การปรับปรุงระบบระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์โดยใช้ฮีทไปป์

THE IMPROVEMENT OF THERMOELECTRIC GENERATOR COOLING SYSTEM BY HEAT PIPE

นางสาวไพจิตร ศรีด่าน

นางสาวภคพร วงศ์กาฬสินธุ์

นางสาวสุชาวดี นาสารีย์

โครงงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การปรับปรุงระบบระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์โดยใช้ฮีทไปป์

THE IMPROVEMENT OF THERMOELECTRIC GENERATOR COOLING SYSTEM BY HEAT PIPE

นางสาวไพจิตร ศรีด่าน

นางสาวภคพร วงศ์กาฬสินธุ์

นางสาวสุชาวดี นาสารีย์

โครงงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE IMPROVEMENT OF THERMOELECTRIC GENERATOR COOLING SYSTEM BY HEAT PIPE

MISS PHAICHIT SRIDAN

MISS PHAKHAPHORN WONGKALASIN

MISS SUCHAWADI NASARI

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การปรับปรุงระบบระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์โดยใช้ฮีทไปป์ THE IMPROVEMENT OF THERMOELECTRIC GENERATOR COOLING SYSTEM BY HEAT PIPE
ชื่อนักศึกษา	นางสาวไพจิตร ศรีด่าน นางสาวภคพร วงศ์กาฬสินธุ์ นางสาวสุชาวดี นาสารีย์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข	
ผศ.ดร. ภัทรียา ดำรงศักดิ์	
ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์	
ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การปรับปรุงระบบระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์โดยใช้ฮีทไปป์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวไพจิตร ศรีด่าน รหัสนักศึกษา 54050567
	นางสาวภคพร วงศ์กาฬสินธุ์ รหัสนักศึกษา 54050568
	นางสาวสุชาวดี นาสารีย์ รหัสนักศึกษา 54050619
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ได้ทำการศึกษา ออกแบบและปรับปรุงระบบระบายความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ระบบระบายความร้อนสองชนิดคือ ฮีทไปป์และฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ โดยใช้ฮีทเตอร์และเตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน เมื่อใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อน กำหนดอุณหภูมิทดสอบทางด้านร้อนเป็น 150 $^{\circ}$C, 200 $^{\circ}$C และ 250 $^{\circ}$C บันทึกค่าที่อุณหภูมิทางด้านร้อน อุณหภูมิทางด้านเย็น กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้า เป็นเวลา 40 นาทีและ 1 ชั่วโมง 30 นาที ตามลำดับ โดยใช้ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าเมื่ออุณหภูมิทดสอบสูงขึ้น ความต่างอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำจะมีค่าสูงกว่าการใช้ระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์เพียงอย่างเดียว กำลังไฟฟ้าที่ได้สูงสุดของระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำที่อุณหภูมิด้านร้อน 250 $^{\circ}$C เป็น 2.46 W, 8.52 W ตามลำดับ จากนั้นเมื่อทดสอบขนาดความยาวของฮีทไปป์ที่สอดเข้าไปภายในถังน้ำที่ความยาว 7 , 9 ,11 ,13 และ 15 เซนติเมตร กำหนดอุณหภูมิทดสอบทางด้านร้อนเป็น200 $^{\circ}$C เมื่อความยาวของฮีทไปป์ที่ยื่นไปในน้ำมากขึ้น ส่งผลให้การระบายความร้อนดีขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จึงมากขึ้นด้วย เมื่อคำนวณประสิทธิภาพสูงสุดของระบบจะอยู่ในช่วงประมาณ 2 - 4 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน ทดสอบระบบระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ เมื่อเตาหุงต้มเริ่มมีความร้อนจากการจุดไฟ อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้นความต่างอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าจะสูงขึ้น กำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็น 2.75 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : ระบบระบายความร้อน , เทอร์โมอิเล็กทริก

Title	THE IMPROVEMENT OF THERMOELECTRIC GENERATOR COOLING SYSTEM BY HEAT PIPE	
Students	Miss. Phaichit Sridan	student ID 54050567
	Miss. Phakhaphorn Wongkalasin	student ID 54050568
	Miss. Suchawadi Nasari	student ID 54050619
Degree	Bachelor of Science In Applied Physics	
Department	Physics	
Academic Year	2014	
Advisor	Dr. Apaporn Sakulkalavec	

ABSTRACT

The main objective of this project is to study design and improve the cooling system for thermoelectric generator system. Heat pipe and heat pipe combined with water were used as cooling system. The heat source was generated from heater and cook stove. When the heater as a source of heat, test the temperature at the hot side as 150 °C , 200 °C and 250 °C after that record the temperature of thermoelectric at hot side and cold side, voltage, current for 40 minute and 1 hour 30 minute ,respectively. Using an automated storage for record. The result showed that when the temperature to increase, the temperature difference between cold and hot sides is high when the cooling system using heat pipe with water. Power of the cooling system using heat pipe and heat pipe with water at the temperature hot side of 250 °C is 2.46 W , 8.52 W, respectively. Then when the length of heat pipe is insert into the tank at the length of 7, 9, 11, 13 and 15 cm. at the temperature testing hot side as 200 °C. , when the length of heat pipe out of the more water , resulting in better cooling. Poweris thus increased. When calculating the performance of the system is in the range of 2-4 percent and the stove as a source of heat. Testing of heat pipe cooling system with water, when the stove is hot from the fire the temperature is gradually increased. The difference temperature is even higher and maximum power is 2.75 W.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords : Cooling system , Thermoelectric

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและการสนับสนุน จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก เป็นผู้ให้คำปรึกษา แนวคิดและข้อเสนอแนะ แนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆตลอดจนโครงงานพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้คำปรึกษาเป็นกำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้คณะผู้จัดทำซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการศึกษาและจัดทำโครงงานพิเศษนี้

นางสาวไพจิตร ศรีด่าน
นางสาวภคพร วงศ์กาฬสินธุ์
นางสาวสุชาวดี นาสารีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อและสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนในงานวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	5
2.2.1 การนำความร้อน	5
2.2.2 การพาความร้อน	8
2.2.3 การแผ่รังสีความร้อน	10
2.3 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	11
2.3.1 ปรากฏการณ์ซีเบ็ค	12
2.3.2 ปรากฏการณ์เพลทิเย่	14
2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	15
2.4.1 โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	16
2.4.2 หลักการทำงานของ Thermoelectric generator (TEG)	17
2.5 แหล่งความร้อนเหลือทิ้ง	17
2.5.1 ที่มาของแหล่งความร้อนเหลือทิ้ง	17
2.5.2 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้ง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ท่อความร้อน	19
2.6.1 หลักการทำงานของท่อความร้อน	20
2.6.2 ขีดจำกัดของฮีทไปป์	20
2.6.3 สารทำความเย็น	21
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	24
3.1.1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	24
3.1.2 ฮีทไปป์	25
3.1.3 แผ่นทองแดง	26
3.1.4 ดอกกัดหัว Carbide Endmill	26
3.1.5 ถังน้ำ	27
3.1.6 ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ	27
3.1.7 โปรแกรม Lab View	28
3.1.8 เตาหุงต้ม	29
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	30
3.2.1 การออกแบบลักษณะของฮีทไปป์	30
3.2.2 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์	32
3.2.3 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ โดยใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อน	32
3.2.4 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ โดยใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย	
4.1 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์	34
4.2 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ	39
4.2.1 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ เมื่อใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ	41
4.2.2 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ ที่ขนาดความยาวของฮีทไปป์ที่สอดเข้าไปภายในถังน้ำ เมื่อใช้ฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ [illegible] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3 การคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ 44

4.2.4 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ โดยใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน 47

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย 51

5.2 ข้อเสนอแนะ 51

เอกสารอ้างอิง 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุบางชนิด	7
2.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในช่วงใช้งาน	10
2.3 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดปานกลาง	19
2.4 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำ	19
3.1 คุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล รุ่น TEHP1-24156-1.2 จากผู้ผลิต	25
4.1 อัตราการไหลของความร้อนของน้ำ ค่าประสิทธิภาพสูงสุด ในระบบระบายความร้อนฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี	5
2.2 การนำความร้อนผ่านตัวกลางใน 1 มิติ พิกัด x	6
2.3 การกระจายความเร็วและอุณหภูมิของของไหลขณะเกิดการพาความร้อน บริเวณใกล้ผิวให้ความร้อน	8
2.4 การพาความร้อนในชั้นชิดผิวความร้อน และชั้นชิดผิวความเร็ว	9
2.5 การแผ่รังสีแลกเปลี่ยนกันระหว่างพื้นผิวหนึ่งกับสิ่งแวดล้อมโดยรอบ	11
2.6 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบ็ค	12
2.7 ภาพการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำที่มีอุณหภูมิสองด้านไม่เท่ากัน	13
2.8 วงจรการเกิดปรากฏการณ์เพลทิเย่	14
2.9 การเกิดปรากฏการณ์เพลทิเย่กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น	15
2.10 การเกิดปรากฏการณ์เพลทิเย่กับสารกึ่งตัวนำชนิดพี	15
2.11 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	16
2.12 โครงสร้างภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	16
2.13 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEG	17
2.14 ความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้พลังงานแหล่งต่าง ๆ	18
2.15 แสดงโครงสร้างภายในของฮีทไปป์	20
2.16 Limit Heat pipe (www. Electronics Cooling.com)	21
3.1 เทอร์โมอิเล็กโมดูล รุ่น TEHP1-24156-1.2	24
3.2 ฮีทไปป์	25
3.3 แผ่นทองแดง	26
3.4 EAD MILL	26
3.5 ถังน้ำ	27
3.6 กระบวนการจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	27
3.7 ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติประกอบด้วย NI 9211 , NI 9201 และ NI 9227	28

เอกสารนี้มีไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 โปรแกรม Lab View	29
3.9 เตาหุงต้ม	29
3.10 ภาพไอโซเมตริกแสดงลักษณะของฐานทั้งสองด้านของชุดระบายความร้อน	30
3.11 การกัดชิ้นงานแผ่นทองแดง	30
3.12 การเจาะรูชิ้นงานแผ่นทองแดง	31
3.13 ชิ้นงานแผ่นทองแดงที่ทำการกัดและเจาะรูเรียบร้อยแล้ว	31
3.14 ชิ้นงานแผ่นทองแดง (ส่วนปิดทับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล)ที่ทำการเจาะรูเรียบร้อยแล้ว	31
3.15 ระบบระบายความร้อนที่เป็นฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ	33
3.16 ระบบระบายความร้อนที่เป็นฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ ยึดติดกับเตาหุงต้ม	33
4.1 ฐานทองแดงทางด้านล่างของชุดระบายความร้อน	34
4.2 ฐานทองแดงทางด้านบนของชุดระบายความร้อน	35
4.3 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์	35
4.4 แผ่นทองแดงใช้กดทับบนเทอร์โมอิเล็กทริก (T_H)	36
4.5 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์โดยมีแผ่นทองแดงกดทับบนเทอร์โมอิเล็กทริก	36
4.6 ความต่างอุณหภูมิและเวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 151°C ,203°C และ 253°C	37
4.7 กำลังไฟฟ้าและเวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 151°C , 203°C และ 253°C	37
4.8 กำลังไฟฟ้าและความต่างอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิด้านร้อนเป็น 151.°C, 203°C และ 253°C	38
4.9 ถังน้ำ	39
4.10 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ใช้ฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ	40
4.11 ลักษณะของการทดสอบระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ	40
4.12 ความต่างอุณหภูมิและเวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 157°C, 192°C และ 234°C	41
4.13 กำลังไฟฟ้าและเวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 157°C, 192°C และ 234°C	42
4.14 ความต่างอุณหภูมิและเวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 200°C	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 กำลังไฟฟ้าและเวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 200°C	43
4.16 กำลังไฟฟ้าสูงสุดและระยะความยาวฮีทไปป์ เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 200°C	44
4.17 ลักษณะการทำงานของระบบระบายความร้อน	45
4.18 แผ่นทองแดงทางด้านร้อนของชุดระบบระบายความร้อนที่ติดเข้ากับบริเวณ ด้านล่างรังผึ้งของเตาหุงต้ม	47
4.19 ชุดระบบระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ ที่ติดเข้ากับเตาหุงต้ม	48
4.20 อุณหภูมิทางด้านร้อนและเวลา เมื่อใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน	48
4.21 อุณหภูมิทางด้านเย็นและเวลา เมื่อใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน	49
4.22 ความต่างอุณหภูมิและเวลา เมื่อใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน	49
4.23 กำลังไฟฟ้าและเวลา เมื่อใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
kW	กิโลวัตต์
W	วัตต์
P	กำลังไฟฟ้า
T_H	อุณหภูมิด้านร้อน
T_c	อุณหภูมิด้านเย็น
T_R	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม
I	กระแสไฟฟ้า
V	ความต่างศักย์ไฟฟ้า
α	สัมประสิทธิ์ซีเบค
$\prod$	ค่าสัมประสิทธิ์เพลทิเย่
$\overline{\nabla T}$	เกรเดียนของอุณหภูมิ
m	เมตร
K	เคลวิน
τ	Thomson Coefficient
Kg	กิโลกรัม
cm^2	ตารางเซนติเมตร
$^\circ C$	องศาเซลเซียส
$^\circ F$	องศาฟาเรนไฮน์
k	Thermal Conductivity
A	พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ
X	ความหนาของวัสดุ
T_1	อุณหภูมิด้านร้อน
T_2	อุณหภูมิด้านเย็น
m^2	ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ	ความหมาย
mm	มิลลิเมตร
ms	มิลลิวินาที
h_m	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย
ΔT	ผลต่างอุณหภูมิ
Ω	โอห์ม
R_c	ความต้านทานเชิงความร้อน
P	กำลังไฟฟ้า
K	สภาพนำความร้อนของทองแดง
L	ความยาวของทองแด
T_s	อุณหภูมิผิวแผ่รังสี
σ	ค่าคงที่ของ สเตฟาน-โบลต์ซมันน์
DQA	Data Acquiaition
$\dot{Q}_H$	อัตราการไหลของพลังงานความร้อนจาก ฮีทเตอร์เข้าสู่ TE generator
$\dot{Q}_C$	อัตราการไหลของความร้อนออกสู่ สิ่งแวดล้อม
c	ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ
t	เวลาที่ใช้ทดสอบ
η	ประสิทธิภาพของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในยุควิกฤตพลังงานและภาวะโลกร้อน (Global warming) [1] เป็นปัญหาสำคัญในระดับนานาชาติที่ส่งผลกระทบรุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก สาเหตุหนึ่งเกิดจากการที่มนุษย์เผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เพื่อผลิตพลังงาน โดยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) [2] ออกสู่ชั้นบรรยากาศเป็นจำนวนมหาศาล นอกจากนี้ความต้องการในการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและเพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตประจำวัน ล้วนนำมาซึ่งวิกฤติการณ์การขาดแคลนเชื้อเพลิงในอนาคต จึงจำเป็นต้องมีการเสาะแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อทดแทน ที่สำคัญต้องไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมและภาวะเรือนกระจกด้วย

