h	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m ² .K)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (m ²)
	ΔT	คือ	ผลต่างอุณหภูมิ

2.3.4 การแผ่รังสี

การแผ่รังสี (Radiation) [23] เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ดังเช่น การนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า -273 °C หรือ 0 K (เคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว



รูปที่ 2.15 ลักษณะของการแผ่รังสี

ทั้งนี้การแผ่รังสี คือการถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องผ่านตัวกลางใดๆ เช่น ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ถือเป็นความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี โดยที่วัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

- 1. สีของวัตถุ วัตถุสีดำหรือสีเข้มดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุสีขาวหรือสีอ่อน
- 2. ผิววัตถุ วัตถุผิวขรุขระดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุผิวเรียบและขัดมัน

เราสามารถนำความรู้เรื่องนี้ไปใช้ประโยชน์ในการเลือกใช้ซึ่งมีสีและลักษณะของพื้นผิวของวัตถุให้เหมาะสม เช่น คนที่อาศัยในประเทศเขตร้อนควรใช้เครื่องนุ่งห่มสีเข้ม เพราะดูดกลืนความร้อน และให้ความอบอุ่นมากกว่าสีอ่อนๆ แต่คนในประเทศเขตร้อนควรใช้เครื่องนุ่งห่มสีอ่อนๆ เพราะให้ความรู้สึกเย็นสบายกว่าใช้สีเข้ม, สังกะสีหรือวัสดุที่ใช้มุงหลังคาบ้านเรือนในประเทศที่มีอากาศร้อนไม่ควรทาสีเข้ม จะได้สะท้อนแสงแดดและทำให้บ้านเรือนมีอุณหภูมิไม่สูงมากในเวลากลางวัน, สีของอาคารก็มีส่วนช่วยทำให้อาคารเย็นและร้อนได้ด้วย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อ้างอิงจากตารางที่ 1.1 มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือองค์การ ‘Pllanete Bois’ ของประเทศฝรั่งเศส ได้วิจัยและพัฒนาระบบ เพื่อสามารถนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากเตาหุงต้มมาผลิตเป็นไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าจากการเปลี่ยนความร้อนเหลือทิ้งจากเตาหุงต้มเป็นไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลและแหล่งระบายความร้อนต่างๆ ซึ่งข้อมูลได้จากงานวิจัยต่างๆ

ผู้วิจัย	ระบบระบายความร้อน (Heat sink)	กำลังไฟฟ้าที่ได้ต่อโมดูล (W)
Nuwayhid et al., 2003	Natural air cooling	1
Nuwayhid et al., 2005	Natural air cooling	4.2
Nuwayhid and Hamade., 2005	Natural air cooling	3.4
Lertsatitthannkorn, 2007	Natural air cooling	2.4
Mastbergen and Wilson, 2007	Forced air cooling (1 W)	4
“BioLite” 2009	Forced air cooling (1 W)	1-2
Champier et al. “TEGBios” 2009	Water cooling	5
Rinalde et al., 2010	Forced water cooling	10

Nuwayhid และคณะ ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำความร้อนที่ได้จากการหุงต้มมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้สิ่งแวดล้อมทำหน้าที่เป็นแหล่งระบายความร้อน พบว่าสามารถผลิตไฟฟ้าได้ในอัตรา 4.2 W ต่อโมดูลและกำลังไฟฟ้าต่อโมดูลลดลงเมื่อจำนวนโมดูลที่ใช้มากขึ้น

Lertsatitthannkorn นำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์กับเตาหุงต้มของประเทศไทยเพื่อผลิตไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ชนบท โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในอัตรา 2.4 W ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ได้เพียงพอที่จะนำไปใช้สำหรับระบบไฟส่องสว่างและวิทยุขนาดเล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลในทางทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาผลิตไฟฟ้า งานวิจัยนี้จะใช้ความร้อนจากเตาหุงต้มมาทำการผลิตไฟฟ้า และทำการออกแบบฮีทไปป์เพื่อช่วยเพิ่มการระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นซึ่งจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

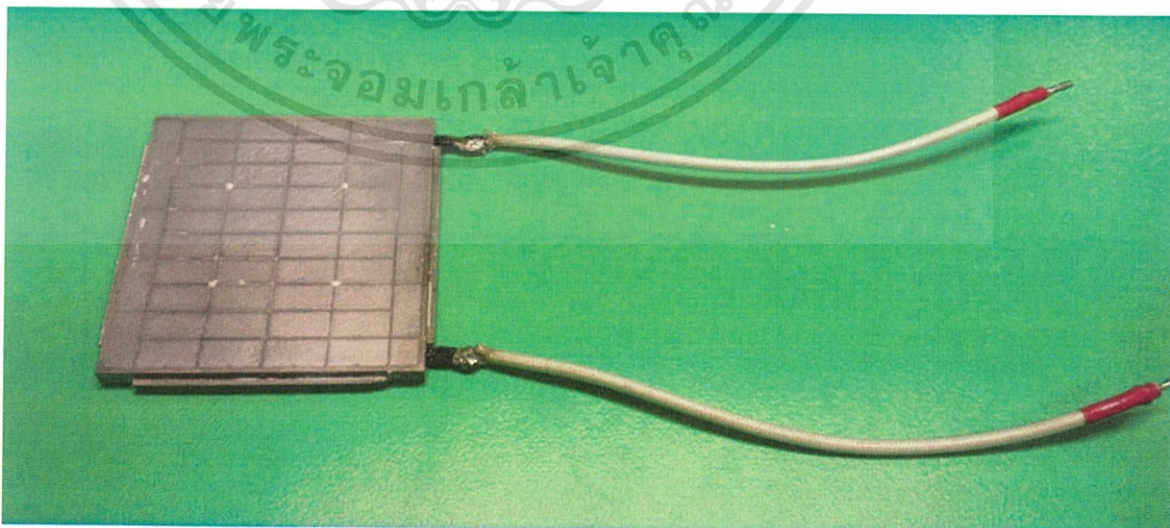
3.1 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบชุดระบายความร้อนเพื่อช่วยเพิ่มการระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยใช้ฮีทไปป์ แผ่นทองแดง แผ่นอะลูมิเนียม และฮีทซิงค์ โดยมีอุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก

ในโครงการนี้เลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น HZ-14 ผลิตจากบริษัท Hi Z; USA ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งสามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่อเนื่องที่ 30 °C และอุณหภูมิสูงสุดที่ 230 °C คุณสมบัติต่างๆแสดงดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น HZ-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก

ชื่อรุ่น HZ-14	
(Size : 62 x 62 x 5 มิลลิเมตร)	
I_{max} (A)	8
V_{max} (V)	3.5
T_H (°C)	230
T_c (°C)	30

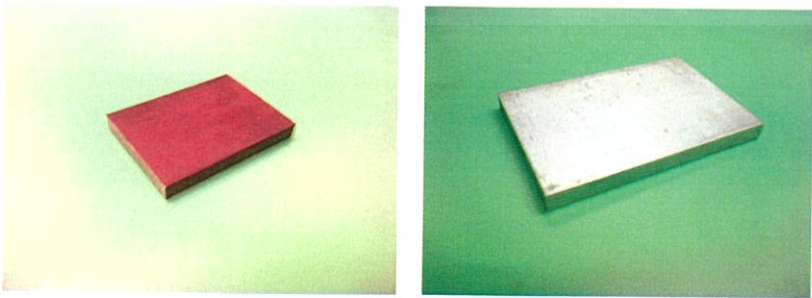
3.2.2 ฮีทไปป์

ฮีทไปป์ทำจากทองแดงภายในบรรจุสารทำงานคือ น้ำ มีขนาดเส้นรอบวง 8 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น



รูปที่ 3.2 ฮีทไปป์

3.2.3 แผ่นทองแดงและอะลูมิเนียม

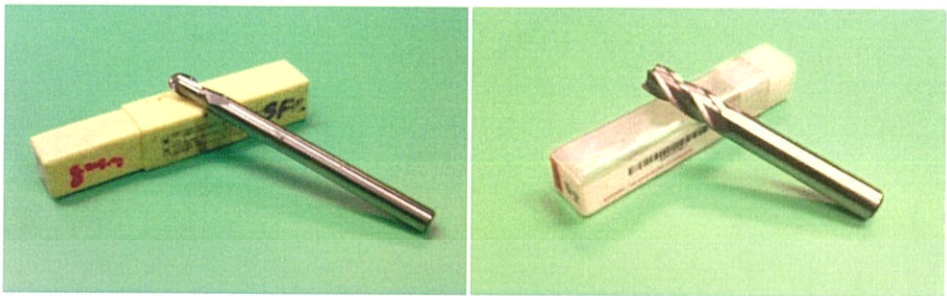


รูปที่ 3.3 แผ่นทองแดงและแผ่นอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 หัว EAD MILL

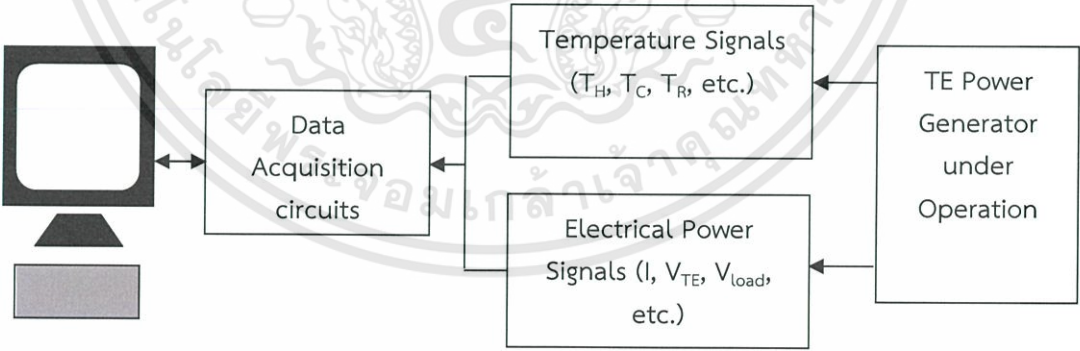
ชนิดกลม ขนาด 8 มิลลิเมตร และชนิดหัวตัด ขนาด 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 EAD MILL