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีปริมาณที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาและการวิจัยเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณพลังงานไฟฟ้าให้ได้เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า การผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการผลิตพลังงานไฟฟ้า การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่ยั่งยืน รวมทั้งเป็นที่ต้องการอย่างยิ่ง เพื่อนำมาทดแทนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน เป็นต้น นอกจากนั้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น พลังงานชีวะมวล พลังงานเคมี (Fuel Cell) รวมทั้งการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจากพลังงานความร้อนที่เหลือใช้จากขบวนการต่างๆด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) จึงเป็นหัวข้อหนึ่ง ซึ่งเป็นที่สนใจในการทำงานวิจัยอยู่ในขณะนี้อย่างมาก การใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานสะอาด มีต้นกำเนิดเป็นความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้งานประจำวัน เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งท่อไอเสียของรถยนต์ การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเตาหุงต้ม เป็นต้น เนื่องด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูลสร้างจากวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N หลายตัว โดยจัดโครงสร้างให้ผนังด้านใดด้านหนึ่งนั้นรับความร้อนอุณหภูมิเดียวกันและสม่ำเสมอตลอดทั้งโมดูล โดยพลังงานความร้อนส่วนใหญ่จะมาจากดวงอาทิตย์ ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือความร้อนเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามภายในครัวเรือนของเราเองยังมีความร้อนที่ถูกปลดปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมา ซึ่งเราละเลยไป ทั้งจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น ลมร้อนของเครื่องปรับอากาศและแผงระบายความร้อนของตู้เย็นหรือกิจกรรมภายในครัวเรือน เช่น การประกอบอาหารจากเตาก๊าซหุงต้ม เตาถ่าน และการเผาขยะ ซึ่งพลังงานความร้อนส่วนนี้ถูกทิ้งไปทุกๆวัน จึงเป็นที่มาของแนวคิดสำหรับการวิจัยนี้ที่จะนำพลังงานความร้อนจากภายในครัวเรือนที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์มาแปลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะมีการศึกษาและออกแบบของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเตาหุงต้ม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและออกแบบระบบระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อใช้ในระบบเตาหุงต้มจากถ่าน เนื่องจากเป็นระบบขนาดเล็กและมีใช้แพร่หลายในครัวเรือนตามต่างจังหวัด โดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากการหุงต้มมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และลดการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งสิ่งที่สำคัญของกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือการควบคุมปริมาณอากาศที่จะเข้าไปยังเตาเชื้อเพลิงให้เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยทั่วไปเชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบหลักคือ ธาตุคาร์บอน เมื่อเผาไหม้รวมกับออกซิเจนในอากาศที่สมบูรณ์ จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา แต่ถ้าหากออกซิเจนไม่เพียงพอจะทำให้เกิด ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ในการควบคุมการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะต้องใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ต้องการจะใช้พลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งจากเตาเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลและเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงระบบระบายความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้ม
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเตาหุงต้มในการใช้ประโยชน์นอกเหนือจากการใช้งานหลัก

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2557 ถึง 31 ตุลาคม 2557

1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

เดือนที่ 1-2 เป้าหมายคือ ได้ระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ

1. ศึกษาและออกแบบระบบระบายความร้อนที่เหมาะสม ในการนำไปติดตั้งกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ความร้อนเป็นฮีทเตอร์

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บันทึกอุณหภูมิทางด้านร้อน (T_H) , อุณหภูมิทางด้านเย็น (T_C) , ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (I) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยเครื่องระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (NI 9201, NI 9211 และ NI 9227)

   เดือนที่ 3-5 เป้าหมายคือ ได้ระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จากการใช้น้ำมาเป็นส่วนช่วยในการระบายความร้อนในระบบ

3. ออกแบบระบบระบายความร้อนเพิ่มเติม โดยการนำถังน้ำเข้ามาติดตั้ง
4. นำระบบระบายความร้อนที่มีการติดเข้ากับถังน้ำแล้ว ไปติดตั้งกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ความร้อนเป็นฮีทเตอร์
5. บันทึกอุณหภูมิทางด้านร้อน (T_H) , อุณหภูมิทางด้านเย็น (T_C) , ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (I) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยเครื่องระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (NI 9201, NI 9211 และ NI 9227)

   เดือนที่ 6-7 เป้าหมายคือ ได้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้ม

6. นำระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยใช้แหล่งระบายความร้อนที่ออกแบบไปประกอบเข้ากับเตาหุงต้ม
7. บันทึกอุณหภูมิทางด้านร้อน (T_H) , อุณหภูมิทางด้านเย็น (T_C) , ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (I) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยเครื่องระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (NI 9201, NI 9211 และ NI 9227)
8. สรุปผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถออกแบบและพัฒนาระบบระบายความร้อนในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล
2. สามารถนำระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลโดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้มไปใช้งานจริง ตามบ้านเรือน ชุมชนต่างๆ
3. การทดสอบครั้งนี้จะช่วยกระตุ้นให้เรามองหามุมมองใหม่ๆในการออกแบบการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ตลอดจนศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในการสร้างและออกแบบชุดระบายความร้อนเพื่อช่วยในการระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นในการนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาผลิตกระแส ไฟฟ้า โดยงานวิจัยนี้จะใช้ความร้อนจากเตาหุงต้มมาทำการผลิตกระแสไฟฟ้า คณะผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการทำเตาจากกระบวนการหลายๆ กระบวนการใช้เชื้อเพลิง [3] ต่างๆ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเอกสารที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

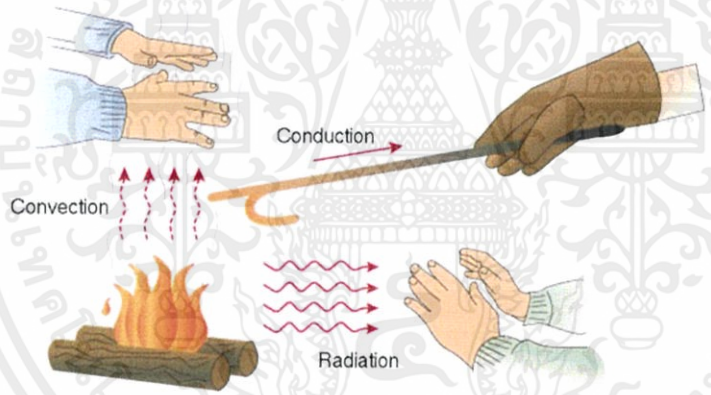
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อ้างอิงจากงานวิจัย เรื่อง Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator [4] ที่ได้มีการพัฒนาเตาประกอบอาหารชีวมวลที่ติดตั้งด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก การใช้เตาชีวมวลปรุงอาหารโดยใช้ชีวมวล เช่น ฟางข้าว เศษไม้ กากอ้อย เป็นต้น นำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการอุปโภคและบริโภค เริ่มเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายภายในประเทศที่กำลังพัฒนา แต่ในส่วนการใช้งานของเตาชีวมวลนั้น อาจยังไม่มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนเพื่อที่จะนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเท่าที่ควร การจะเพิ่มประสิทธิภาพของเตาชีวมวลจะต้องมีการทดสอบความเป็นไปได้ ในการที่จะติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกและฮีทซิงค์ เข้าไปยังเตาชีวมวล ในการทดลองที่เกิดขึ้นนี้ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของเตาชีวมวลในอุณหภูมิที่แตกต่างกันซึ่งแสดงให้เห็นว่า กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเตาจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของตัวเทอร์โมอิเล็กทริก ในความต่างอุณหภูมิที่ 150 °C นั้นจะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 2.4 W ประสิทธิภาพที่วัดได้จะมีประมาณ 3.2 % ซึ่งจะเพียงพอสำหรับการขับเคลื่อนกำลังไฟฟ้าต่ำๆ ที่สามารถทำให้หลอดไฟสว่างหรือวิทยุพกพาขนาดเล็กใช้งานได้ เนื่องจากปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมจึงทำให้มีตลาดที่จะสามารถพัฒนาศักยภาพของเตาชีวะมวลต่อไปได้ จากความเรียบง่ายและต้นทุนที่ไม่สูงมากของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ทำให้มีการส่งเสริมในเชิงพาณิชย์มากขึ้น

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน [5] คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจาก ความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ รูปที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในแบบต่าง ๆ เมื่อมี เกรเดียนท์อุณหภูมิ (Temperature Gradient) เกิดขึ้นในตัวกลางที่อยู่นิ่ง เช่น ของแข็ง หรือ ของไหล เทอมของการนำความร้อน (Conduction) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านตัวกลาง ในขณะที่การพาความร้อน (Convection) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวและของไหลที่เคลื่อนที่เมื่อมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ส่วนการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) จะเป็นการที่ทุกพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิหนึ่งจะปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ดังนั้น ในสภาวะที่ปราศจากตัวกลางใดๆ จะมีการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้น เนื่องจากการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวสองพื้นผิวที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันได้



รูปที่ 2.1 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี

2.2.1 การนำความร้อน

การนำความร้อน [6] หมายถึง การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยส่งถ่ายความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งสู่อีกโมเลกุลอย่างต่อเนื่องกัน การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางแบบการนำความร้อนคำนวณจากกฎของฟูเรียร์ (Fourier's law)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎของฟูเรียร์ กล่าวว่า สำหรับการนำความร้อนผ่านตัวกลางในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อน $(\dot{Q}_x)$ ผ่านตัวกลางในทิศทางนั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหลของความร้อน (A) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางในทิศทางดังกล่าว $(\frac{dT}{dx})$

สำหรับการนำความร้อนในทิศทาง x ภายใต้สภาวะคงตัว (Steady State) อุณหภูมิในตัวกลาง

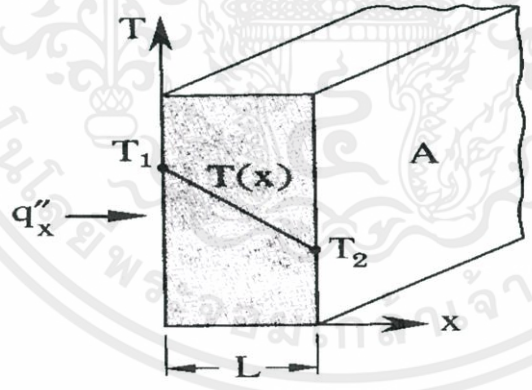
$$T = T(x)$$

จากกฎของฟูเรียร์

$$\dot{Q}_x = -kA\frac{dT}{dx} \tag{2.1}$$

โดยที่ k คือ ค่าสภาพนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของตัวกลาง มีหน่วยเป็น $W/m\cdot K$ ฟลักซ์ความร้อนผ่านตัวกลางสามารถคำนวณ

$$q''_x = \frac{\dot{Q}_x}{A} = -k\frac{dT}{dx} \tag{2.2}$$



รูปที่ 2.2 การนำความร้อนผ่านตัวกลางใน 1 มิติ พิกัด x

ในสมการ (2.1) และ (2.2) ถ้าอุณหภูมิของตัวกลางลดลงตามทิศทาง +x พบว่าค่าของ $\frac{dT}{dx}$ เป็นลบ ดังนั้น ถ้า $\dot{Q}_x$ หรือ q''_x มีทิศการไหลในทิศ + x

ภายใต้สภาวะคงตัวและตัวกลางมี k เป็นค่าคงที่ อุณหภูมิ T(x) เป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้น ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} = \frac{-(T_1 - T_2)}{L} \tag{2.3}$$

ดังนั้น

$$q''_x = \frac{k(T_1 - T_2)}{L} = \frac{k\Delta T}{L} \tag{2.4}$$

คุณสมบัติในการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุบางชนิด [7]

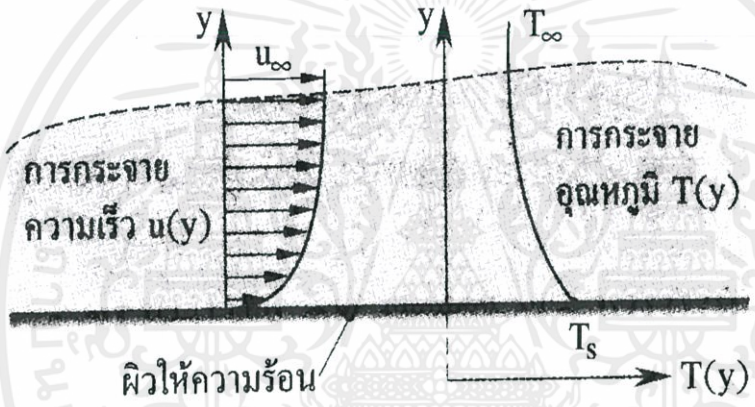
Thermal Conductivity of Common Materials (at 25 °C)	
Material	Conductivity (Watts/meter-°C)
Acrylic	0.200
Air	0.024
Aluminum	250.000
Copper	401.000
Carbon Steel	54.000
Concrete	1.050
Glass	1.050
Gold	310.000
Nickel	91.000
Paper	0.050
PTFE (Teflon)	0.250
PVC	0.190
Silver	429.000
Steel	46.000
Water	0.580
Wood	0.130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง พบว่า วัสดุโลหะที่นำความร้อนที่ดีที่สุดก็คือ เงิน (แต่ไม่นิยมใช้ในงานทั่วไป เพราะว่ามีราคาค่อนข้างสูง) รองลงมาก็ คือ ทองแดง และ อลูมิเนียม ซึ่งทั้งคู่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่สูง จึงเหมาะในการนำไปทำเป็นวัสดุระบายความร้อน

2.2.2 การพาความร้อน

การพาความร้อน [8] หมายถึง การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของไหล ผลการเคลื่อนไหวของของไหลส่งผลให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งมีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของแข็งนั้น (h , $W/m^2 \cdot K$) พลังงานความร้อนถูกโอนถ่ายเป็นผลมาจากการแพร่ (Diffusion) ของโมเลกุลและผลจากการเคลื่อนไหวไปทั้งปริมาตรของของไหล



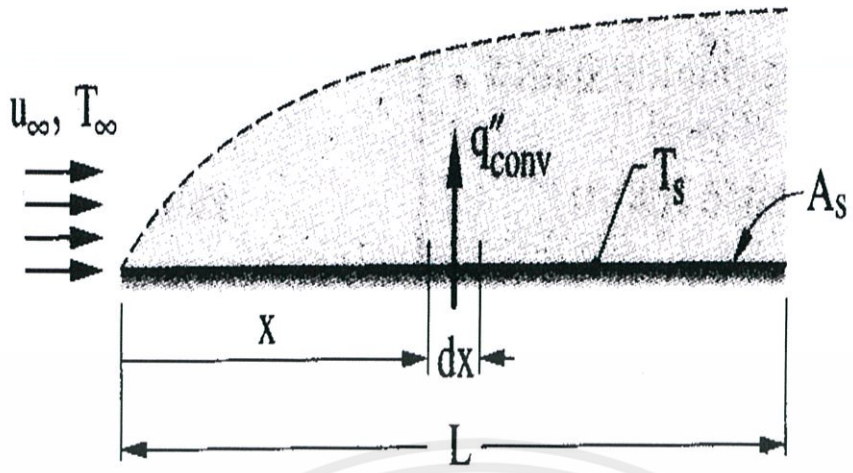
รูปที่ 2.3 การกระจายความเร็วและอุณหภูมิของของไหล
ขณะเกิดการพาความร้อนบริเวณใกล้ผิวให้ความร้อน

การพาความร้อนจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection) กล่าวถึงการเคลื่อนไหวของของไหลเป็นผลของแรงลอยตัวซึ่งเกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น อันเกิดจากมีผลต่างของอุณหภูมิของของไหลใน 2 บริเวณ

2. การพาความร้อนโดยบังคับ (Forced Convection) กล่าวถึงการเคลื่อนไหวของของไหลที่เป็นผลมาจากแรงกระทำจากภายนอก เช่น เครื่องสูบ เครื่องเป่าลม (Blower) ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การพาความร้อนในชั้นชิดผิวความร้อน และชั้นชิดผิวความเร็ว

พิจารณาการพาความร้อนจากผิวของแข็งพื้นที่ A_S อุณหภูมิผิว T_S ขณะของไหล ไหลผ่านด้วยความเร็ว U_∞ และอุณหภูมิ T_∞ คงที่ ฟลักซ์ความร้อนเฉพาะที่คำนวณเป็นไปตามกฎการทำให้เย็นตัวลงของนิวตัน (Newton's law of cooling)

$$q''_{conv} = h(T_s - T_\infty) \tag{2.5}$$

โดยที่ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่ ($W/m \cdot K$)

ดังนั้น จะคำนวณอัตราการพาความร้อนทั้งหมดบนพื้นผิว A_s

จาก

$$\dot{Q}_{conv} = \int_{A_s} q''_{conv}\, dA_s = (T_s - T_\infty)\int hdA_s \tag{2.6}$$

$$\dot{Q}_{conv} = h_m A_s (T_s - T_\infty) \tag{2.7}$$

โดยที่ h_m คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (Average Convection Coefficient) สำหรับแผ่นระนาบ (flat plate) ยาว L จะพบว่า

$$h_m = \frac{1}{L}\int_0^L hdx \tag{2.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในช่วงใช้งาน

ชนิดของการพาความร้อน	ค่าสัมประสิทธิ์ ($W/m\cdot K$)
การพาตามธรรมชาติ	5 - 25
การพาโดยบังคับ	
ก๊าซ	25 – 250
ของเหลว	50 - 20000
การพาขณะเปลี่ยนแปลงเฟส	
(เดือดตัวและควบแน่น)	2500 - 100000

2.2.3 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน [9] หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากผิวตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกผิวตัวกลางหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน พลังงานของการแผ่รังสีถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro magnetic wave) หรือในรูปของโฟตอนโดยไม่ต้องอาศัยวัสดุตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถเกิดในสุญญากาศได้ ฟลักซ์สูงสุดของการแผ่รังสีออกจากผิวตัวกลาง

คำนวณจากกฎของ สเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann) ดังนั้น

$$q''_{rad} = \sigma T_s^4 \tag{2.9}$$

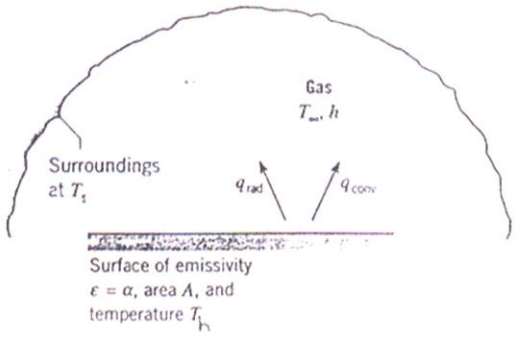
โดยที่ T_s คือ อุณหภูมิผิวแผ่รังสีในหน่วยองศาสมบูรณ์ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

σ คือ ค่าคงที่ของ สเตฟาน-โบลต์ซมันน์ มีค่าเท่ากับ 5.67×10^{-8} $W/m^2\cdot K^4$

สมการ (2.9) ใช้กับกรณีของตัวแผ่รังสีในอุดมคติ (Ideal Radiator) หรือวัตถุดำ (Black Body) สำหรับกรณีของพื้นผิวจริง (Real Surface) ฟลักซ์แผ่รังสีจะน้อยกว่ากรณีของวัตถุดำ ทั้งนี้จะขึ้นกับสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ของพื้นผิวนั้น (ε) ด้วยฟลักซ์แผ่รังสีบนพื้นผิวจริงคำนวณจาก

เอกสารนี้เป็นการเผยแพร่เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q''_{rad} = \varepsilon\sigma T_s^4 \tag{2.10}$$



รูปที่ 2.5 การแผ่รังสีแลกเปลี่ยนกันระหว่างพื้นผิวหนึ่งกับสิ่งแวดล้อมโดยรอบ

พิจารณาการแผ่รังสีแลกเปลี่ยนกันระหว่างพื้นผิว A อุณหภูมิ T_s มีสภาพเปล่งรังสี ε กับสิ่งแวดล้อมโดยรอบซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ T_{sur} อัตราการแผ่รังสีสุทธิบนพื้นผิว A คือ

$$q''_{net} = \frac{\dot{Q}_{rad,net}}{A} = \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{sur}^4) \tag{2.11}$$

นอกจากรูปแบบสมการ (2.11) แล้วรูปแบบสมการอย่างง่ายสำหรับคำนวณการแผ่รังสีจะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{rad,net} = h_r A(T_s - T_{sur}) \tag{2.12}$$

โดยที่ h_r คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน มีหน่วยเป็น $W/m^2 \cdot K$ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$h_r = \varepsilon\sigma(T_s + T_{sur})(T_s^2 + T_{sur}^2) \tag{2.13}$$

ในรูปที่ 2.5 ถ้าหากระหว่างพื้นผิว A กับสิ่งแวดล้อมเป็นก๊าซ จะมีการพาความร้อนเกิดร่วมกับการแผ่รังสีความร้อนด้วย ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดสุทธิออกจากพื้นผิว A คำนวณจาก

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{red,net} = hA(T_s - T_\infty) + \varepsilon A\sigma(T_s^4 - T_{sur}^4) \tag{2.14}$$

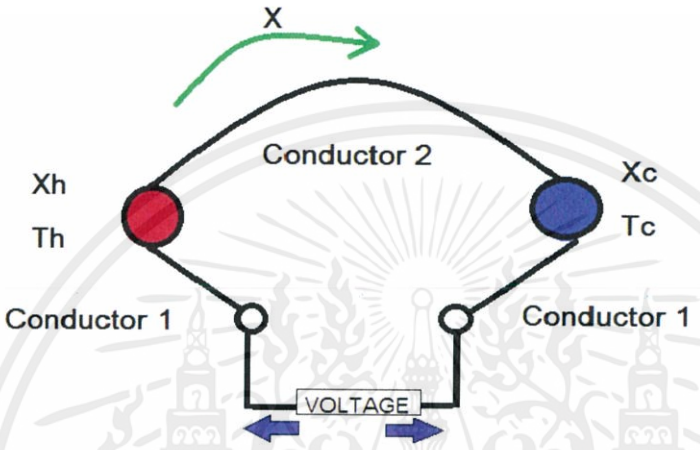
2.3 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect)

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect) [10] เป็นปรากฏการณ์การเปลี่ยนรูประหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเริ่มต้นขึ้น ในปี ค.ศ.1821 โดย Thomas Johann Seebeck นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ค้นพบว่า เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณรอยต่อของตัวนำ (Conductor) สองชนิด จะเกิดแรงดันและเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น ภายในตัวนำเมื่อเป็นวงจรปิด ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck

เอกสารนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect) ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 Jean Chales Athanase Peltier นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ค้นพบว่าเมื่อนำตัวนำสองชนิดมาต่อกันแล้วทำการจ่ายกระแสให้ไหลผ่านตัวนำที่รอยต่อระหว่างตัวนำทั้งสองจะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเกิดขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เพลทิเย่ (Peltier Effect)

2.3.1 ปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck Effect)



รูปที่ 2.6 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบ็ค [11]

จากรูปที่ 2.6 เส้นลวดโลหะสองชนิด (Conductor 1 และ Conductor 2) ถูกเชื่อมต่อโดยจุดเชื่อมต่อ X_h ซึ่งมีอุณหภูมิสูง (T_h) และจุด X_c ซึ่งมีอุณหภูมิค่า (T_c) พาหะไฟฟ้า (Carrier) ในตัวนำจะมีทิศทางการแพร่ (Diffusion) ไปในทิศทางเดียวกันกับการถ่ายเทอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ตามทิศทาง x ที่บริเวณฝั่งด้านร้อนพาหะจะมีพลังงานสูง จึงพยายามแพร่ไปหาด้านที่เย็นกว่าเพื่อลดพลังงานลงทำให้พาหะไฟฟ้าอยู่ในภาวะสมดุล เนื่องจากลวดตัวนำทั้ง สองเป็นโลหะต่างชนิดกัน จึงมีค่าสัมประสิทธิ์การเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ (S) ไม่เท่ากัน และทำให้เกิดแรงดันคร่อมจุดเชื่อมต่อทั้งสอง สมการ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ต่างกันของจุดต่อทั้ง สองกับแรงดันที่เกิดขึ้น

$$V = (S_2 - S_1)\Delta T \tag{2.15}$$

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ระหว่างจุดต่อทั้งสอง มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

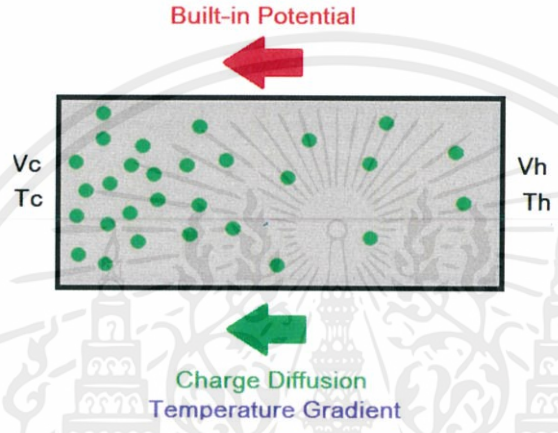
S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็คหรือค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของโลหะชนิดต่างๆ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V) / เคลวิน (K)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อทั้งสอง มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า S จะขึ้น อยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ อุณหภูมิโครงสร้างอะตอม และชนิดของตัวนำ ซึ่งหากใช้ตัวนำ ต่างชนิดจะได้ค่า S ไม่เท่ากันทาให้ V ที่ได้จะมีค่าไม่เป็นศูนย์

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในยุคปัจจุบันจะใช้สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) มาผ่านกระบวนการโด๊ป (Doping) เพื่อให้ได้เป็นสารกึ่งตัวนาชนิดเอ็น (N-type) คือ สารกึ่งตัวนำที่มีอิเล็กตรอน (ประจุลบ) เป็นพาหะข้างมาก และชนิดพี (P-type) คือสารกึ่งตัวนาที่มีโฮล (ประจุบวก) เป็นพาหะข้างมาก



รูปที่ 2.7 ภาพการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำที่มีอุณหภูมิสองด้านไม่เท่ากัน

พาหะข้างมากของสารกึ่งตัวนำทั้ง สองชนิดจะมีทิศทางการแพร่ (Diffusion) เป็นไปตาม รูปที่ 2.6 คือพาหะมีการไหลตามทิศทางการถ่ายเทอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิค่า การแพร่ของพาหะข้างมากก็จะเกิดการไหลของกระแส กรณีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอนกระแสก็จะไหลในทิศสวนทางกับการแพร่ ในรูปที่ 2.6 ไหลจากซ้ายไปขวา และถ้าหากพาหะข้างมากเป็นโฮลกระแสที่เกิดขึ้น จะไหลทิศทางเดียวกันกับทางแพร่ในรูปที่ 2.7 จะไหลจากขวาไปซ้าย และแรงดัน (Built-in potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างด้านทั้งสองที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันสามารถอธิบายเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$S = -\frac{\Delta V}{\Delta T} = -\frac{V_h - V_c}{(T_h - T_c)} \qquad (2.16)$$

V_h คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านร้อน มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

V_c คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านร้อน มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อน มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

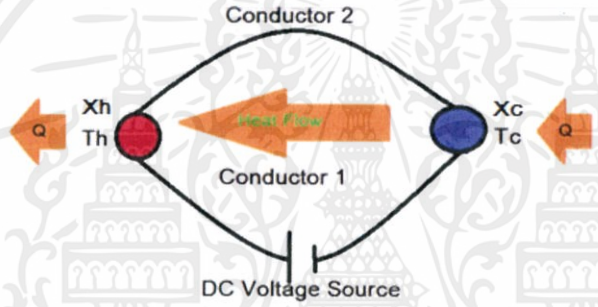
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็น มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

S คือ Seebeck Coefficient มีหน่วยเป็น โวลต์ (V) / เคลวิน (K)

2.3.2 ปรากฏการณ์เพลทิเย่ (Peltier Effect)

เป็นปรากฏการณ์การแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนซึ่งตรงข้ามกับปรากฏการณ์ซีเบ็ค ปรากฏการณ์เพลทิเย่จะเกิดขึ้น เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงให้กับตัวนำสองชนิดที่ทำการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าโดยพาหะในตัวนำ จะทำการเคลื่อนที่ซึ่งในขณะเดียวกันพาหะจะทำการแพร่ความร้อนไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.8 DC Voltage Source ทำให้เกิด การแพร่ของพาหะจากจุด X_c ไปยังจุด X_h ทำให้อุณหภูมิที่จุด X_c มีค่าลดลงเท่ากับ T_c และทำให้อุณหภูมิที่จุด X_h มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ T_h



รูปที่ 2.8 วงจรการเกิดปรากฏการณ์เพลทิเย่ [12]

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้น อยู่กับทิศทางการไหลของกระแส ซึ่งขึ้น อยู่กับชนิดของพาหะ สมการ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ดูดซึมทางด้านเย็นกับกระแสไฟฟ้าได้ ดังนี้

$$Qabsorb = (\Pi_1 - \Pi_2) \times I \qquad (2.17)$$

Qabsorb คือ ความร้อนที่พาหะตัวนาสามารถพาไปได้ มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

Π คือ ค่าสัมประสิทธิ์เพลทิเย่ หรือ พลังงานความร้อนที่ประจุไฟฟ้า 1 ประจุ สามารถพาไปได้ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

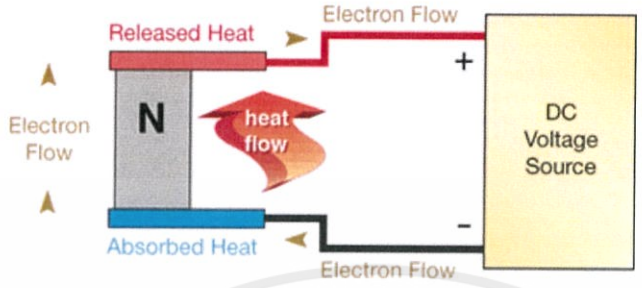
I คือ กระแสที่ไหลอยู่ภายในตัวนำ มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้น ชนิดเอ็นและชนิดพีจะมีทิศทางการถ่ายเทความร้อนต่างกัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