3.2.5 ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ

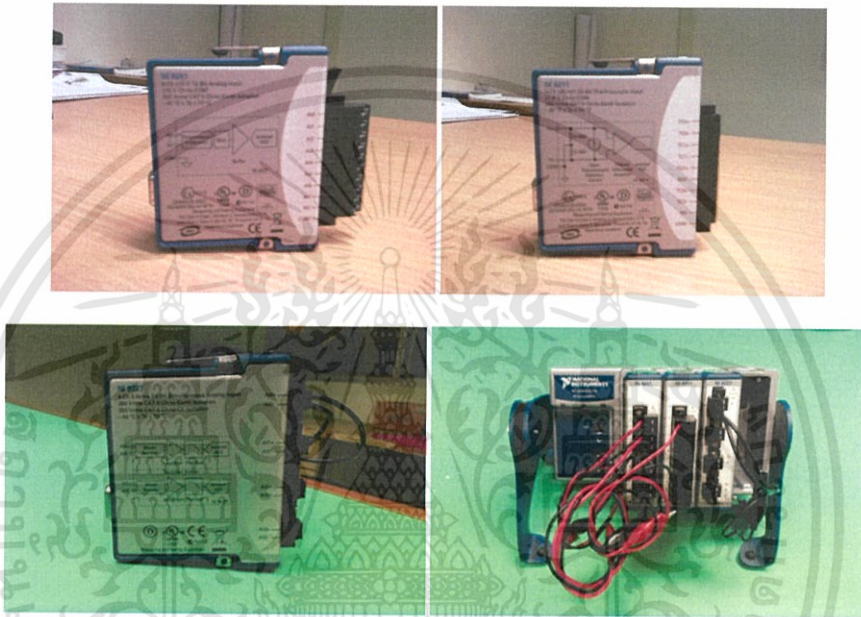
ในระหว่างกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกนั้น จะมีตัวแปรต่างๆที่ต้องศึกษามากมาย เช่น อุณหภูมิของแหล่งความร้อน (T_H), อุณหภูมิในการระบายความร้อน (T_C), อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (T_R) รวมถึงค่ากระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ (V) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ฯลฯ ตัวแปรต่างๆเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดเก็บข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำเพื่อจะได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ถูกต้อง ในอดีตใช้วิธีการจดบันทึกค่าจากการทดลองซึ่งวิธีนี้ให้ความแม่นยำต่ำและส่งผลถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผิดพลาดไปทำให้การทดลองมีความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก



รูปที่ 3.5 กระบวนการจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

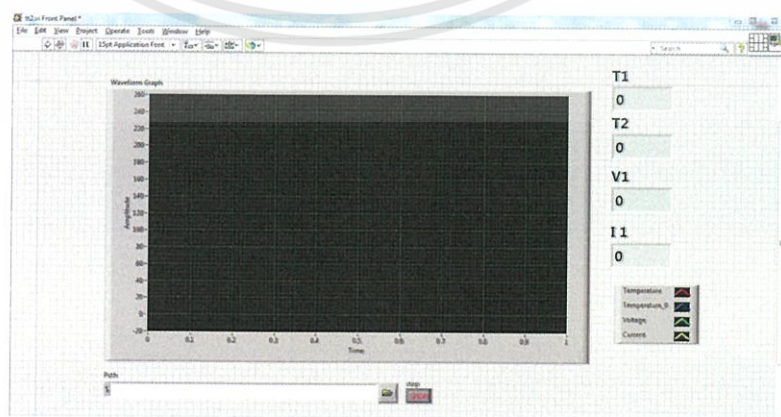
ดังนั้นในโครงการนี้จึงต้องออกแบบและสร้างระบบจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.5 เริ่มต้นจากการนำสัญญาณในระหว่างการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจาก

เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ สัญญาณอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และ สัญญาณไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยจะถูกแปลงผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Data Acquisition (DQA) ซึ่งมีความเร็วในการเก็บข้อมูลในระดับมิลลิวินาที (ms) ก่อนที่จะจัดเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรมมาตรฐาน Labview ในการจัดเก็บสัญญาณและแสดงผลแบบ Real Time ข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บและนำมาวิเคราะห์เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกต่อไป



รูปที่ 3.6 ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติประกอบด้วย NI 9201, NI 9211 และ NI 9227
ความแม่นยำในการวัดข้อมูลเป็น $\pm 0.04\%$, $\pm 0.05\%$ และ $\pm 0.1\%$ ตามลำดับ

3.2.6 โปรแกรม Lab VIEW



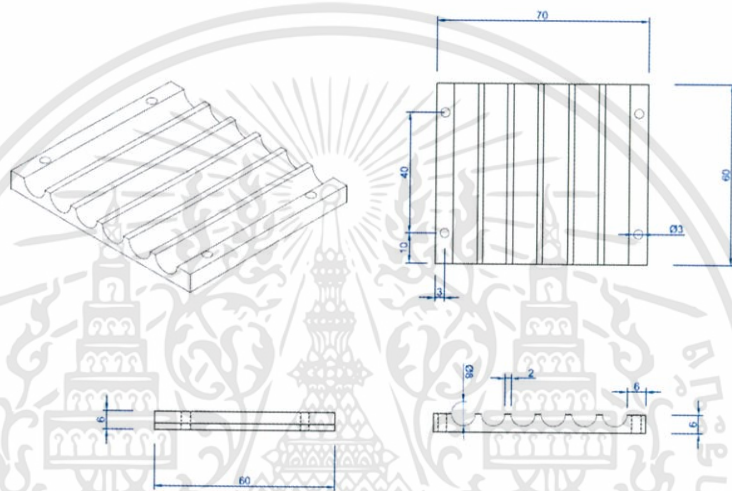
รูปที่ 3.7 โปรแกรม Lab VIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การออกแบบลักษณะของฮีทไพป์

1. เลือกใช้ทองแดงเป็นฐานสำหรับติดเข้ากับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเนื่องจากมีสมบัติการนำความร้อนที่ดี ส่วนอีกด้านเลือกใช้เป็นอะลูมิเนียมเนื่องจากสมบัติการนำความร้อนที่ดีและยังมีน้ำหนักเบา ซึ่งในการออกแบบลักษณะของฐานทั้งสองด้านนี้จะใช้โปรแกรม AutoCAD ในการออกแบบ



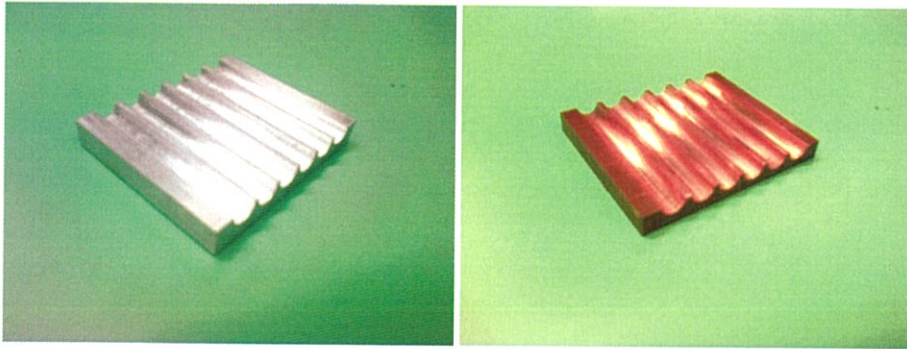
รูปที่ 3.8 ภาพไอโซเมตริกแสดงลักษณะของฐานทั้งสองด้านของชุดระบายความร้อน

2. นำแผ่นทองแดงและแผ่นอะลูมิเนียมมากัดให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ โดยใช้เครื่องกัด และหัวกัด EAD MILL ชนิดกลม ขนาด 8 มิลลิเมตร และชนิดหัวตัด ขนาด 10 มิลลิเมตร



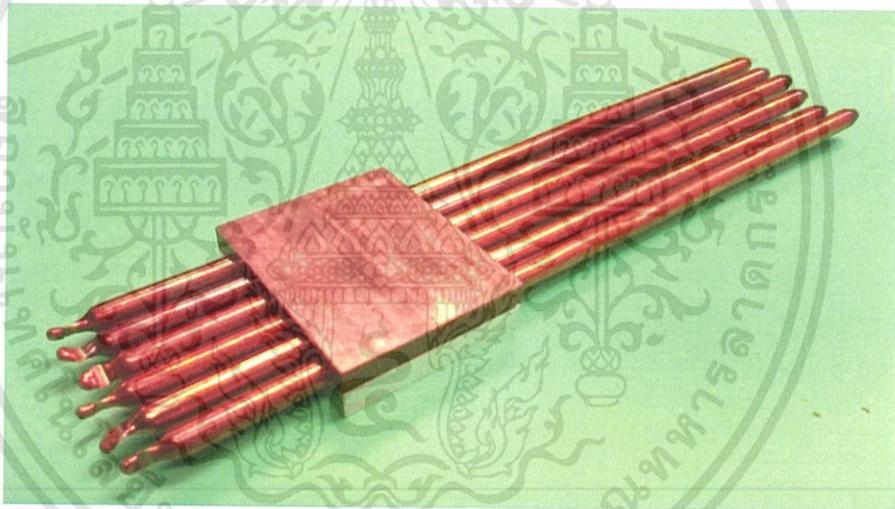
รูปที่ 3.9 การกัดชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ชิ้นงานอะลูมิเนียมและทองแดงเมื่อทำการกัดเสร็จ

3. นำฐานทองแดงและอะลูมิเนียมที่กัดเสร็จแล้วมาขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อตกแต่งพื้นผิวให้เรียบ พร้อมทั้งประกอบเข้ากับฮีทไปป์ทั้ง 6 ชิ้น



รูปที่ 3.11 ชุดระบายความร้อนเมื่อประกอบเข้าด้วยกัน

3.3.2 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์

1. ใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งใช้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริก
2. นำเทอร์โมอิเล็กทริกมาติดเข้ากับฮีทเตอร์และชุดระบายความร้อน โดยให้ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกติดกับฮีทเตอร์และด้านเย็นติดอยู่กับฐานทองแดงของชุดระบายความร้อน
3. วัดอุณหภูมิที่ฮีทเตอร์ (เป็นอุณหภูมิเดียวกับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก) และวัดอุณหภูมิที่ฐานทองแดงของชุดระบายความร้อน (เป็นอุณหภูมิเดียวกับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก) ใช้ NI 9201 และถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (IR Camera, FLIR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กำหนดค่าความต้านทานเท่ากับ 0.22Ω ปรับระดับของฮีเตอร์ไปที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้สามารถทราบผลต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงสุด ที่ชุดระบายความร้อนสามารถทำได้

3.3.3 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทปั๊มร่วมกับฮีทซิงค์

1. ใช้ฮีเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริก
2. นำเทอร์โมอิเล็กทริกมาติดเข้ากับฮีเตอร์และชุดระบายความร้อน โดยให้ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกติดกับฮีเตอร์และด้านเย็นติดอยู่กับฐานทองแดงของชุดระบายความร้อน
3. บันทึกค่าอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ NI 9201 พร้อมทั้งบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่เทอร์โมอิเล็กทริกทำได้ โดยใช้ NI 9211 และ NI 9227 ตามลำดับ



ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในบทนี้จะอธิบายถึงผลการทดลองและการอภิปรายผลของการศึกษาการพัฒนาระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ และแบบจำลองที่อธิบายการระบายความร้อนเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h)

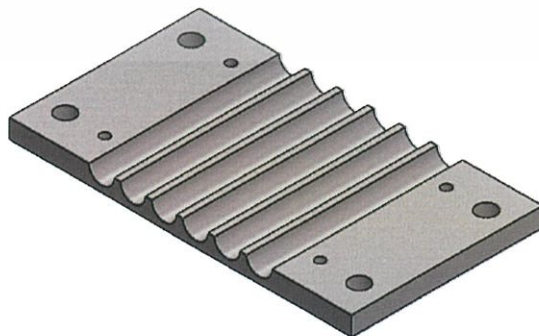
ตอนที่ 2 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์และฮีทซิงค์ และแบบจำลองที่อธิบายการระบายความร้อน เพื่อหาค่าความต้านทานเชิงความร้อนเนื่องจากรอยต่อ (R_c)

4.1 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์

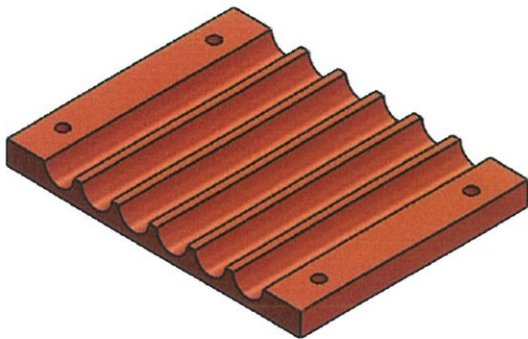
4.1.1 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ที่วางตัวในแนวตั้งและในแนวระดับ

ในเบื้องต้นจะทำการทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ เมื่อฮีทไปป์มีการวางตัวที่แตกต่างกัน คือการวางตัวในแนวตั้ง และแนวระดับ เพื่อหาการวางตัวที่เหมาะสมในการระบายความร้อน

ขั้นตอนนี้ได้ออกแบบระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์จำนวน 6 แท่ง โดยแต่ละแท่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.75 mm ยาว 300 mm โดยฮีทไปป์ทั้งหมดจะถูกประกบอยู่กับฐานโดยที่ด้านบนทำจากทองแดงและด้านล่างทำจากอะลูมิเนียม

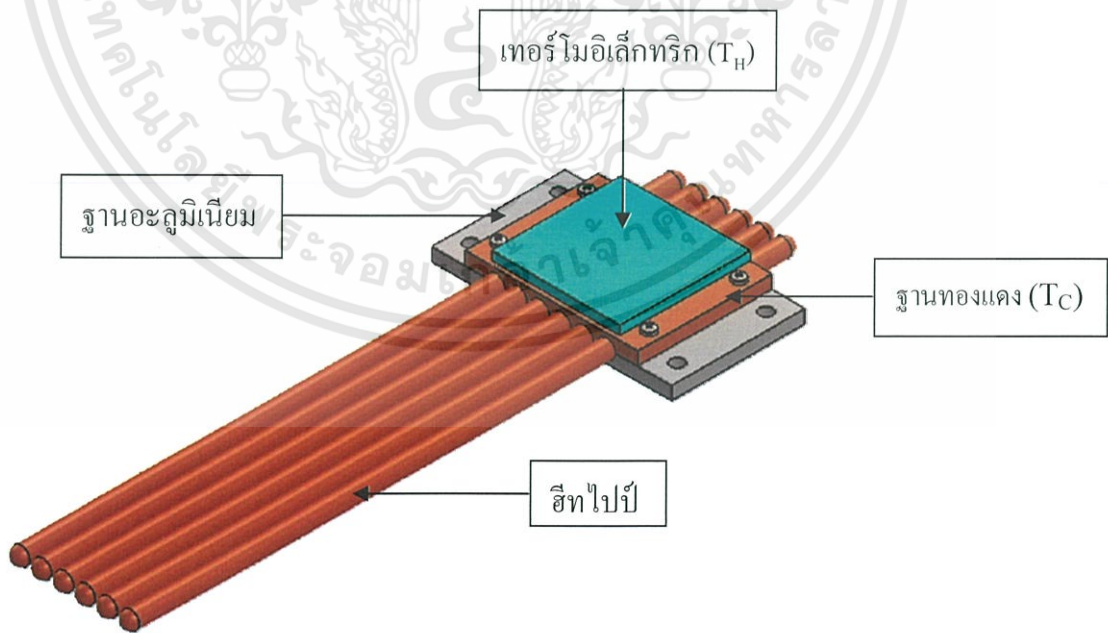


รูปที่ 4.1 ฐานของชุดระบายความร้อนโดยใช้อะลูมิเนียม



รูปที่ 4.2 ฐานของชุดระบายความร้อนโดยใช้ทองแดง

รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงลักษณะฐานของชุดระบายความร้อนโดยสร้างจากแผ่นทองแดงและอะลูมิเนียมขนาด $78 \times 60 \times 6 \text{ mm}$ และ $108 \times 60 \times 6 \text{ mm}$ ตามลำดับ โดยกักร่องครึ่งวงกลมความยาวรัศมี 4 mm จำนวน 6 ร่องสำหรับวางฮีทไปป์จำนวน 6 แท่ง ด้านข้างเจาะรูสำหรับยึดฐานของอะลูมิเนียมและทองแดงเข้าด้วยกัน ผู้วิจัยเลือกใช้ทองแดงและอะลูมิเนียมเนื่องจากความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง น้ำหนักเบา สามารถทำเป็นรูปร่างต่างๆได้ หาซื้อได้ง่าย มีราคาถูก นอกจากนี้ทองแดงยังสามารถนำความร้อนได้ดี และเมื่อทองแดงรับความร้อนที่ไหลจากเทอร์โมอิเล็กทริก ความร้อนจะไหลมายังฮีทไปป์ ด้านล่างจะถูกประกบด้วยฐานอะลูมิเนียม ซึ่งอะลูมิเนียมจะมีค่าสภาพการนำความร้อนที่ต่ำกว่าทองแดง ดังนั้นความร้อนทั้งหมดจะถูกระบายสู่ฮีทไปป์



รูปที่ 4.3 ระบบระบายความร้อนโดยใช้โดยใช้ฮีทไปป์

ในการทดสอบนี้จะนำระบบระบายความร้อนมาทดสอบความสามารถในการระบายความร้อน โดยจะนำฮีตเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนมาวางบนเทอร์โมอิเล็กทริก ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจะติดอยู่ที่ด้านบนของแผ่นทองแดงและฮีทไปป์ที่วางในแนวดิ่งและแนวระดับ ดังรูป 4.3 จากนั้นให้ความร้อนทางด้านร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C, 250 °C และ 300 °C ทำการวัดค่าอุณหภูมิที่ด้านเย็น (ฐานทองแดง) เป็นเวลาประมาณ 20 นาที ซึ่งจะเก็บค่าผลการทดสอบโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (IR Camera, FLIR) และ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค (Type K) ในการวัดอุณหภูมิ



(ก) แนวระดับ

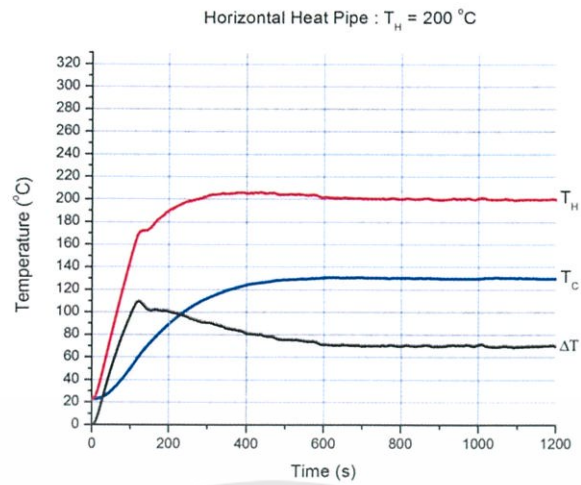
(ข) แนวดิ่ง

รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพความร้อน (IR Camera, FLIR) เมื่อฮีทไปป์มีการวางตัวในแนวระดับและแนวดิ่ง โดยอุณหภูมิทดสอบด้านร้อนเป็น 200 °C