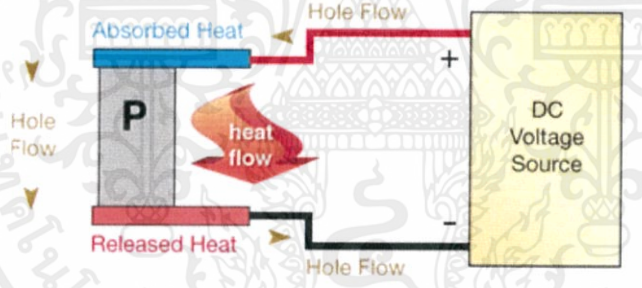
สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) มี อิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างมากมีประจุเป็นลบ จากรูปที่ 2.9 เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบซึ่ง อยู่ด้านล่างเสมือนเป็นการเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนที่

อยู่ด้านล่าง อิเล็กตรอนบริเวณนั้นมีพลังงานสูงและจะพยายามแพร่ไปด้านบนเพื่อให้อยู่ในสภาวะสมดุล ระหว่างที่อิเล็กตรอนแพร่ขึ้น ไปด้านบนนั้น ก็จะนำเอาความร้อนที่ถูกดูดเข้ามาบริเวณด้านเย็นขึ้น ไปปล่อยออกบริเวณด้านร้อน



รูปที่ 2.9 การเกิดปรากฏการณ์เพลทิเย่กับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น [13]

สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type) มีโฮลเป็นพาหะข้างมากมีประจุเป็นบวก จากรูปที่ 2.10 เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขั้วบวกซึ่งจะอยู่ข้าวบนเสมือนเป็นการเพิ่มพลังงานให้กับโฮลที่อยู่ด้านบน โฮลบริเวณนั้นจะมีพลังงานสูงและพยายามเคลื่อนที่ลงด้านล่างเพื่อให้อยู่ในสภาวะสมดุล พลังงานความร้อนที่ดูดซึมมาจากสิ่ง แวดล้อมจะถูกโฮลพาลงมาปล่อยออกที่ด้านร้อน

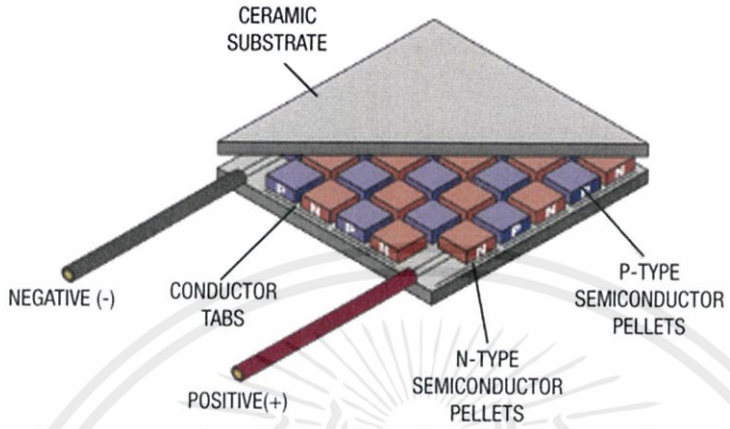


รูปที่ 2.10 การเกิดปรากฏการณ์เพลทิเย่กับสารกึ่งตัวนำชนิดพี [14]

2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric Module)

เทอร์อิเล็กทริกโมดูล [15] จัดเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ทำความเย็น (Thermoelectric Cooler) หรือถูกนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า (Thermoelectric Generator) วัสดุที่นำมาใช้เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีนั้น ตามหลักควรจะเป็นวัสดุที่มีค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิที่สูง หรือมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คมาก ซึ่งคือวัสดุประเภทโลหะกับสารกึ่งตัวนำเนื่องจากมีประจุไฟฟ้าอิสระมาก มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำเป็นสื่อนำที่ได้เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยการเปลี่ยนคืนเป็นความร้อน ปัจจุบันเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นยังถือว่ามีประสิทธิภาพ (Efficiency) ที่ต่ำมากและถือว่า

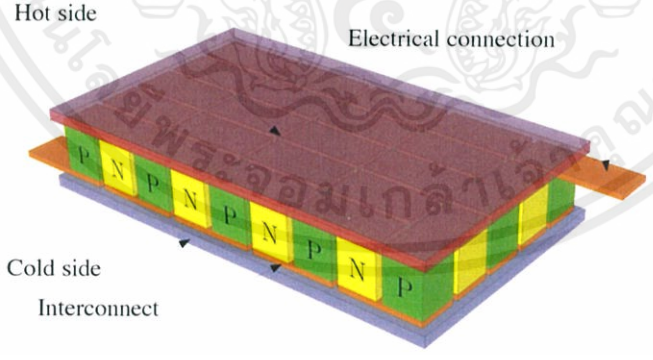
ต่ำ ที่สุดในบรรดาวิธีการเปลี่ยนรูปพลังงานจากความร้อนทั้งหมด แต่เนื่องจากมีข้อเด่นในเรื่องของขนาดที่เล็กมากและไม่มีชิ้น ส่วนขยับทำให้ปราศจากมลพิษทางเสียง จึงได้มีกลุ่มวิจัยส่วนหนึ่งยังคงศึกษาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

2.4.1 โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีจะอยู่แบบเรียงกันเป็นคู่ มีโลหะนำไฟฟ้าเป็นจุดเชื่อม (Interconnect) ระหว่าง (Interconnect) สารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิด



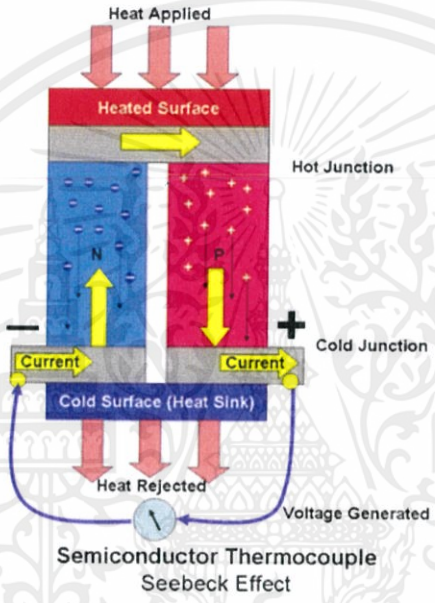
รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

2.4.2 หลักการทำงานของ Thermoelectric generator (TEG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นโหมดทำใช้ความร้อนไปผลิตกระแสไฟฟ้าจากหลักของปรากฏการณ์ซีเบ็ค โหมดนี้จะทำงานเมื่ออุณหภูมิของทั้งสองข้างของโมดูลเกิดความแตกต่างกัน ยกตัวอย่างการทำงาน จากภาพ

ที่ 2.12 จะให้ความร้อนความร้อนที่ด้านบนและระบายความร้อนออกที่ด้านล่างทาให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิโดยที่ด้านบนมีอุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้พาหะข้างมากบริเวณนั้น มีพลังงานสูงตามไปด้วย พาหะข้างมากจะแพร่ลงมาด้านล่างที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยพาหะข้างมากอิเล็กตรอนของชนิดเอ็นจะทำให้เกิดกระในทิศสวนทางขึ้นด้านบน และพาหะโฮล ของชนิดพีจะทำ ให้เกิดกระแสทิศเดียวกัน ลงด้านล่าง เมื่อสารกึ่งตัวนาชนิดเอ็นและพี มีโลหะที่นำไฟฟ้ามาเชื่อมเป็นจุดต่อและทาให้เป็นวงจรปิดกระแสจะไหลได้ครบวงจรในทิศตามเข็มนาฬิกา หากทำการสลับข้างด้านที่ให้ความร้อนเป็นด้านล่าง และด้านระบายความร้อนเป็นด้านบนจะทาให้กระแสไหลกลับทิศทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.13 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEG [16]

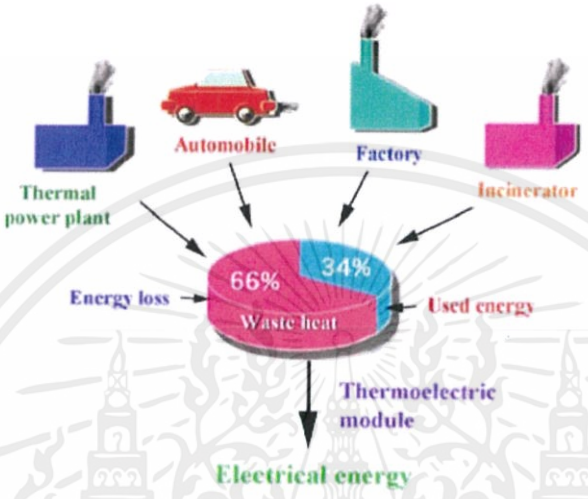
2.5 แหล่งความร้อนเหลือทิ้ง

2.5.1 ที่มาของความร้อนเหลือทิ้ง

การเปลี่ยนรูปพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ ได้แก่เชื้อเพลิงฟอสซิล เชื้อเพลิงชีวะมวล หรือปฏิกิริยานิวเคลียร์ เป็นต้น ไปเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและงานด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่นการใช้ความร้อนสำหรับจักรกลไอน้ำ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้ความร้อนเพื่อแปรรูปโลหะ การสันดาปเครื่องยนต์ การเผาขยะในระบบปิด และการทำความเย็นแบบ Absorption เป็นต้น พบว่าประสิทธิภาพของการนำความร้อนจากแหล่งพลังงานดังกล่าวไปใช้ประโยชน์นั้นทำได้เพียง 30% - 40% เท่านั้น ความร้อนส่วนเกินต้องทิ้งไปกับ

ระบบระบายความร้อนในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระบายความร้อน ซึ่งต้องสูญเสียพลังงานไป 60% - 70% เนื่องจาก ข้อจำกัดของประสิทธิภาพคาร์โนต์ในการแปรผันพลังงาน

ตามวัฏจักรคาร์โนต์ เรียกความร้อนที่ไม่ก่อประโยชน์นี้ว่า ความร้อนเหลือทิ้ง กระบวนการแปรรูปพลังงานความร้อนและเกิดความร้อนเหลือทิ้งแสดงใน รูปที่ 2.13



รูปที่ 2.14 ความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้พลังงานแหล่งต่าง ๆ [17]

2.5.2 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้ง [18]

ความร้อนเหลือทิ้งจากแหล่งกำเนิดความร้อนขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมโลหะและโรงเผาขยะ นับเป็นแหล่งความร้อนเกรดสูง (High Grade Source) มีอุณหภูมิมากกว่า 650 °C ส่วนโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้า และความร้อนจากปล่องไอเสียเครื่องยนต์ จะมีอุณหภูมิปานกลางประมาณ 120 °C – 650 °C ขณะที่ความร้อนจากการหุงต้มหรือกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ใช้ไอน้ำแรงดันต่ำจะเป็นความร้อนเกรดต่ำ (Low Grade Source) มีอุณหภูมิสูงในช่วง 60 °C – 120 °C โดยประมาณ ดังแสดงข้อมูลเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งประเภทต่าง ๆ ในตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 ซึ่งความร้อนจากแหล่งความร้อนเหลือทิ้งดังกล่าวสามารถนำกลับมาคืนใช้ได้ แทนที่จะทิ้งไปกับระบบระบายความร้อนสู่บรรยากาศโดยเปล่าประโยชน์ อีกประการหนึ่งลักษณะของความร้อนเป็นแหล่งพลังงานที่ให้ความร้อนต่อเนื่องและมีอุณหภูมิที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก จึงสามารถนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ความร้อนเพื่อคืนกลับพลังงานเหลือทิ้งมาเป็นพลังงานไฟฟ้า จะช่วยให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าเสริมตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดปานกลาง

Type of device	Temperature (°C)	Temperature (°F)
Steam boiler exhausts	123 - 482	450 - 900
Gas turbine exhausts	371 - 538	700 - 1000
Reciprocating engine exhausts	316 - 593	600 - 1100
Heat treating furnace	427 - 649	800 - 1200
Drying and backing ovens	232 - 593	450 - 1100

ตารางที่ 2.4 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำ

Type of device	Temperature (°C)	Temperature (°F)
Process steam condensate	54 – 88	130 - 190
Cooling water from :		
Furnace	32 – 55	90 – 130
Bearing	32 – 88	90 – 190
Welding machines	32 - 88	90 – 190
Injection molding machines	32 - 88	90 – 190
Air compressor	27 - 49	80 – 120
Internal combustion engines	66 – 121	150 – 250
Air-cond. And refrig. condensers	62 - 43	90 – 110

2.6 ท่อความร้อน (Heat Pipe)

ท่อความร้อนหรือฮีทไปป์ [19] คือ อุปกรณ์อย่างง่ายซึ่งมีความสามารถถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆได้รวดเร็วมากโดยเปรียบเทียบได้กับตัวนำยิ่งยวด (Superconductor) ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนได้ทั้งหมดโดยไม่มีการสูญเสีย

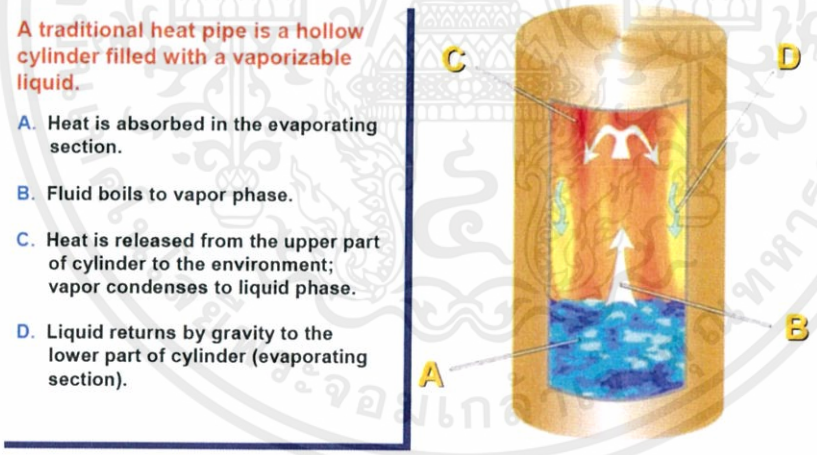
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮีทไปป์ถูกคิดค้นในช่วงประมาณปี ค.ศ. 1950 และ ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ ค.ศ. 1970 เป็นต้นมาและค้นคว้าและพัฒนามาถึงปัจจุบันมีเวลานานกว่า 60 ปีแล้ว โดยแรกเริ่มต้นในด้นเทคโนโลยีอวกาศ ดาวเทียม โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยในระยะหลัง 10-15 ปี จนถึงปัจจุบัน อีท

ไปป์ได้ถูกนำมาใช้ในการลดความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ หรือ นำไปใช้ด้านประหยัดพลังงานและแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรมทั่วไป