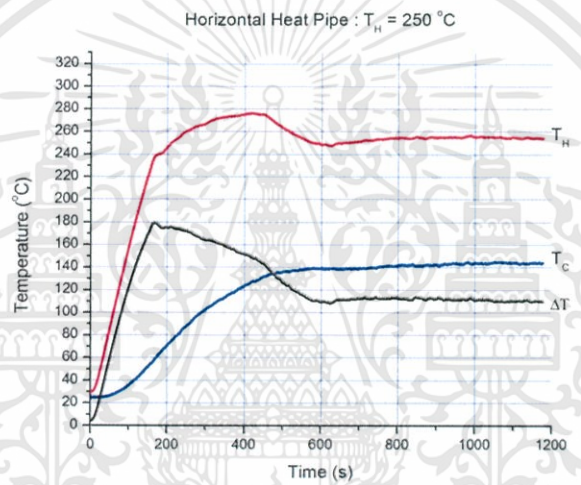
รูปที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพความร้อน (IR Camera, FLIR) เมื่อฮีทไปป์มีการวางตัวในแนวระดับและแนวดิ่ง และอุณหภูมิทดสอบด้านร้อนเป็น 200 °C โดยกำหนดค่า Emissivity ของทองแดงเท่ากับ 0.78 จากภาพจะพบว่าอุณหภูมิของฮีทไปป์ที่วางตัวในแนวระดับจะสูงกว่าอุณหภูมิของฮีทไปป์ที่วางตัวในแนวดิ่ง

4.1.2 ผลการทดสอบอุณหภูมิทางด้านเย็น เมื่อฮีทไปป์วางตัวแนวระดับ

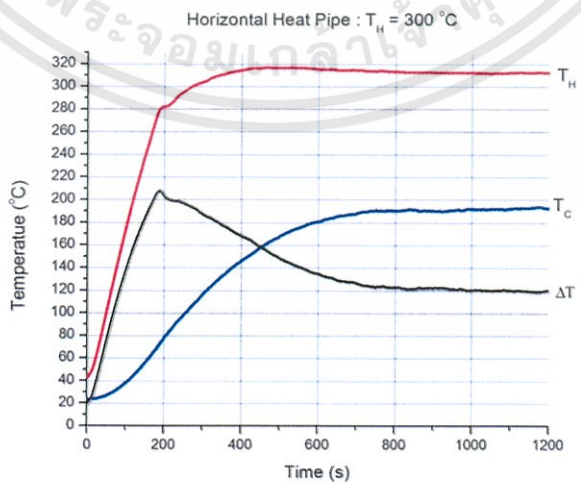
ในขั้นตอนนี้จะวัดอุณหภูมิทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (ฐานทองแดง) ได้ผลดังรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบเพิ่มขึ้น ผลต่างอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 13 นาทีอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจนเกือบคงที่ ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิที่จะมีค่าประมาณ 70 °C, 100 °C และ 120 °C เมื่ออุณหภูมิที่ทดสอบ (อุณหภูมิด้านร้อน) เป็น 200 °C, 250 °C และ 300 °C ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 200 °C



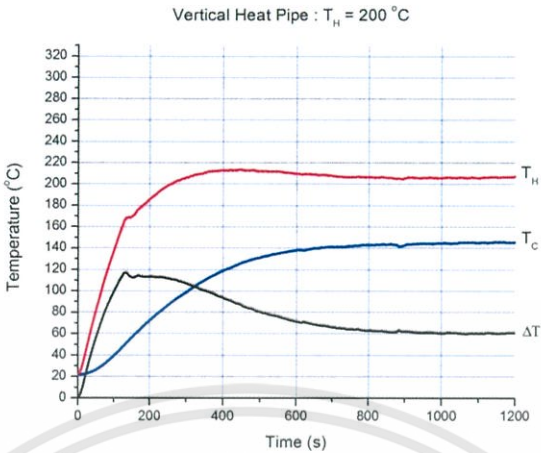
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 250 °C



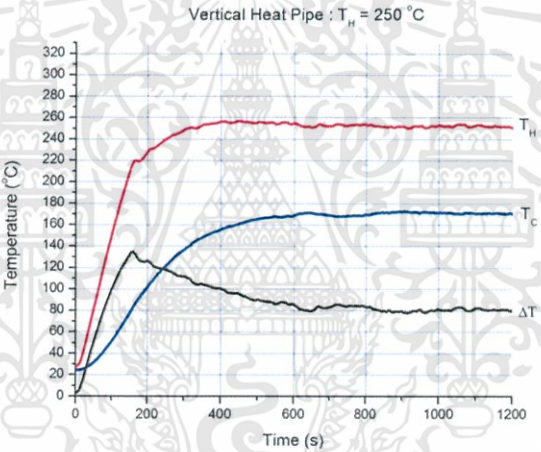
รูปที่ 4.7 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 300 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

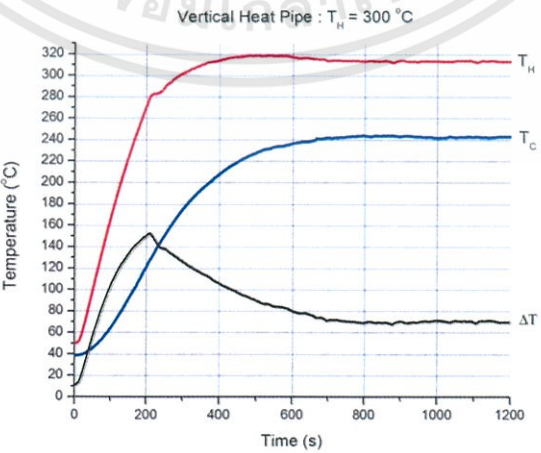
4.1.3 ผลการทดสอบอุณหภูมิทางด้านเย็น เมื่อฮีทไปป์วางตัวแนวดิ่ง



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 200 °C



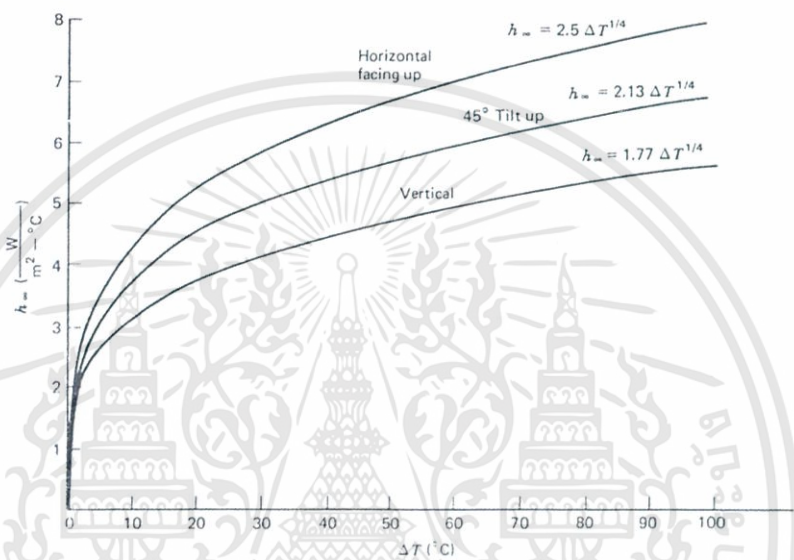
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 250 °C



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) 300 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 พบว่าแนวโน้มของกราฟจะคล้ายกับการระบายความร้อนเมื่อ ฮีทไปป์วางตัวในแนวระดับ แต่เมื่อวางฮีทไปป์ในแนวตั้งจะทำให้อุณหภูมิด้านเย็นของระบบสูงกว่าการวางฮีทไปป์ในแนวระดับ ส่งผลให้ผลต่างของอุณหภูมิ ($\Delta T = T_H - T_C$) มีค่าน้อยกว่าวางฮีทไปป์ในแนวระดับ ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิจะมีค่าประมาณ 60 °C, 80 °C และ 82 °C เมื่ออุณหภูมิ ด้านร้อนมีค่าเท่ากับ 200 °C, 250 °C และ 300 °C ตามลำดับ จากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้โดย อาศัยสมการการพาความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (รูปที่ 4.11) ได้ดังนี้



รูปที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับการถ่ายโอนจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆ [22]

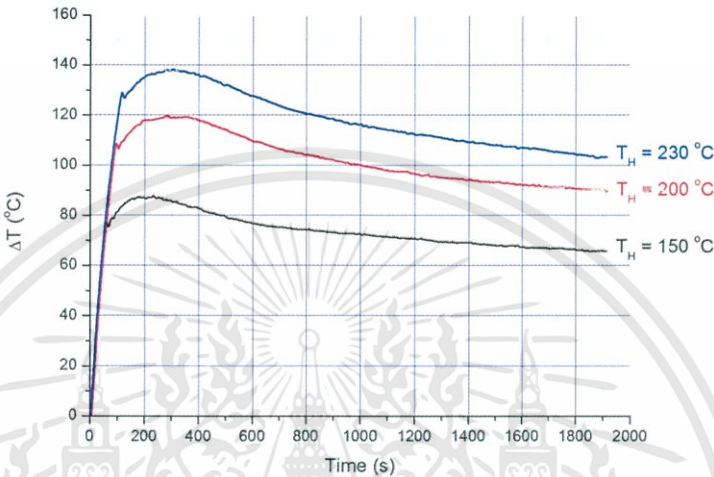
รูปที่ 4.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) เมื่อวัตถุมีการวางตัว ในแนวระดับ แนวเอียง 45° และแนวตั้ง ซึ่งจะมีค่าเป็น $2.5\Delta T^{1/4}$, $2.13\Delta T^{1/4}$ และ $1.77\Delta T^{1/4}$ ตามลำดับ

จากสมการการพาความร้อน $\dot{Q} = hA\Delta T$ พบว่าอัตราการไหลของความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนในกรณีที่พื้นที่ (A) คงที่ จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) และความต่างของอุณหภูมิ ΔT จากรูปที่ 4.4 และ 4.11 พบว่าเมื่อฮีทไปป์วางตัวแนวระดับจะมีค่า h และ ΔT สูงกว่าการวางตัวในแนวตั้ง ดังนั้นอัตราการไหลของความร้อนจึงมากกว่า ส่งผลให้อุณหภูมิด้านเย็น (ฐานทองแดง) ต่ำกว่า

4.1.4 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก

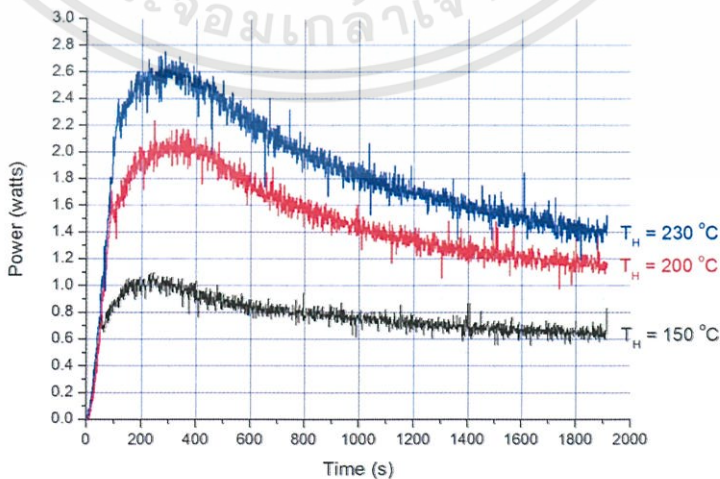
จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า เมื่อฮีทไปป์วางตัวในแนวระดับจะทำให้มีการระบายความร้อนที่ดีกว่าจึงเกิดผลต่างของอุณหภูมิมากกว่าการวางตัวแนวตั้ง ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิจะส่งผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ดังนั้นในการทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้

เมื่ออุณหภูมิด้านร้อนมีค่าต่างๆ จึงเลือกให้ฮีทไปป์มีการวางตัวแนวระดับ และนำเทอร์โมอิเล็กทริก ต่อกับความต้านทาน 0.22 Ω ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ใช้อุณหภูมิ ทดสอบที่มีค่าต่างกันคือ 150 °C, 200 °C และ 230 °C เป็นเวลาประมาณ 30 นาที บันทึกอุณหภูมิ ด้านร้อน อุณหภูมิด้านเย็น กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน โดยใช้ระบบ จัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (NI 9201, NI 9211 และ NI 9227) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.12 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C, 200 °C และ 230 °C

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าความต่างของอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิทดสอบ 150 °C, 200 °C และ 230 °C ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสูงขึ้น ค่าความต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะสูงขึ้น ค่าความต่างอุณหภูมิจะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 300 วินาที (5 นาที) จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง และจะเริ่มมีค่าคงที่ที่เวลาประมาณ 1800 วินาที (30 นาที) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกินขีดจำกัดในการระบายความร้อนของฮีทไปป์



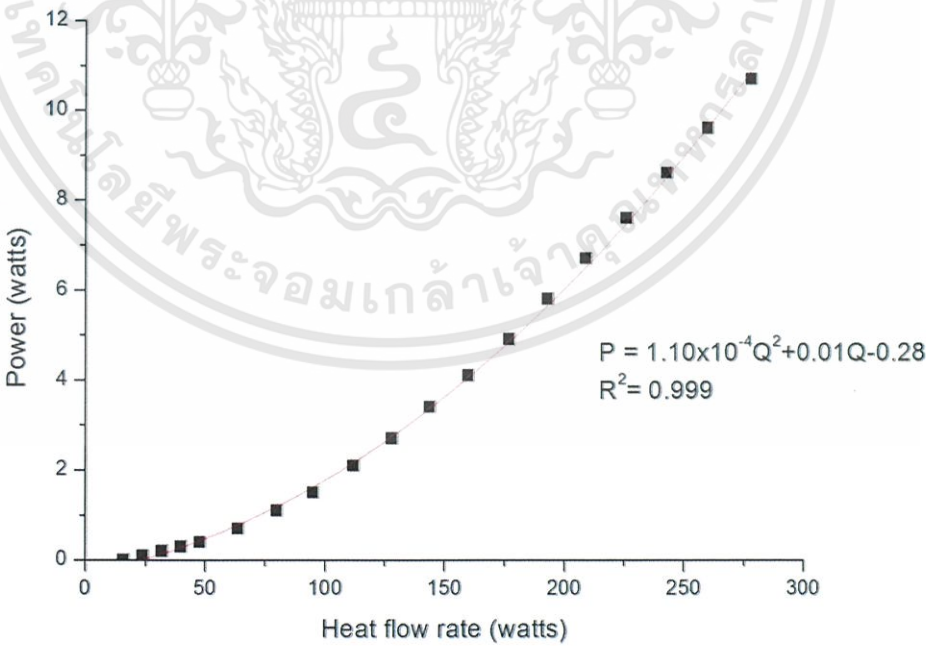
รูปที่ 4.13 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C, 200 °C และ 230 °C เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ เมื่ออุณหภูมิทดสอบ 150 °C, 200 °C และ 230°C ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ก็จะสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากความต่างของอุณหภูมิที่มากขึ้น โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกจะแปรผันตรงกับความต่างของอุณหภูมิกำลังสอง ($P \propto \Delta T^2$) ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 300 วินาที (5 นาที) และจะเริ่มมีค่าคงที่ที่เวลาประมาณ 1800 วินาที (30 นาที)

4.1.5 แบบจำลองอธิบายการระบายความร้อนของฮีทปั๊ม

ในขั้นตอนนี้จะสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายการระบายความร้อนของฮีทปั๊มที่มีรูปทรงกระบอก โดยสมมติให้ของไหลที่อยู่ภายในฮีทปั๊มมีสถานะเดียวและมีการไหลแบบคงตัวจากปลายด้านร้อนสู่ปลายด้านเย็น ฮีทปั๊มมีการระบายความร้อนออกสู่ภายนอกซึ่งเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิคงที่ 25 °C โดยการระบายความร้อนจะเกิดเนื่องจากการนำความร้อนและการพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection)

ในการทดลองนี้เมื่อทราบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ทำให้สามารถคำนวณอัตราการไหลของความร้อนที่ไหลผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกได้ โดยข้อมูลดังกล่าวถูกกำหนดมาจากบริษัทผู้ผลิตเทอร์โมอิเล็กทริก (HI Z, USA) แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของความร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก

จากรูปที่ 4.14 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและอัตราการไหลของความร้อนที่ได้เป็นไปตามสมการ คือ

$$P = 1.1 \times 10^{-4} \dot{Q}^2 + 0.01 \dot{Q} - 0.28 \tag{9}$$

โดยที่ P คือกำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อมีอัตราการไหลของความร้อนผ่านตัวเทอร์โมอิเล็กทริกเป็น $\dot{Q}$ โดยแบบจำลองที่จะอธิบายการระบายความร้อนของฮีทไปป์นี้ ถือว่าความร้อนทั้งหมดที่ไหลผ่านตัวเทอร์โมอิเล็กทริกจะถูกส่งไปยังฮีทไปป์ทั้งหมด สมการอธิบายการไหลของความร้อนมีดังนี้

- สมการการนำความร้อน (ในพื้นที่ผิวทรงกระบอก)

$$\dot{Q} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi KL} \tag{10}$$

โดยที่ $\dot{Q}$	คือ	อัตราการไหลความร้อน (W)
r_o	คือ	รัศมีภายนอกของฮีทไปป์ (mm)
r_i	คือ	รัศมีภายในของฮีทไปป์ (mm)
K	คือ	สภาพนำความร้อนของทองแดง มีค่าเท่ากับ 400 W/mK
L	คือ	ความยาวของทองแดง (mm)

- สมการการพาความร้อน

$$\dot{Q} = hA(\Delta T) \tag{11}$$

โดยที่ h	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ (W/m ² K)
A	คือ	พื้นที่ผิวของฮีทไปป์ ($2\pi r_o L$) มีค่าเท่ากับ 0.03221 m ²
ΔT	คือ	ผลต่างอุณหภูมิ °C ($T_H - T_C$)

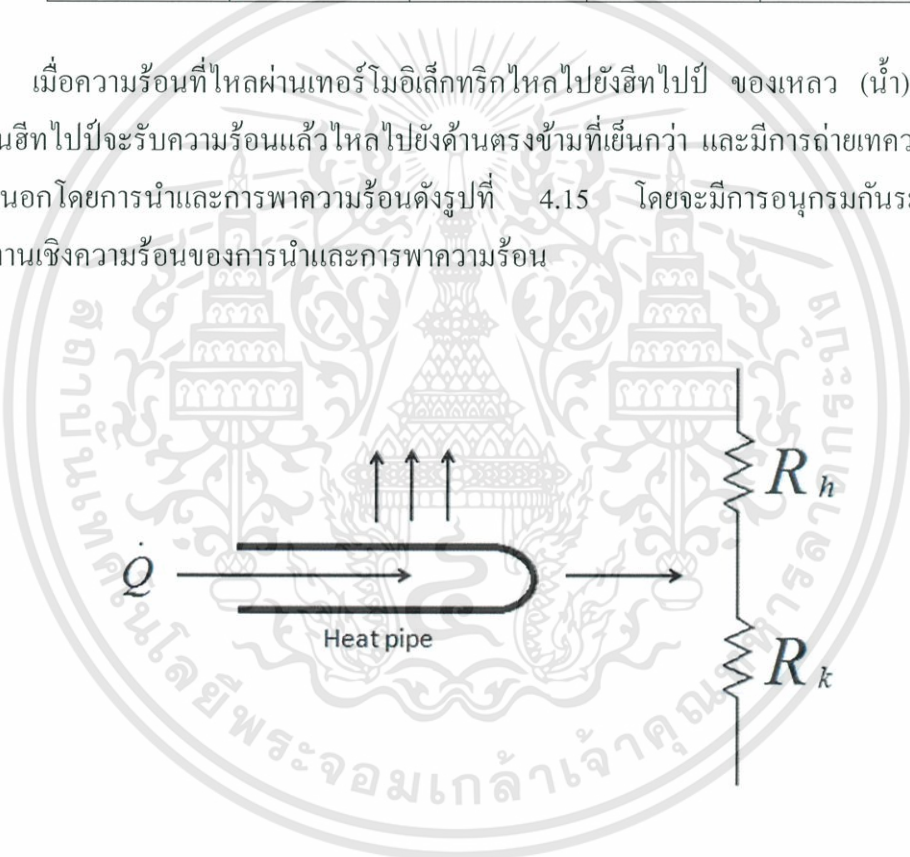
ในการหาคำนวนเพื่อหาค่าอัตราการไหลของความร้อนผ่านเทอร์โมอิเล็กทริก ($\dot{Q}$) นั้นสามารถหาได้จากการสมการที่ (9) และค่าที่สามารถคำนวณได้มีค่าดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าและอัตราการไหลของความร้อนผ่านเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่ออุณหภูมิทดสอบด้านร้อนเป็น 150 °C, 200 °C และ 300 °C