2.6.1 หลักการทำงานของท่อความร้อน

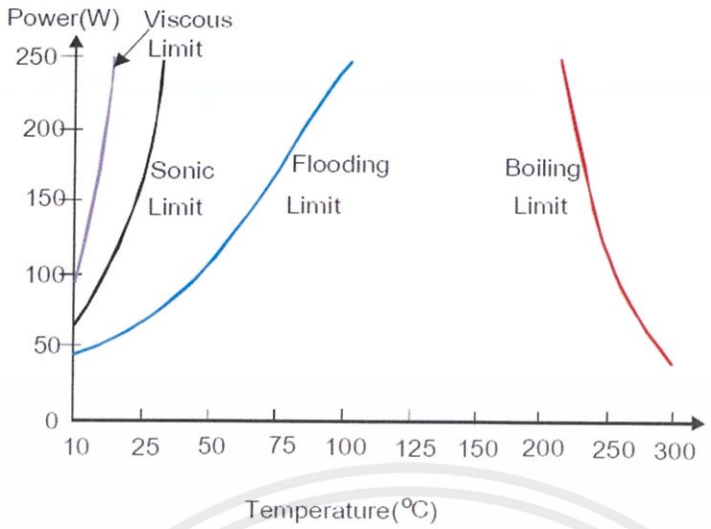
ฮีทไปป์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือส่งถ่ายความร้อนได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก ส่วนประกอบของฮีทไปป์จะเป็นท่อโลหะที่ปิดหัวท้ายภายในเป็นสุญญากาศที่มีสารทำงาน (Working Fluid) บรรจุอยู่ภายในซึ่งมักจะเป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) ฟรีออน 22 หรือ 134a การทำงานของฮีทไปป์อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นร่วมกับแรงโน้มถ่วงของสารทำงาน โดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก (Passive) กล่าวคือ สารทำงานในท่อด้านที่ต่ำกว่าเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นไปยังด้านที่สูงกว่า แล้วคายความร้อนออก ทำให้ไอของสารทำงานมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่น กลายเป็นของเหลวตกลงสู่ด้านที่ต่ำกว่าอีกครั้ง และด้วยเหตุนี้จึงเรียกด้านที่อยู่ต่ำกว่าว่าด้านระเหย (Evaporation Section) และเรียกด้านที่อยู่สูงกว่าว่าด้านควบแน่น (Condensation Section) ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างภายในของฮีทไปป์

2.6.2 ขีดจำกัดของฮีทไปป์ [20]

การถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ เช่นปริมาณสารทำงานที่เติม มุมเอียง สัดส่วนความยาวในการทำงานของท่อ ชนิดสารทำงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ เป็นต้น ผลจากการเปลี่ยนตัวแปรไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดขีดจำกัด เนื่องจาก กลไกการถ่ายเทความร้อนภายในท่อฮีทไปป์ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 Limit Heat pipe (www. Electronics Cooling.com)

2.6.3 สารทำความเย็น (Refrigerants)

สารทำความเย็น เป็นของไหลทำงานที่สำคัญในระบบความเย็นมันจะรับความร้อนจากแหล่งความร้อนที่ต้องการขจัดและคายความร้อนนี้ทิ้งไปความร้อนจะถูกเคลื่อนย้ายจากระบบโดยการระเหยของสารทำความเย็นเหลวและคายความร้อนทิ้งไปโดยการควบแน่นของไอสารทำความเย็นเพื่อให้เหมาะ สมที่จะใช้เป็นสารทำความเย็นใน วัฏจักรอัดไอเชิงกล ของไหลนั้นๆ ควรจะต้องมีสมบัติทางเคมีทางกายภาพและทางอุณหพลศาสตร์ที่แน่นอนซึ่งทำให้มีความปลอดภัยและมีราคาถูก

ความหมายและหน้าที่ของสารทำความเย็น

สารที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนนี้วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้บัญญัติคำศัพท์ทางวิชาการขึ้นเรียกว่า “ **สารทำความเย็น** ” และให้ความหมายของคำว่าสารทำความเย็นไว้ว่าหมายถึง สารที่ทำให้เกิดความเย็นโดยการดูดความร้อน เมื่อขยายตัวหรือเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นไอ สารนี้ในสภาพไอ ถ้าได้ระบายความร้อนออกจะคืนสภาพเป็นของเหลว

สารทำความเย็นทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางในการทำความเย็น (ถ่ายเทความร้อน) ขณะที่สารทำความเย็นในระบบภายในอีแวปอเรเตอร์เดือดเปลี่ยนสถานะเป็นไอที่อุณหภูมิ และ ความดันต่ำจะต้อง การความร้อนแฝงดูดรับปริมาณความร้อนจากอากาศภายในห้องรอบอีแวปอเรเตอร์ ปริมาณความร้อนจำนวนนี้จะถูกระบายออกทิ้งภายนอกห้องที่คอนเดนเซอร์เพื่อให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารทำความเย็นที่ใช้โดยทั่วไปในงานเครื่องทำความเย็น

สารทำความเย็นในระยะแรกๆ ได้แก่ แอมโมเนียและ CO_2 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ ต่อมามีการนำเอาซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเมทิลคลอไรด์ใช้กับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก ต่อมาจึงใช้สารทำความเย็นพวกฟลูออโรคาร์บอนแทนและยังใช้อยู่ในปัจจุบัน สารทำความเย็นฟลูออโรคาร์บอนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เป็นสารประกอบระหว่างไฮโดรเจนกับคาร์บอนและนำเอาคลอรีนหรือฟลูออรีนเข้าไปแทนที่ ไฮโดรเจน ทั้งหมดนี้เรียกว่า ฮาโลคาร์บอน โดยชนิดและคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่ยังใช้ในระบบเครื่องเย็น ดังนี้คือ

- **แอมโมเนีย** เป็นสารทำความเย็นที่เป็นพิษและไวไฟหรืออาจเกิดได้ถ้ามีส่วนผสมกับอากาศที่ พอเหมาะ เป็นสารทำความเย็นที่ดูดรับปริมาตรความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง ปัจจุบัน พบว่าใช้ในโรงงานทำน้ำแข็ง ,โรงงานบรรจุอาหาร, ลานสเกตน้ำแข็งและห้องเย็นขนาดใหญ่ๆ มีความดันในการกลั่น 1.4 Kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ -15 °C และ 10.85 Kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 30 °C

- **ซัลเฟอร์ไดออกไซด์** เป็นสารทำความเย็นที่เป็นพิษแต่ไม่ติดไฟและไม่ระเบิด ยังมีใช้อยู่บ้าง จุดเดือดของสารทำความเย็นนี้อยู่ที่ประมาณ - 9.5 °C ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิอิ่มตัว -15 °C และที่ 30 °C มีความดัน 3.64 Kg/cm^2 ไม่ละลายน้ำกับน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์และหนักกว่าน้ำมัน สารทำความเย็น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ บริสุทธิ์ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะแต่ถ้ามีความชื้นในระบบจะมีสภาพเป็นกรดกำมะถัน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะ

- **คาร์บอนไดออกไซด์** เป็นสารทำความเย็นชนิดแรกที่ใช้ในระบบเครื่องทำความเย็นอุตสาหกรรมเรือเดินทะเล โรงละคร โรงแรมและที่อื่นๆ ที่ต้องการความปลอดภัยเป็นพิเศษ เป็นสารทำความเย็นที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ไม่ติดไฟหรือระบาดหรือไม่กัดกร่อนโลหะ

- **เมทิลคลอไรด์** เป็นสารพวกฮาโลคาร์บอนของมีเทนจุดเดือดอยู่ที่ -24 °C ที่ความดันบรรยากาศ ใช้ในเครื่องทำความเย็นในบ้าน เช่น ตู้เย็นและตู้แช่ เมทิลคลอไรด์ไม่เป็นพิษเมื่อมีส่วนผสมมาก ติดไฟปานกลางและระเบิดเมื่อผสมกับอากาศระหว่าง 8.1 % - 17.2 % โดยน้ำหนัก จะทำปฏิกิริยากับโลหะพวกอะลูมิเนียม สังกะสี แมกนีเซียม ซึ่งเมื่อผสมกับโลหะเหล่านี้อาจระเบิดได้ ถ้ามีความชื้นจะระเหิดเป็นกรดไฮโดรคลอริกอย่างอ่อน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะจำพวกเหล็กและอื่นๆ นอกจากนั้นยังทำปฏิกิริยากับยางธรรมชาติและยางเทียมและยังเป็นน้ำยาที่ละลายในน้ำมันเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **สารทำความเย็น R-11** เป็นพวกฟลูออโรคาร์บอนของมีเทน จุดเดือดอยู่ที่ 823.7 °C ที่ความดันบรรยากาศ เป็นน้ำยาที่ไม่เป็นพิษ ละลายน้ำได้อย่างดีและไม่ติดไฟ ละลายยางธรรมชาติได้ ใช้เป็นสารทำความเย็นล้างระบบทำความเย็น

- **สารทำความเย็น R-12** ใช้สำหรับเครื่องทำความเย็นที่ใช้ในบ้าน เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ รถยนต์ มีสภาพแน่นอนไม่เปลี่ยนสภาพได้ง่ายแม้อุณหภูมิสูง จุดเดือดอยู่ที่ -29.87 °C ที่ความดันบรรยากาศ สารทำความเย็น R-12 สามารถละลายในน้ำมันได้อย่างดีทุกสถานะ

- **สารทำความเย็น R-22** เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศมาก ที่จุดเดือดอยู่ที่ -40.8 °C ที่ความดันบรรยากาศและสามารถทำได้ถึง - 87 °C

- **สารทำความเย็น R-113** เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นที่ทำงานเป็น 2 หรือ 3 ช่วง สามารถใช้แทน R-22 ได้ในเครื่องที่มีอุณหภูมิต่ำบางเครื่อง จุดเดือดอยู่ที่ -98°C ที่ความดันบรรยากาศใช้กับคอมเพรสเซอร์ได้ทุกชนิด ไม่ละลายในน้ำมัน

- **สารทำความเย็น R-500** เป็นสารทำความเย็นระหว่าง R-22 กับ R-152a (78 % กับ 26.2 % โดยน้ำหนัก) สารทำความเย็น R-500 มีจุดเดือดอยู่ที่ -33 °C (- 28 °F) ที่ความดันบรรยากาศ

- **สารทำความเย็น R-502** เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น 2 ชนิด คือ R-22 เท่ากับ 48.8% ผสมกับ R-115 เท่ากับ 51.2% เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ได้ดีในระบบต้องการอุณหภูมิต่ำขนาด 0°F - 60°F สารทำความเย็นชนิดนี้จะใช้ในห้องเก็บอาหารแช่แข็งหรือเย็นจัด ตู้เก็บอาหารเย็นจัดจนแข็งและถังไอศกรีม

- **สารทำความเย็น R-503** เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น R-23 และ R-13 สัดส่วนเท่ากับ 40.1 % กับ 59.9 % ตามลำดับ จุดเดือดของสารทำความเย็นชนิดนี้ที่แรงดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับ -128.6 °F ซึ่งเป็นระบบทำความเย็นที่ใช้ในห้องทดลองหรือประเภทระบบเครื่องเย็นอุณหภูมิต่ำที่ต้องการอุณหภูมิ -100 °F ถึง -125 °F แรงดันทางต่ำที่ 50 °F เท่ากับ 264 psia และแรงดันทางต่ำที่อุณหภูมิวิกฤติ (Critical Temperature 67.1 °F) เท่ากับแรงดันวิกฤติ (CriticalPressure 607 psia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

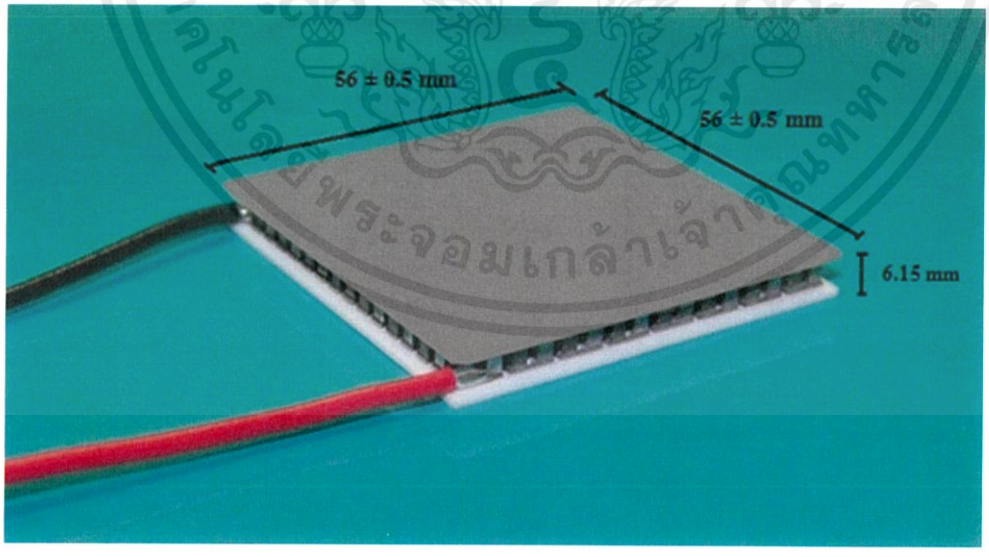
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลในทางทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล มาผลิตกระแสไฟฟ้า ทำให้งานวิจัยนี้เกิดแนวคิดที่จะใช้ความร้อนจากเตาหุงต้ม [21] มาทำการผลิตกระแสไฟฟ้า และทำการออกแบบฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำเพื่อช่วยเพิ่มการระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEHP1-24156-1.2 ผลิตจากบริษัท Thermonamic Electronics (Jiangxi) Corp., Ltd. ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นโหมดสำหรับผลิตไฟฟ้า (Generator mode) เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ทำมาจาก บิสมัทเทลลูไรด์ (Bismuth telluride ; Bi_2Te_3) ขนาด 56 × 56 × 6.15 มิลลิเมตร สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่อเนื่องที่ 400°C และอุณหภูมิสูงสุดที่ 330 °C คุณสมบัติต่างๆแสดงดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เทอร์โมอิเล็กโมดูล รุ่น TEHP1-24156-1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล รุ่น TEHP1-24156-1.2 จากผู้ผลิต [22]

Hot Side Temperature (°C)	300
Cold Side Temperature (°C)	30
Open Circuit Voltage (V)	14.4
Matched Load Resistance (ohms)	2.5
Matched load output voltage (V)	7.2
Matched load output current (A)	2.9
Matched load output power (W)	20.9
Heat flow across the module (W)	418
Heat flow density (W/cm^2)	13.3

3.1.2 ฮีทไปป์

ฮีทไปป์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือส่งถ่ายความร้อนได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก ส่วนประกอบของฮีทไปป์จะเป็นท่อโลหะที่ทำมาจากทองแดงปิดหัวปิดท้ายภายในเป็นสูญญากาศที่มีสารทำงาน (Working Fluid) ซึ่งมีน้ำเป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) บรรจุอยู่ภายใน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.75 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น และ ฮีทไปป์ยังเป็นอุปกรณ์อย่างง่ายซึ่งมีความสามารถถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆได้รวดเร็วมาก โดยเราเปรียบเทียบได้กับตัวนำยิ่งยวด (Superconductor) ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนได้ทั้งหมดโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน

รูปที่ 3.2 ฮีทไปป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 แผ่นทองแดง

เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะอ่อน จึงจัดเป็นรูปร่างต่างๆได้ง่าย นำความร้อนได้ดี มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดค่อนข้างสูง จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งของทองแดงก็คือ ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก แม้ในสภาวะกัดกร่อนอย่างรุนแรง เช่น ในน้ำทะเล โดยใช้แผ่นทองแดงขนาด 116 × 63 × 6.3 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น แผ่นแรกจะใช้สำหรับกดทับทางด้านบนของเทอร์โมอิเล็กทริก (T_H) ส่วนแผ่นที่สองจะทำการกัดร่องครึ่งวงกลม จำนวน 6 ร่อง สำหรับวางฮีทไปป์ใช้สำหรับเป็นฐานทางด้านล่างของชุดระบายความร้อน