	$T_H (^{\circ}\text{C})$	$T_C (^{\circ}\text{C})$	P_{STA} (watts)	$\dot{Q}$ (watts)
Heat Pipe	150	85	0.7	59.3
	200	105	1.3	82.7
	230	120	1.5	89.6

เมื่อความร้อนที่ไหลผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกไหลไปยังฮีทไปป์ ของเหลว (น้ำ) ที่บรรจุอยู่ภายในฮีทไปป์จะรับความร้อนแล้วไหลไปยังด้านตรงข้ามที่เย็นกว่า และมีการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกโดยการนำและการพาความร้อนดังรูปที่ 4.15 โดยจะมีการอนุกรมกันระหว่างความต้านทานเชิงความร้อนของการนำและการพาความร้อน



- R_h คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของการนำความร้อน
- R_k คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของการพาความร้อน

รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบระหว่างความต้านทานเชิงความร้อนกับความต้านทานแบบอนุกรมของระบบไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.15 จะได้สมการแสดงอัตราการไหลของความร้อน

นั่นคือ

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R}$$

(12)

$$R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}}$$

$$R_{Total} = R_h + R_k \tag{13}$$

$$\frac{\Delta T}{\dot{Q}} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi KL} + \frac{1}{hA} \tag{14}$$

โดยที่ ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิระหว่างฮีทไปป์และสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้ อุณหภูมิที่ผิวของฮีทไปป์มีอุณหภูมิเท่ากับฐานทองแดงที่อยู่ด้านล่างของเทอร์โมอิเล็กทริก

จากสมการที่ (14) สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ (h) มีค่าเท่ากับ 30.8 W/m²K, 32.2 W/m²K และ 29.4 W/m²K เมื่ออุณหภูมิทดสอบเป็น 150 °C, 200 °C และ 230 °C ตามลำดับ จากนั้นหา ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความไม่แน่นอนของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้ดังนี้

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} \tag{15}$$

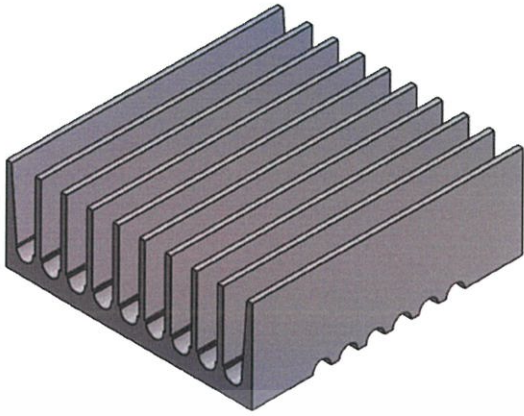
$$S.D. = \sqrt{\frac{(h_1 - \bar{h})^2 + (h_2 - \bar{h})^2 + (h_3 - \bar{h})^2}{3}} \tag{16}$$

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อน} = \frac{S.D.}{\sqrt{3}} \tag{17}$$

จากการคำนวณพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยของอากาศจะมีค่าเท่ากับ 30.8±0.7 W/m²K โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่สามารถคำนวณได้อยู่ในช่วง 5-37 W/m²K [24] ค่าที่คำนวณได้อยู่ในช่วงของการพาความร้อนด้วยอากาศแบบอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการออกแบบการทดลอง

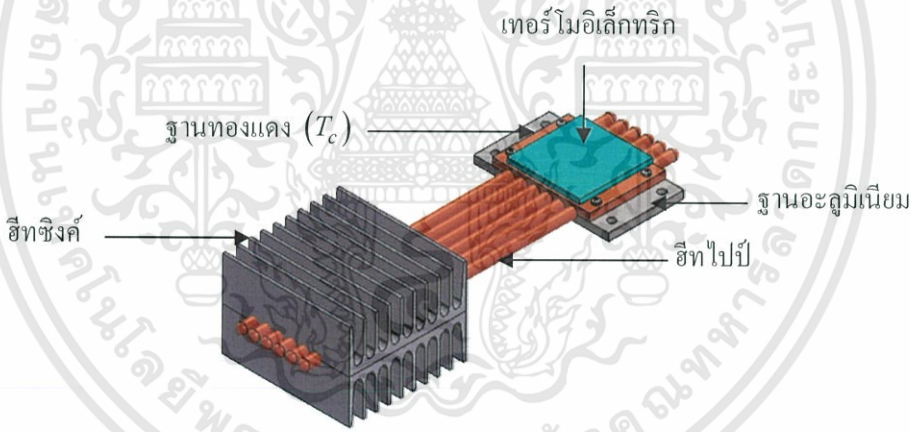
4.2 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์

จากการทดสอบระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์พบว่า เมื่ออัตราการไหลของความร้อนมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จะมากขึ้นเช่นกัน ผู้วิจัยจึงได้ทำการเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อน โดยการติดฮีทซิงค์ที่ส่วนปลายฮีทไปป์ของระบบระบายความร้อน เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อน ดังรูปที่ 14.6



รูปที่ 14.6 ฮีทซิงค์

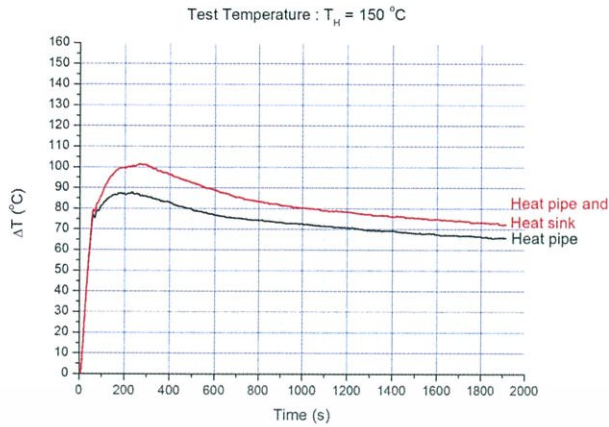
รูปที่ 14.6 แสดงลักษณะของฮีทซิงค์ซึ่งมีขนาดกว้าง 102.0 mm ยาว 93.0 mm สูง 34.8 mm มีครีบริบทั้งหมด 10 ครีบริบ แต่ละครีบริบหนา 2.0 mm ผู้วิจัยเลือกใช้อะลูมิเนียมเนื่องจากอะลูมิเนียม มีน้ำหนักเบา และราคาถูก



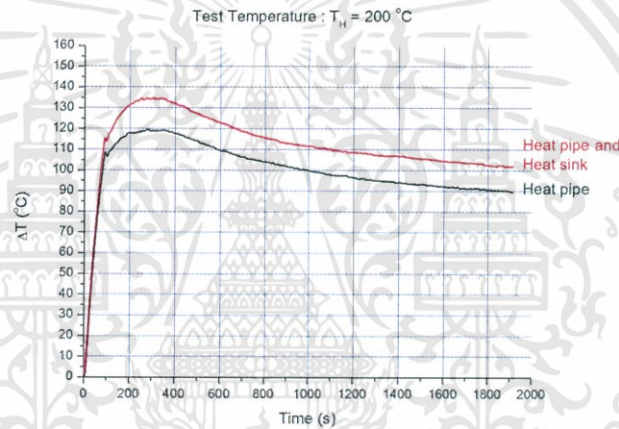
รูปที่ 4.17 ระบบระบายความร้อน โดยใช้ฮีทไปป์และฮีทซิงค์

รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะของระบบระบายความร้อน โดยใช้ฮีทไปป์และฮีทซิงค์ ซึ่งจะใช้ฮีทซิงค์ 2 อัน ประกบติดที่ส่วนปลายของฮีทไปป์

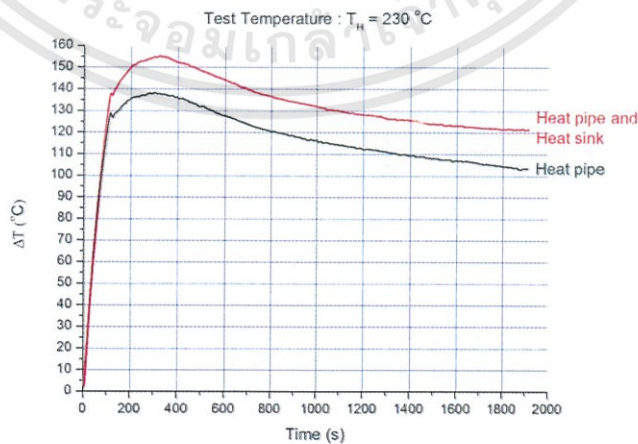
การทดสอบนี้จะนำระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และฮีทซิงค์ โดยการใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งความร้อนมาวางบนเทอร์โมอิเล็กทริก ให้ความร้อนทางด้านร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C, 200 °C และ 230 °C ตามลำดับ ทำการวัดค่าอุณหภูมิทางด้านเย็น (T_c) ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อคำนวณหาผลต่างอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้



รูปที่ 4.18 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์และฮีทไปป์กับฮีทซิงค์

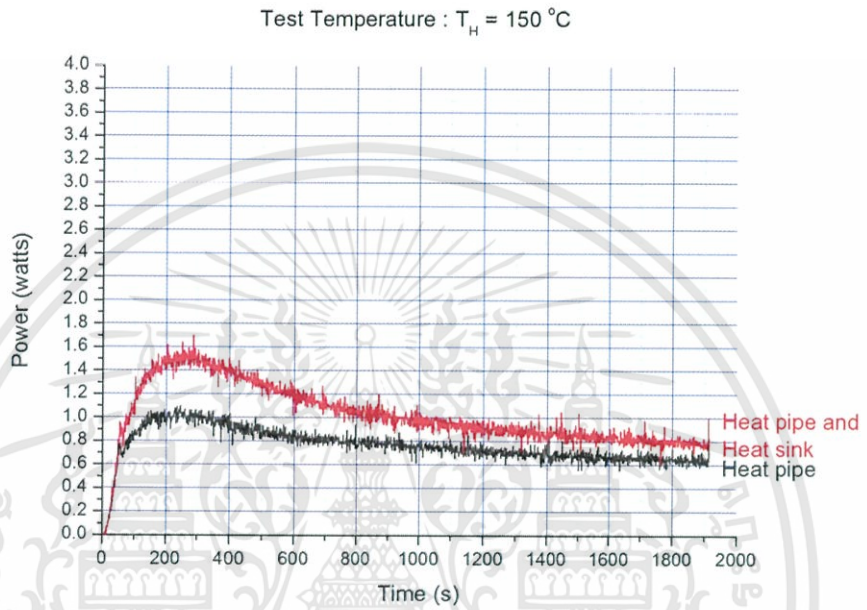


รูปที่ 4.19 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์และฮีทไปป์กับฮีทซิงค์

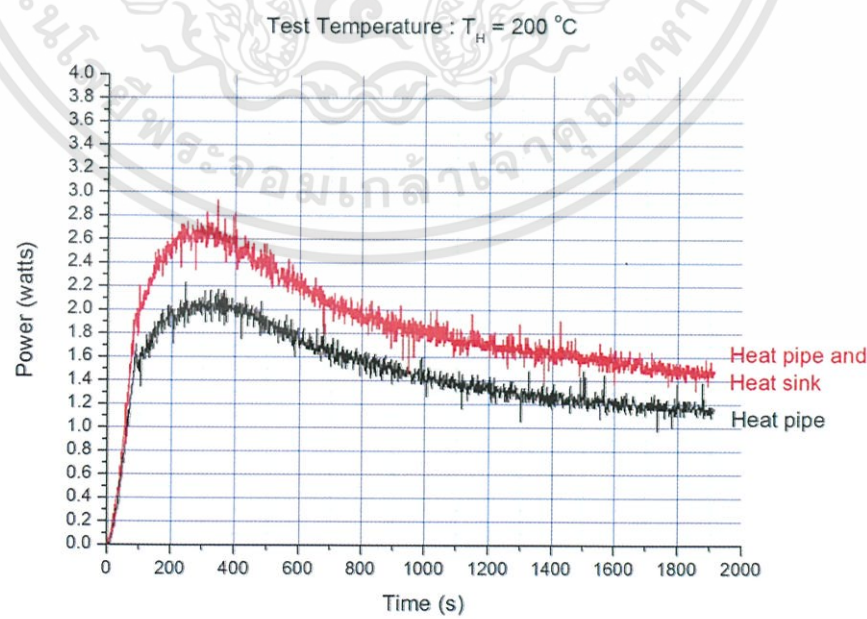


รูปที่ 4.20 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์และฮีทไปป์กับฮีทซิงค์

จากรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 พบว่า ระบบระบายความร้อนที่ใช้ฮีทไปป์เพียงอย่างเดียวมีค่าผลต่างอุณหภูมิน้อยกว่าระบบระบายความร้อนฮีทไปป์และฮีทซิงค์ โดยผลต่างของอุณหภูมิจะมีค่าต่ำและค่อยๆเพิ่มขึ้นจากนั้นผลต่างอุณหภูมิจะลดลงเพียงเล็กน้อยและมีค่าเกือบคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 15 นาที ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และฮีทซิงค์มีค่าในช่วงประมาณ 10 % – 15 %

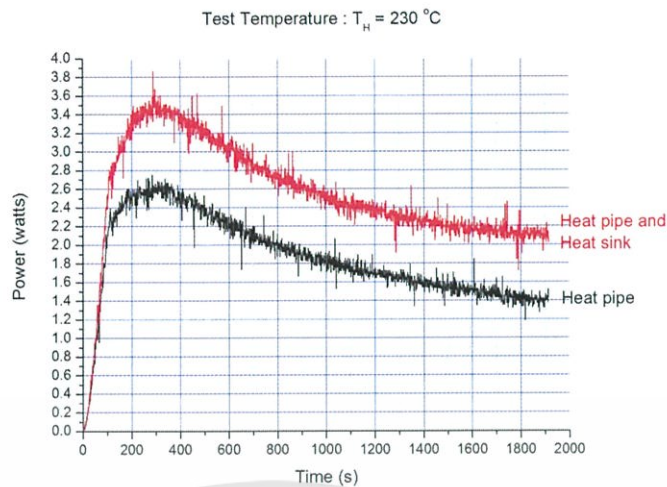


รูปที่ 4.21 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.22 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

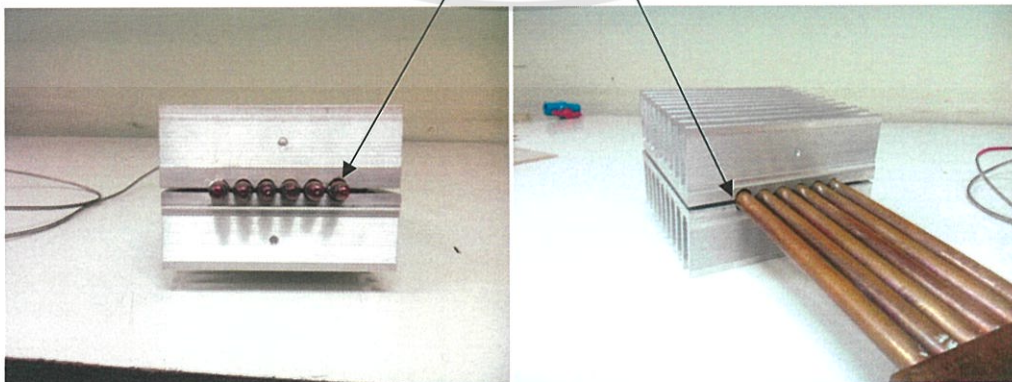


รูปที่ 4.23 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $230\text{ }^{\circ}\text{C}$

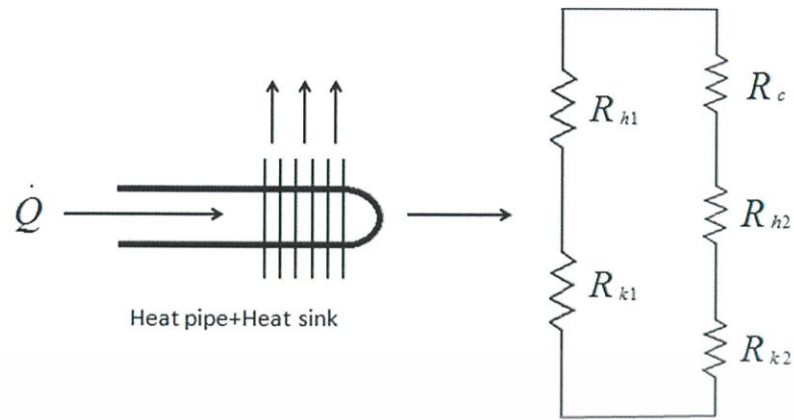
รูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 พบว่า ระบบระบายความร้อนที่ใช้ฮีทไปป์เพียงอย่างเดียวมีค่ากำลังไฟฟ้าน้อยกว่าระบบระบายความร้อนฮีทไปป์และฮีทซิงค์ กำลังไฟจะมีค่าต่ำและค่อยๆ เพิ่มขึ้น จากนั้นกำลังไฟฟ้าจะลดลงเพียงเล็กน้อยและมีค่าเกือบคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 15 นาที ระบบระบายความร้อนแบบฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์มีผลต่างอุณหภูมิมีค่ามากกว่า จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่ามากกว่าระบบที่มีฮีทไปป์เพียงอย่างเดียว

จากนั้นจะสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายการระบายความร้อนของฮีทซิงค์ ในการออกแบบเพื่อเพิ่มพื้นที่ระบายความร้อนโดยการติดฮีทซิงค์นั้น จะเกิดช่องว่างระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์ที่ทำให้เกิดความต้านทานเชิงความร้อนของรอยต่อ (R_c) ดังรูปที่ 4.24 ในการคำนวณความต้านทานเชิงความร้อนทั้งหมดจึงต้องรวมค่าความต้านทานเชิงความร้อนของรอยต่อเข้าไปด้วย ดังรูป 4.25

ช่องว่างระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์ที่ทำให้เกิดความต้านทานเชิงความร้อนของรอยต่อ (R_c)



รูปที่ 4.24 ช่องว่างระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์ที่ทำให้เกิดความต้านทานเชิงความร้อน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบระหว่างความต้านทานเชิงความร้อนกับความต้านทานแบบอนุกรมและขนานของระบบไฟฟ้า