รูปที่ 3.3 แผ่นทองแดง

3.1.4 ดอกกัดหัว Carbide Endmill

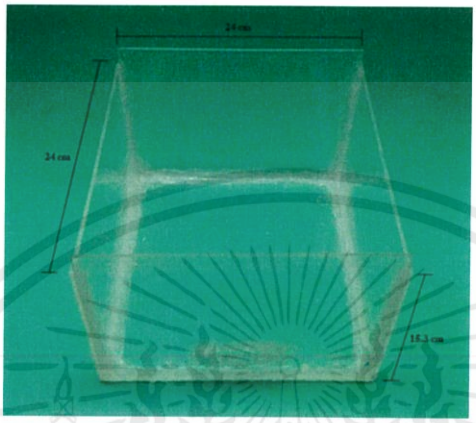
ดอกกัดหัว Carbide Endmill ใช้สำหรับกัดร่องและกัดข้าง มีประสิทธิภาพสูงเรื่องต้านการสึกหรอและการหล่อลื่น มีการเคลือบผิวด้วย Aluminum Titanium Nitride (AlTiN) และ Titanium Aluminum Nitride (TiAlN) ที่สามารถระบายความร้อนออกไปกับเศษโลหะได้ดีมาก การเลือกดอกกัดหัว Carbide Endmill สำหรับงานทองแดงนี้ ใช้ชนิดกลม ขนาด 8 มิลลิเมตร และชนิดหัวตัด ขนาด 10 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็น[illegible]ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 EAD MILL

3.1.5 ถังน้ำ

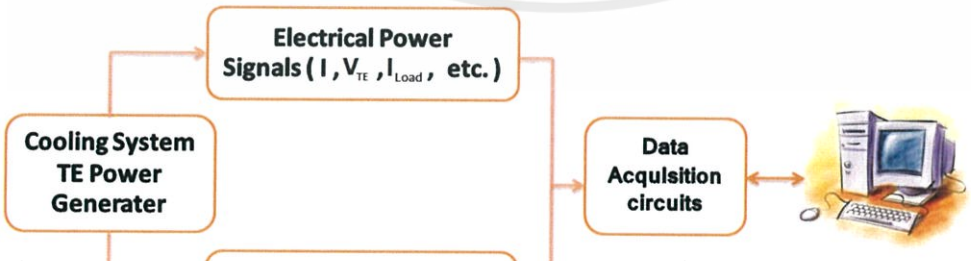
ใช้แผ่นพลาสติกพีวีซี (สีใส) เนื่องจากสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และความ ร้อนได้ มีน้ำหนักเบา สามารถตัด ดัด เจาะ ได้ง่าย โดยถังน้ำมีขนาด 24 × 24 × 15.3 เซนติเมตร



รูปที่ 3.5 ถังน้ำ

3.1.6 ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ

ในระหว่างกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้น จะมีตัวแปรต่างๆที่ต้องศึกษามากมาย เช่น อุณหภูมิของแหล่งความร้อน (T_H) , อุณหภูมิในการระบายความร้อน (T_C), อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (T_R) รวมถึงค่ากระแสไฟฟ้า (I) และค่าความต่างศักย์ (V) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ฯลฯ ตัวแปรต่างๆเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีระบบการจัดเก็บข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำเพื่อจะได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ถูกต้อง ในอดีตใช้วิธีการจดบันทึกค่าจากการทดลองซึ่งวิธีนี้ให้ความแม่นยำต่ำและส่งผลถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผิดพลาดไปทำให้การทดลองมีความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 กระบวนการจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

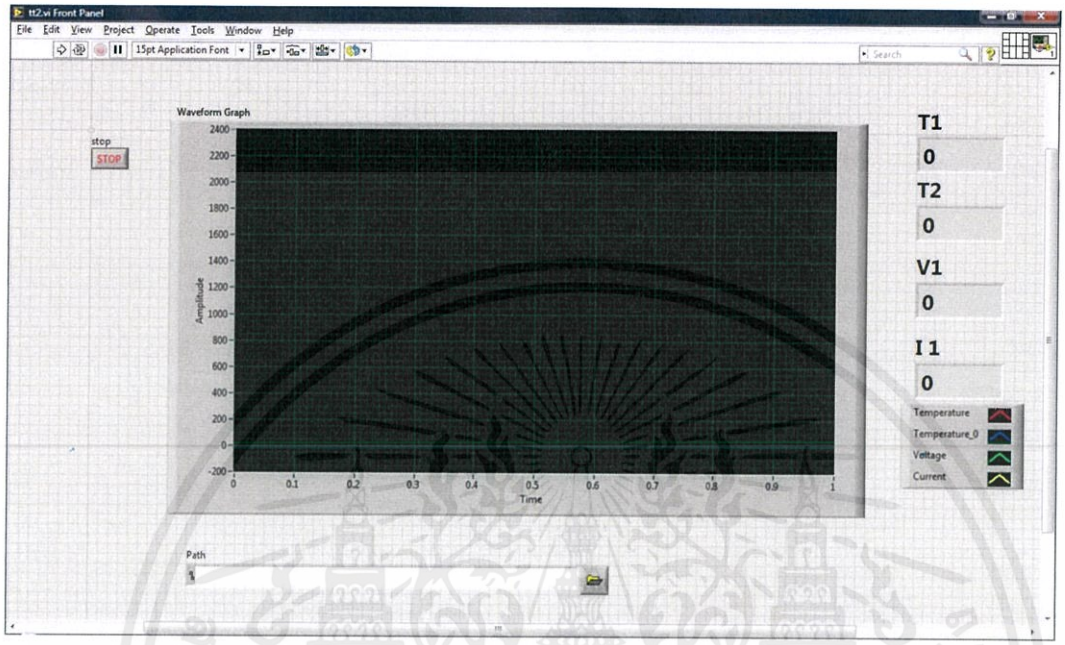
ดังนั้นในโครงงานนี้จึงต้องออกแบบและสร้างระบบจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.6 เริ่มต้นจากการนำสัญญาณในระหว่างการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ สัญญาณอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และสัญญาณไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยจะถูกแปลงผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Data Acquiaition (DQA) ซึ่งมีความเร็วในการเก็บข้อมูลในระดับมิลลิวินาที (ms) จะใช้ NI 9211 สำหรับวัดอุณหภูมิทางด้านร้อนและด้านเย็น , NI 9201 สำหรับวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า และ NI 9227 สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า ความแม่นยำในการวัดข้อมูลเป็น ± 0.05% ,± 0.04% และ ± 0.1% ตามลำดับ ก่อนที่จะจัดเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์ ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้โปรแกรมมาตรฐานที่มี ชื่อว่า **Labview** ในการจัดเก็บสัญญาณและแสดงผลแบบ Real Time ข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บและนำมาวิเคราะห์เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกต่อไป

รูปที่ 3.7 ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติประกอบด้วย NI 9211, NI 9201 และ NI 9227

3.1.7 โปรแกรม Lab View

LabView ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการจัดการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม ซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยจากรูปที่ 3.8 จะแสดงแผนภาพลักษณะของโปรแกรม Lab View ในการใช้งานหากจะ

เริ่มต้นการบันทึกค่าให้กดภาพลูกศร (RUN) กราฟการทดลองจะปรากฏที่ Wavefron Graph ส่วนค่าตัวเลขผลการทดลองจะปรากฏที่ T1 แสดงค่าอุณหภูมิที่ด้านร้อน , T2 แสดงค่าอุณหภูมิที่ด้านเย็น , V1 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า , I1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า และกด STOP เมื่อสิ้นสุดการบันทึกค่า



รูปที่ 3.8 โปรแกรม Lab View

3.1.8 เตาหุงต้ม

แหล่งพลังงานความร้อนในงานวิจัยนี้คือ เตาหุงต้ม โดยจะนำชุดระบบระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับน้ำขนาด 116 × 63 × 25.35 มิลลิเมตร มาติดเข้ากับทางด้านใต้ส่วนที่เป็นรังผึ้งของเตาหุงต้ม โดยใช้ลวดเป็นตัวยึด

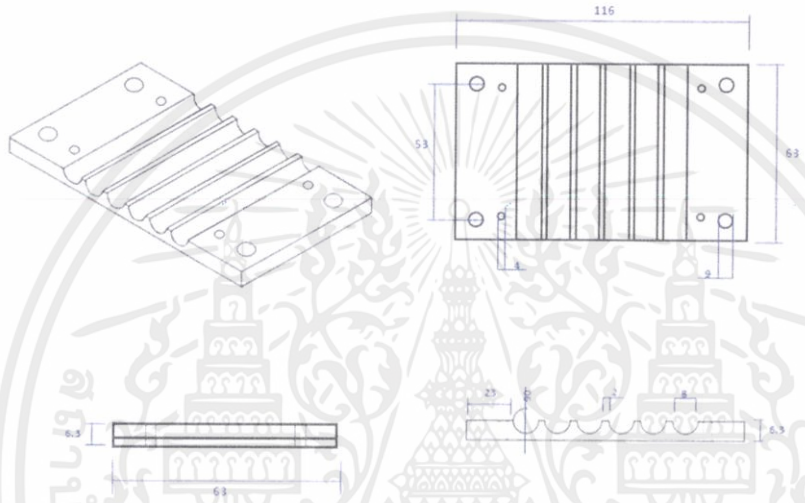
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 เตาหุงต้ม

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

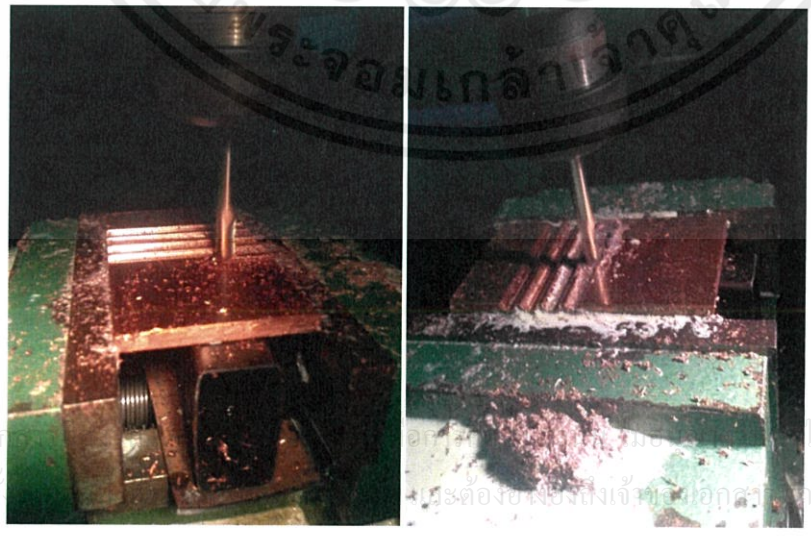
3.2.1 การออกแบบลักษณะของฮีทไปป์

1) เลือกใช้แผ่นทองแดง 3 แผ่น เป็นฐานสำหรับติดเข้ากับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก 2 แผ่น และ เป็นส่วนบนสุดสำหรับติดเข้ากับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เนื่องจากทองแดงมีสมบัติการนำความร้อนที่ดี ซึ่งในการออกแบบลักษณะของฐานทั้งสองด้านนี้จะใช้โปรแกรม AutoCAD ในการออกแบบ



รูปที่ 3.10 ภาพไอโซเมตริกแสดงลักษณะของฐานทั้งสองด้านของชุดระบายความร้อน

2) การนำแผ่นทองแดงมากัดให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ โดยใช้เครื่องกัดและดอกกัดหัว Carbide Endmill ชนิดกลม ขนาด 8 มิลลิเมตร และชนิดหัวตัด ขนาด 10 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

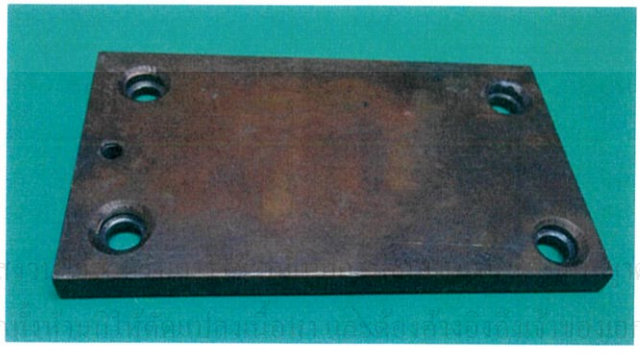
รูปที่ 3.11 การกัดชิ้นงานแผ่นทองแดง

3) นำทองแดงแผ่นที่เป็นฐานมาเจาะรู โดยใช้ดอกสว่าน HSS ขนาด 4 มิลลิเมตรชุดดอกสว่าน makita D-31522

รูปที่ 3.12 การเจาะรูชิ้นงานแผ่นทองแดง

รูปที่ 3.13 ชิ้นงานแผ่นทองแดงที่ทำการกัดและเจาะรูเรียบร้อยแล้ว

4) นำแผ่นทองแดงส่วนที่อยู่ส่วนบนสุด (ติดกับทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล) ขนาดความหนา 6.3 มิลลิเมตร กว้าง 6 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร มาเจาะรูโดยใช้ดอกสว่าน HSS ขนาด 9 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 ชิ้นงานแผ่นทองแดง(ส่วนปิดทับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล)ที่ทำการเจาะรูเรียบร้อยแล้ว

5) นำแผ่นทองแดงไปตะไบแล้วนำมาขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อตกแต่งพื้นผิวให้เรียบเนียนเสมอกัน พร้อมทั้งประกอบเข้ากับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล รุ่น TEHP1-24156-1.2 และ ฮีทไปป์ทั้ง 6 ชิ้น

3.2.2 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์

1) ใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริก

2) นำฮีทเตอร์มาวางติดเข้ากับชุดระบายความร้อน โดยวางติดกับแผ่นทองแดงที่อยู่ด้านบนสุดของชุดระบายความร้อน (ติดกับทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก) และด้านเย็นติดอยู่กับฐานของแผ่นทองแดง

3) ปรับอุณหภูมิของฮีทเตอร์ ที่ระดับอุณหภูมิ 150 °C , 200 °C และ 250 °C (เป็นอุณหภูมิเดียวกับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก) และวัดอุณหภูมิที่ฐานแผ่นทองแดงของชุดระบายความร้อน (เป็นอุณหภูมิเดียวกับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก) โดยใช้ NI 9201 พร้อมทั้งบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกทำได้ โดยใช้ NI 9211 และ NI 9227 ตามลำดับ

4) กำหนดค่าความต้านทานเท่ากับ 2 Ω ปรับระดับของฮีทเตอร์ไปที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้สามารถทราบผลต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงสุดและทราบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละอุณหภูมิ ที่ชุดระบายความร้อนสามารถทำได้

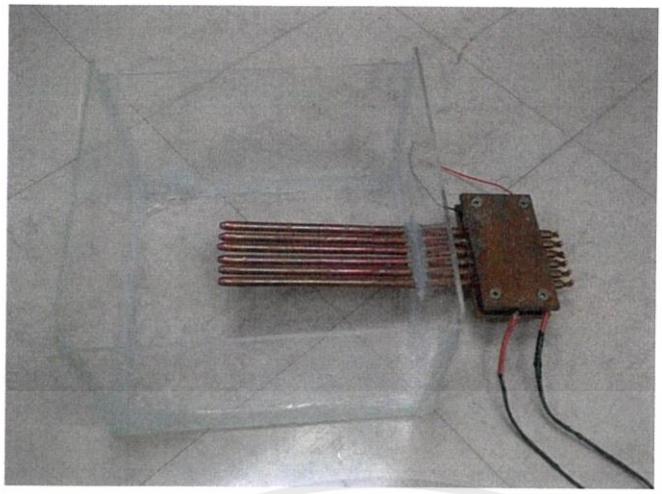
3.2.3 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ โดยใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อน

1) ใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริก

2) นำฮีทเตอร์มาวางติดเข้ากับชุดระบายความร้อน โดยวางติดกับแผ่นทองแดงที่อยู่ด้านบนสุดของชุดระบายความร้อน (ติดกับทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก) และด้านเย็นติดอยู่กับฐานของแผ่นทองแดง

3) บันทึกค่าอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ NI 9201 พร้อมทั้งบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกทำได้ โดยใช้ NI 9211 และ NI 9227 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



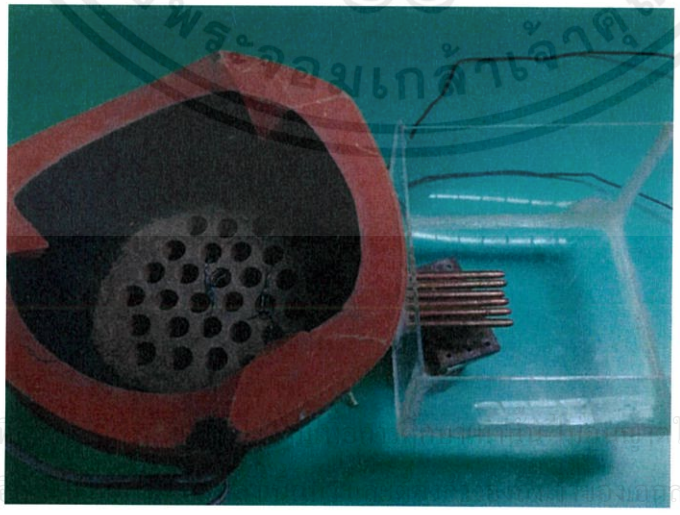
รูปที่ 3.15 ระบบระบายความร้อนที่เป็นฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ

3.2.4 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็น ฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ โดยใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน

1) ใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริก

2) นำชุดระบายความร้อน สอดติดไว้บริเวณภายในเตาหุงต้มในส่วนใต้ของรวงผึ้ง โดยใช้ลวดเป็นตัวยึดให้ติดกับแผ่นทองแดงที่อยู่ด้านบนสุดของชุดระบายความร้อน จากนั้นทำการจุดเตาหุงต้มโดยใช้ถ่าน 400 กรัม เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3) บันทึกค่าอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ NI 9201 พร้อมทั้งบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกทำได้ โดยใช้ NI 9211 และ NI 9227 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสาร ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 ระบบระบายความร้อนที่เป็นฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ ยึดติดกับเตาหุงต้ม

บทที่ 4

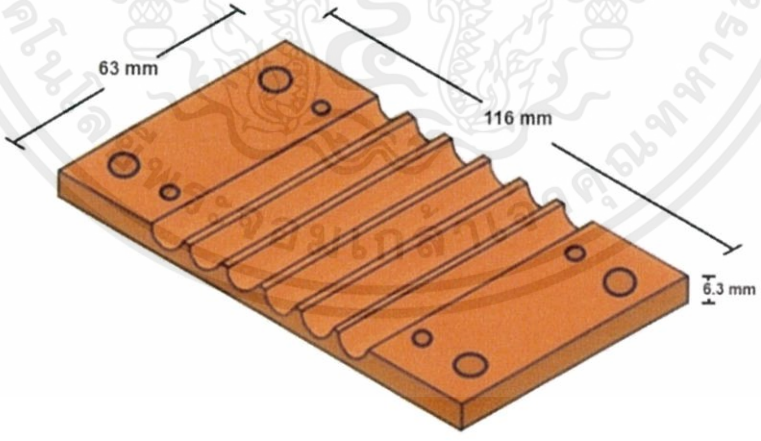
ผลการทดลองและการอภิปราย

ในบทนี้จะอธิบายถึงผลการทดลองและการอภิปรายผลของการศึกษาการพัฒนาระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยมีแหล่งความร้อนเป็นฮีทเตอร์และเตาหุงต้ม

4.1 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์

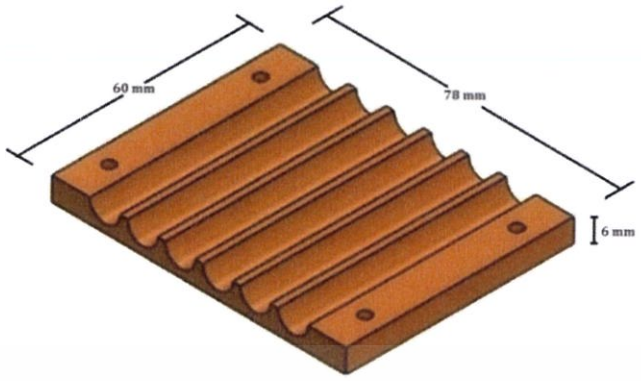
ในเบื้องต้นจะทำการทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ เมื่อฮีทไปป์มีการวางตัวในแนวระดับ ในการระบายความร้อน และนำเทอร์โมอิเล็กทริกต่อกับความต้านทาน 2 Ω ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ขั้นตอนนี้ได้ออกแบบระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์จำนวน 6 แท่ง โดยแต่ละแท่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.75 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร โดยฮีทไปป์ทั้งหมดจะถูกประกบอยู่กับฐานโดยที่ฐานทั้งด้านบนและด้านล่างทำจากทองแดง



รูปที่ 4.1 ฐานทองแดงทางด้านล่างของชุดระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



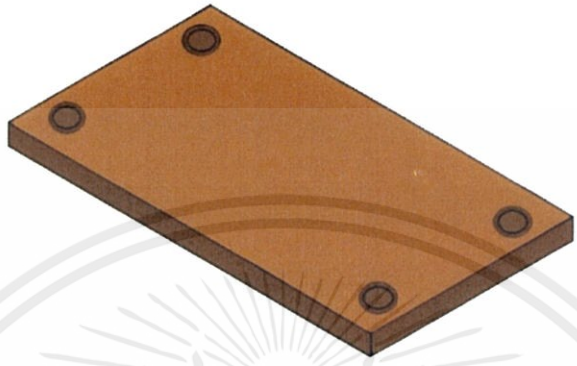
รูปที่ 4.2 ฐานทองแดงทางด้านบนของชุดระบายความร้อน

รูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะฐานของชุดระบายความร้อนโดยสร้างจากแผ่นทองแดงทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยแผ่นทองแดงด้านบนมีขนาด 78 × 60 × 6 มิลลิเมตร และแผ่นทองแดงทางด้านล่างมีขนาด 116 × 63 × 6.3 มิลลิเมตร โดยทำการกัดร่องครึ่งวงกลมความยาวรัศมี 4 มิลลิเมตร จำนวน 6 ร่อง สำหรับวางฮีทไปป์จำนวน 6 แท่ง ด้านข้างเจาะรูขนาด 3 มิลลิเมตร สำหรับยึดฐานของแผ่นทองแดงทั้ง 2 แผ่นเข้าด้วยกัน ผู้วิจัยเลือกใช้ทองแดงเนื่องจากทองแดงเป็นโลหะอ่อน จึงจัดเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ง่าย นำความร้อนได้ดี มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดค่อนข้างสูง จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งของทองแดงก็คือ ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก แม้ในสภาวะกัดกร่อนอย่างรุนแรง และเมื่อทองแดงรับความร้อนที่ไหลจากเทอร์โมอิเล็กทริกความร้อนจะไหลมายังฮีทไปป์ ดังนั้นความร้อนเกือบทั้งหมดจะถูกระบายสู่ฮีทไปป์

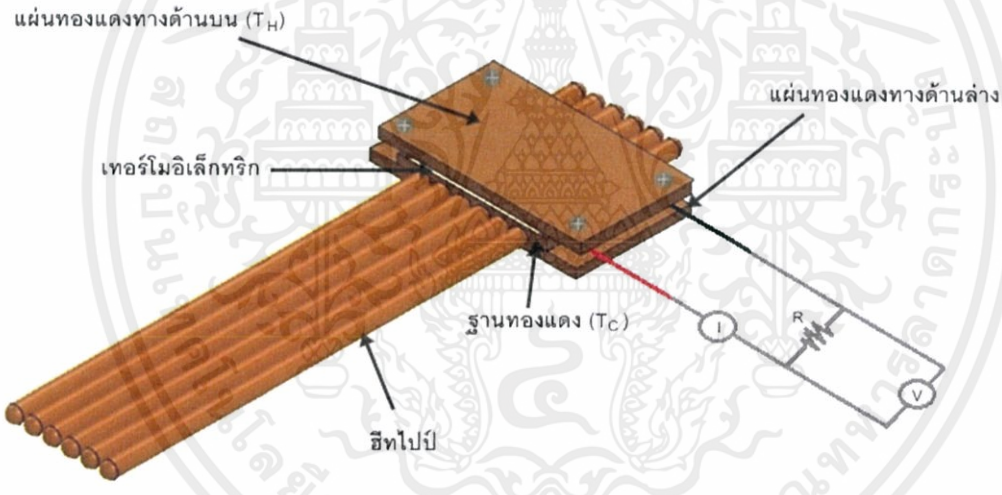
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์

ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจะติดอยู่ที่ด้านบนของแผ่นทองแดงและฮีทไปป์ จากนั้นใช้แผ่นทองแดงที่ทำการเจาะรูขนาด 7 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.4 มาวางประกบเข้ากับทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

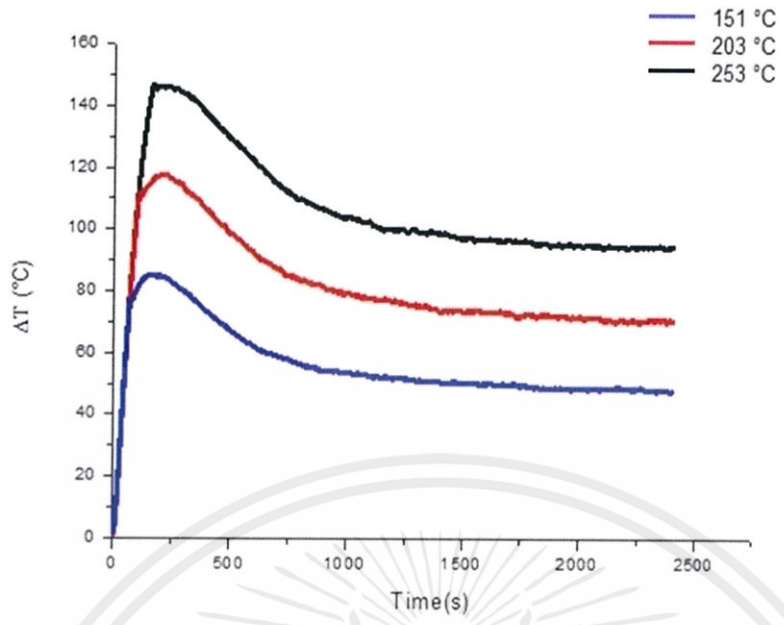


รูปที่ 4.4 แผ่นทองแดงใช้กดทับบนเทอร์โมอิเล็กทริก (T_H)



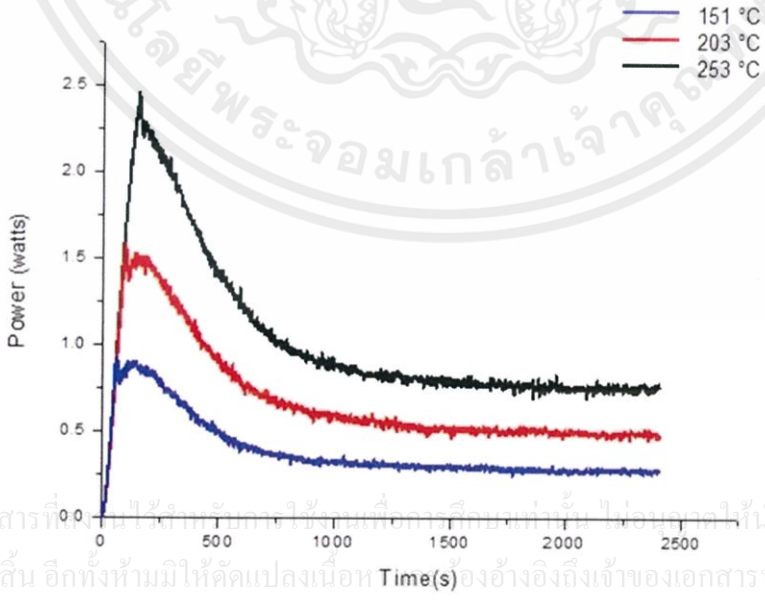
รูปที่ 4.5 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์โดยมีแผ่นทองแดงกดทับบนเทอร์โมอิเล็กทริก

ในการทดสอบนี้จะนำระบบระบายความร้อนมาทดสอบความสามารถในการระบายความร้อน โดยจะนำฮีตเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งให้ความร้อนมาวางบนทองแดงแผ่นบนสุดที่อยู่ติดกันด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังรูปที่ 4.5 เมื่อกำหนดอุณหภูมิทางด้านร้อนที่ 150°C , 200°C และ 250°C ตามลำดับ ในการวัดอุณหภูมิ ทำการวัดค่า อุณหภูมิที่ด้านร้อน (T_H) , อุณหภูมิที่ด้านเย็น (T_C) , ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (I) เป็นเวลา 40 นาที ซึ่งจะเก็บค่าผลการทดสอบโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค (Type K) โดยใช้ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (NI 9201, NI 9211 และ NI 9227) ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.6 ความต่างอุณหภูมิ และ เวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 151°C ,203°C และ 253°C

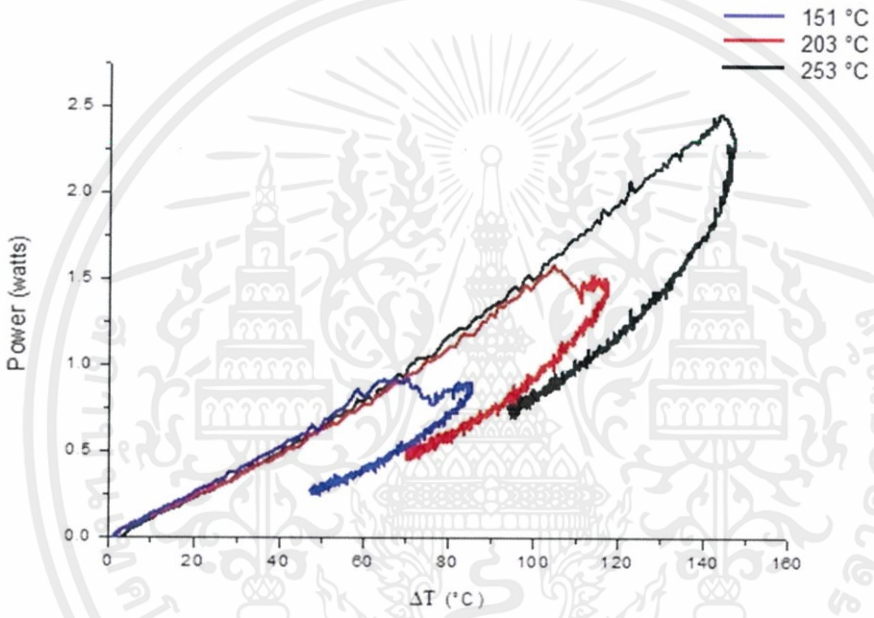
จากรูปที่ 4.6 แสดงค่าความต่างของอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิในการทดสอบเป็น 151°C, 203°C และ 253°C ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสูงขึ้น ค่าความต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะสูงขึ้น ค่าความต่างอุณหภูมิจะมีค่าสูงสุดที่ช่วงเวลาประมาณ 160-200 วินาที จากนั้นจะค่อยๆลดลง และจะเริ่มมีค่าคงที่ที่เวลาประมาณ 1200 วินาที (20 นาที) การลดลงของค่าความต่างอุณหภูมิชี้ให้เห็นว่า ระบบระบายความร้อนไม่สามารถระบายความร้อนได้อย่างสมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 กำลังไฟฟ้า และ เวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 151°C , 203°C และ 253°C