- เมื่อ R_{h1} คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของการนำความร้อนในบริเวณฮีทไปป์
- R_{k1} คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของการพาความร้อนในบริเวณฮีทไปป์
- R_{h2} คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของการนำความร้อนในบริเวณฮีทซิงค์
- R_{k2} คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของการพาความร้อนในบริเวณฮีทซิงค์
- R_c คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของรอยต่อระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์

จากนั้นคำนวณหาความต้านทานเชิงความร้อนระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่คำนวณได้จากตอนที่ 4.1.4 ($\bar{h} = 30.8 \text{ W/m}^2\text{K}$)

นั่นคือ
$$\Delta T = \dot{Q}R \tag{18}$$

$$R_{Total} = \frac{\Delta T}{\dot{Q}}$$
$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_{h1} + R_{k1}} + \frac{1}{R_{h2} + R_{k2} + R_c} \tag{19}$$

เมื่อ
$$R_{h1} = \frac{1}{hA}$$

$$R_{h2} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi KL}$$

$$R_{h2} = \frac{1}{hA}$$

$$R_{h2} = R_{hs}$$

$$R_{hs} = R_b + R_f$$

$$R_b = \frac{t_b}{KA_b}$$

- โดย
- R_b

คือ

ความต้านทานความร้อนของฐาน

t_b

คือ

ความหนาของฐาน
- K

คือ

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอะลูมิเนียม
- A_b
- คือ
- พื้นที่ผิวข้างฐาน

$$R_f = \left\{ \left(nh_f w_f \right) \left(t_f + 2n_f L_f \right) \right\}^{-1} \tag{20}$$

- โดย
- R_f

คือ

ความต้านทานความร้อนของครีป

n

คือ

จำนวนครีป
- h_f

คือ

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ
- w_f
- คือ
- ความยาวครีป

t_f

คือ

ความหนาครีป

L_f

คือ

ความสูงครีป

$$n_f = \frac{\tanh \left(mL_c \right)}{mL_c} \tag{21}$$

เมื่อ

$$mL_c = \sqrt{\frac{2h_f}{Kt_f}} \times L_f \tag{22}$$

โดยที่

K

คือ

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฮีทซิงค์ (อะลูมิเนียม = 237 W/mK)

ในการคำนวณหาค่าความต้านทานเชิงความร้อนของรอยต่อระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์ (R_c) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (19) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อมีอัตราการไหลของความร้อนและความต้านทานเชิงความร้อนของ รอยต่อ

	$T_H (^{\circ}\text{C})$	$T_{C(STA)} (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T_{STA} (^{\circ}\text{C})$	$P_{STA} \text{ (watts)}$	$\dot{Q} \text{ (watts)}$	$R_c \text{ (K/W)}$
Heat Pipe and Heat Sink	150	75	74	0.8	63.56	0.13
	200	97	103	1.5	89.63	0.15
	230	109	121	2.1	108.50	0.11

ตารางที่ 4.3 แสดงกำลังไฟฟ้า อัตราการไหลของความร้อน และความต้านทานเชิงความร้อนของรอยต่อ ภายในระบบระบายความร้อน โดยใช้ฮีทไปป์กับฮีทซิงค์มีค่าความต้านทานเชิงความร้อนของรอยต่อระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์ มีอยู่ในช่วงประมาณ 0.11 K/W - 0.15 K/W ซึ่งทำให้ระบบระบายความร้อนได้ไม่เลวร้ายเท่าที่ควร



สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการพัฒนากระบวนการระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ และระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าฮีทไปป์จะสามารถระบายความร้อนได้ดีเมื่อใช้งานในแนวระดับเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) สูงที่สุด ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้และความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อใช้ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์จะมีค่าสูงกว่าการใช้ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์อย่างเดียว กำลังไฟฟ้าที่ได้สูงสุดของระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์ที่อุณหภูมิด้านร้อน 230°C เป็น 1.5 W , 2.1 W จากแบบจำลองที่ใช้อธิบายการระบายความร้อนของฮีทไปป์จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศเป็นแบบอิสระเท่ากับ $30.8\text{ W/m}^2\text{K}$ และเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์จะได้ค่าความต้านทานเชิงความร้อนรอยต่อระหว่างฮีทไปป์กับฮีทซิงค์มีอยู่ในช่วงประมาณ $0.11 - 0.15\text{ K/W}$ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าระบบระบายความร้อนที่มีพื้นผิวมากกว่าจะสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามจะต้องลดค่าความต้านทานเชิงความร้อนที่รอยต่อของอุปกรณ์ระบายความร้อนให้น้อยที่สุดเพื่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่สูงสุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเลือกใช้ฮีทซิงค์ที่มีความหนาของฐานมากขึ้น เพื่อให้สามารถกักเครื่องจักรวงกลมได้ถูกต้องมากขึ้น
2. ในการกักผิวของทองแดงควรทำให้ผิวของทองแดงมีเรียบมากยิ่งขึ้นเพื่อให้ผิวสัมผัสระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกและทองแดงมากขึ้น
3. ควรเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงเพื่อที่จะสามารถทำการทดลองโดยใช้อุณหภูมิทดสอบที่สูงขึ้นได้
4. ศึกษาผลกระทบของแรงกดต่อเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Champier D, Bedecarrats, J.P., Rivaletto, M., and Strub, F., Thermoelectric power generator from biomass cook stoves, *Energy*, 35 (2010) : 935-942
- [2] Bhattacharya, S.C., Albina D.O., and Abdul Salum, Emission factors of wood and chadcoal-fired cookstoves, *Biomass and Bioenergy*, 23 (2002) : 453-469
- [3] Rowe, D.M., Thermoelectric waste heat recovery as a renewable energy source. *International Journal of Innovation Energy Systems and Power* 2006.
- [4] Nuwayhid, R.Y., Rowe, D.M., and Min G., Low cost stove-top thermoelectric generator for region with unreliable electricity supply. *Renewable energy*, 28 (2003) : 205-222
- [5] Lertsatitthannkorn, C., Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cooked stove thermoelectric (BITE) generator, *Bioresource technology*, 98 (2007) : 1670-1674
- [6] Nuwayhid R.Y., Shihadeh, A., and Ghaddar, N., Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling, *Energy Conversion and Management* 46 (2005) : 1631-1643
- [7] Nuwayhid R.Y., and Hamade, R., Design and testing of locally made loop-type thermosyphonic heat sink for stove-top thermoelectric generators, *Renewable energy*, 30 (2005) : 1011-1016
- [8] Mastbergen D, and Willson B. Generating light from stoves using a thermoelectric generator. Seattle, Washington. Available at. In: Present at the ETHOS international stove research conference, www.vrac.iastate.edu/ethos/;2005 [last accessed December 2010].
- [9] URL:www.biolitestove.com/BioLite.html; [last accessed June 2010].

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [10] Champier D, Rivaletto M, Strub F. TEGBioS: a prototype of thermoelectric power generator for biomass stoves. In: Proc.Of ECOS 2009 22nd international conference on efficiency, cost, optimization, and environmental impact of energy system; 2009.Parana, Brazil
- [11] Rinalde GF, Juanico LG, Tagliavere E, Gortari S, and Molina MG, Development of thermoelectric generator for electricification of isolate rural homes, International Journal of Hydrogen Energy 35 (2010): 5818-5822.
- [12] อภาภรณ์ สกุลการะเวก “การศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาหุงต้มด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล” ทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเภททุนส่งเสริมนักวิจัย ประจำปี 2556
- [13] วัสดุพลังงานเทอร์โมอิเล็กทริก. 20 มีนาคม 2552. เข้าถึงจาก: <http://pineapple-eyes.snru.ac.th/thermo/> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)
- [14] ผศ.พัศวัลย์ คัมภีระพันธุ์ และ ดร. วรวิทย์ โกสลาทิพย์. สิงหาคม 2552. วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก อีกหนึ่งพลังงานทางเลือกจีวและแจ้ว. เข้าถึงจาก: <http://webstaff.kmutt.ac.th/~ivorthip/TE/> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)
- [15] ดร.สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์. ธันวาคม 2553. เข้าถึงจาก: http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/TN%20214A_p62-65.pdf (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)
- [16] ธนกร ณ พัทลุง. 30 พฤษภาคม 2554. ความรู้เกี่ยวกับท่อความร้อนและอีกทางเลือกหนึ่งของอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน(ตอน1) . เข้าถึงจาก: http://issuu.com/ttftntl/docs/energy_30?e=1591574/3095575 (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [17] ชนกร ฅ พัทลุง. 31 มิถุนายน 2554. ความรู้เกี่ยวกับท่อความร้อนและอีกทางเลือกหนึ่งของอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน(ตอนจบ). เข้าถึงจาก:
http://issuu.com/ttftintl/docs/energy_31?e=1591574/3095783 (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)
- [18] สิ่งที่เราควรรู้เกี่ยวกับ สารทำความเย็น (Refrigerants). 29 พฤษภาคม 2556. เข้าถึงจาก:
<http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=19570§ion=9> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)
- [19] Transport Phenomena (Part 2 Heat Transfer). เข้าถึงจาก:
<http://ajutarut.files.wordpress.com/2012/08/conduction-heat-transfer.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)
- [20] การนำความร้อน. เข้าถึงจาก: <http://th.wikipedia.org/wiki/การนำความร้อน> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)
- [21] ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. การถ่ายเทความร้อน เข้าถึงจาก: <http://nqf.agro.ku.ac.th/UP/e-courseware/pitchaya/document.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)
- [22] John Wiley & Sons. An Introduction to Solar Energy for Scientists and Engineers. (1982) : 88
- [23] การแผ่รังสี. เข้าถึงจาก: <http://physicsworld.nanacity.com/physicsworld/lesson/tran3.htm> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 สิงหาคม 2556)
- [24] Jakob, M. (1958) *Heat Transfer*, Wiley, New York, Chapman and Hall, London.