จากรูปที่ 4.7 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ เมื่ออุณหภูมิทดสอบเป็น 151°C, 203°C และ 253°C ตามลำดับ พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ก็จะสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความต่างของอุณหภูมิที่มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิด้านร้อนเป็น 151°C, 203°C และ 253°C ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดที่ 0.902 W , 1.581 W และ 2.461 W ตามลำดับ ในช่วงเวลาประมาณ 120 วินาที (2 นาที) และจะเริ่มมีค่ากำลังไฟฟ้าลดลงและคงที่ที่ 0.706 W, 1.261 W และ 1.957 W ตามลำดับที่เวลาประมาณ 900 วินาที (15 นาที)



รูปที่ 4.8 กำลังไฟฟ้า และ ความต่างอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิด้านร้อนเป็น 151.°C,203°C และ 253°C

รูปที่ 4.8 แสดงค่าความต่างของอุณหภูมิและค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ เมื่ออุณหภูมิในการทดสอบเป็น 151 °C, 203 °C และ 253°C ตามลำดับ พบว่าเมื่อความต่างของอุณหภูมิมากขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ก็จะสูงขึ้น เมื่อความต่างของอุณหภูมิลดลง ค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ก็จะลดลงเช่นกัน โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกจะแปรผันตรงกับความต่างของอุณหภูมิยกกำลังสอง

ดังสมการที่ (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

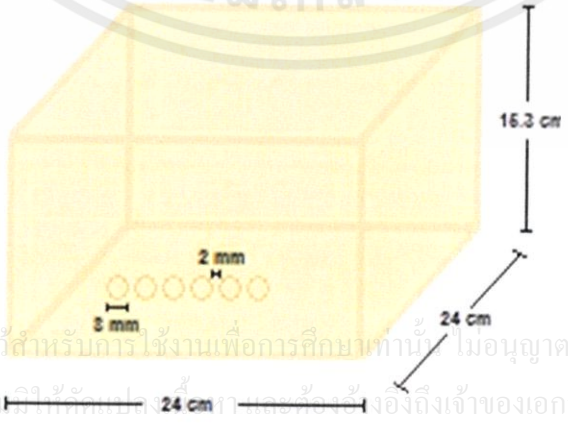
$$P = \frac{\alpha^2}{2\rho}\frac{NA(T_h - T_c)^2}{(L+n)(1+2rL_c/L)^2} \qquad (4.1)$$

จากการทดสอบระบบระบายความร้อนของฮีทไปป์ เมื่ออุณหภูมิในการทดสอบเป็น151°C, 203°C และ 253°C ตามลำดับ พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสูงขึ้น ค่าความต่างของอุณหภูมิและค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ก็จะสูงขึ้น ในช่วงเวลา 120-200 วินาที จากนั้นจะค่อยๆลดลงและจะเริ่มมีค่าคงที่ที่ในช่วงเวลา 900-1200 วินาที โดยการใช้ฮีทไปป์มาช่วยในการระบายความร้อนเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ระบายความร้อนได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถระบายความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้มีการนำถังน้ำมาช่วยในระบบระบายความร้อน

4.2 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ

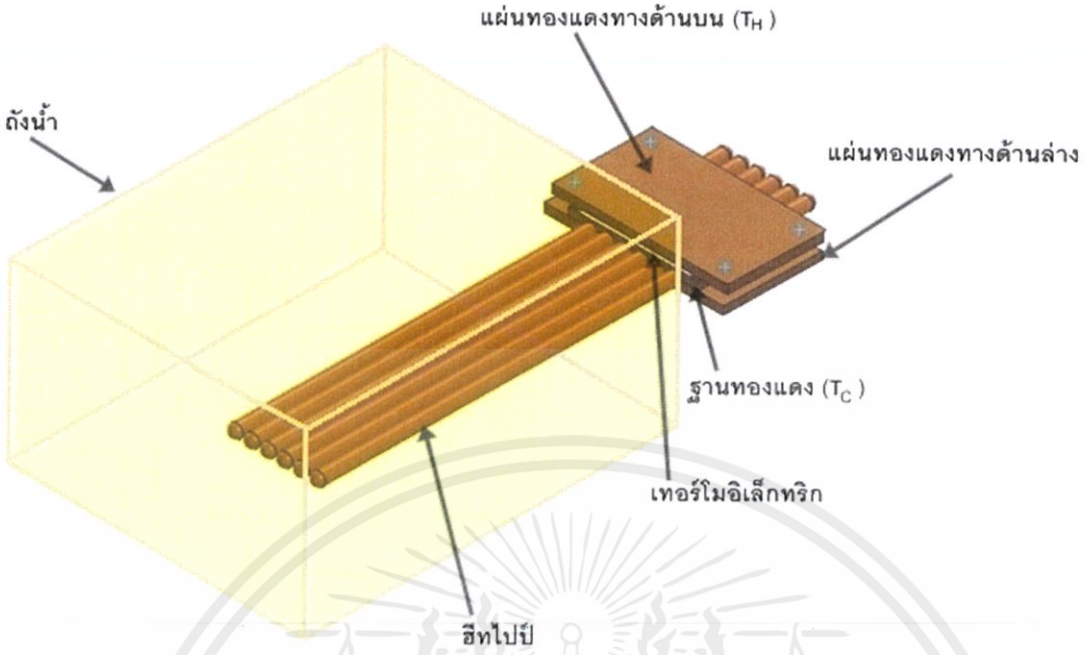
ในการทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ เมื่อใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ ผู้ทดสอบเลือกใช้น้ำมาช่วยในระบบระบายความร้อนเนื่องจากน้ำเป็นตัวนำความร้อนที่ดี มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูง หาได้ง่าย ราคาประหยัด และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงอาจมีส่วนช่วยให้ระบบระบายความร้อนมีการระบายความร้อนได้ดีขึ้น

ขั้นตอนนี้จะนำถังน้ำ ซึ่งประกอบขึ้นมาใหม่ให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมทำจากแผ่นพลาสติก PVC สีใสชนิดแข็ง ผู้วิจัยเลือกใช้แผ่นพลาสติก PVC (สีใส) เนื่องจากแผ่นพลาสติก PVC สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและความร้อนได้ มีน้ำหนักเบา และ สามารถตัด ดัด เจาะ ได้ง่าย ตัวถังมีขนาด 24×24×15.3 เซนติเมตร และทำการเจาะรูบริเวณด้านข้าง 1 ด้านเท่ากัน 6 รู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรูแต่ละรูขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นประกอบชุดระบบระบายความร้อน ในรูปที่ 4.5 เข้าไป จะได้ชุดระบบระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำในรูปที่ 4.9

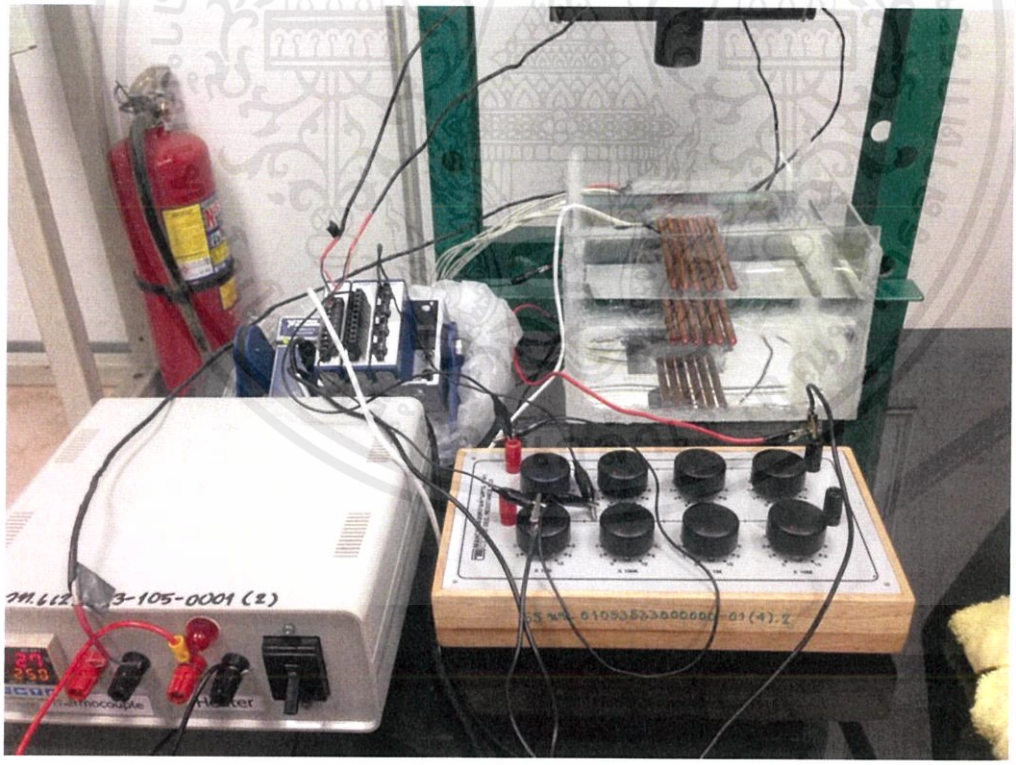


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 ถังน้ำ



รูปที่ 4.10 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ใช้ฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ

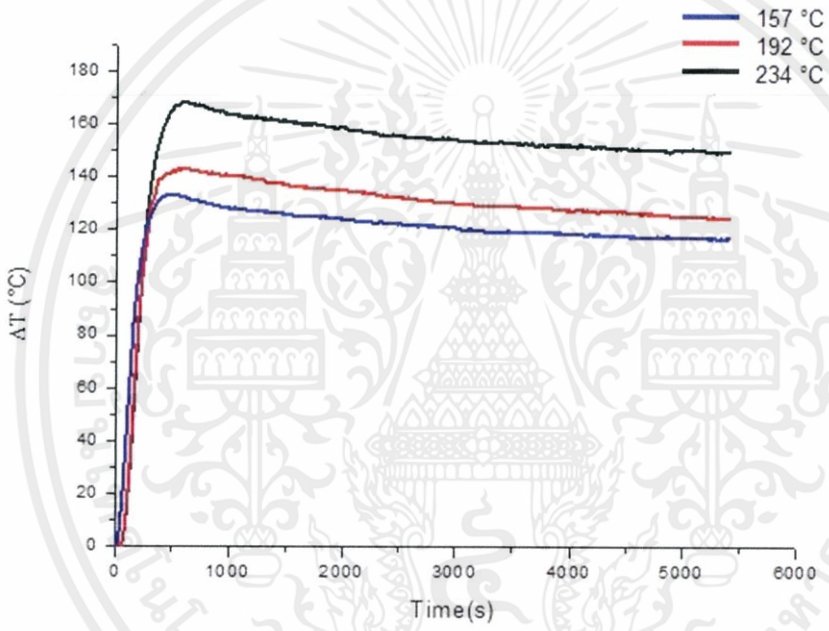


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนำไปใช้

รูปที่ 4.11 ลักษณะของการทดสอบระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ

4.2.1 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ เมื่อใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ

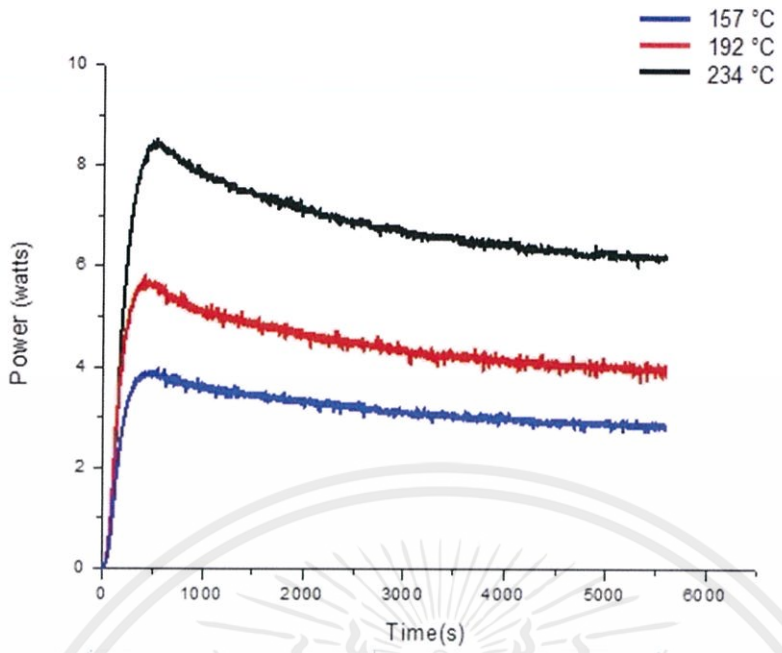
การทดสอบระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ ซึ่งใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งความร้อนมาวางบนเทอร์โมอิเล็กทริก ให้ความร้อนทางด้านร้อนที่อุณหภูมิ 150°C , 200°C และ 250°C ตามลำดับ ที่ขนาดความยาวของฮีทไปป์ที่สอดเข้าไปภายในถังน้ำ 15 เซนติเมตร ทำการวัดค่าอุณหภูมิที่ด้านร้อน (T_H) , อุณหภูมิที่ด้านเย็น (T_C) , ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (I) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที (5400 วินาที) ซึ่งจะเก็บค่าผลการทดสอบโดยใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค (Type K) และใช้ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (NI 9201, NI 9211 และ NI 9227) ได้ผลได้ผลดังนี้



รูปที่4.12 ความต่างอุณหภูมิ และ เวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 157°C , 192°C และ 234°C

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าความต่างของอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิทดสอบ 157°C , 192°C และ 234°C ตามลำดับ พบว่า ค่าความต่างอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นค่าความต่างอุณหภูมิจะลดลงเพียงเล็กน้อยและมีค่าเกือบคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 15 นาที โดยระบบระบายความร้อนที่ใช้ฮีทไปป์เพียงอย่างเดียวจะมีค่าความต่างอุณหภูมิน้อยกว่าระบบระบายความร้อนฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ เนื่องจากน้ำเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงมีส่วนช่วยให้ระบบระบายความร้อนมีการระบายความร้อนได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



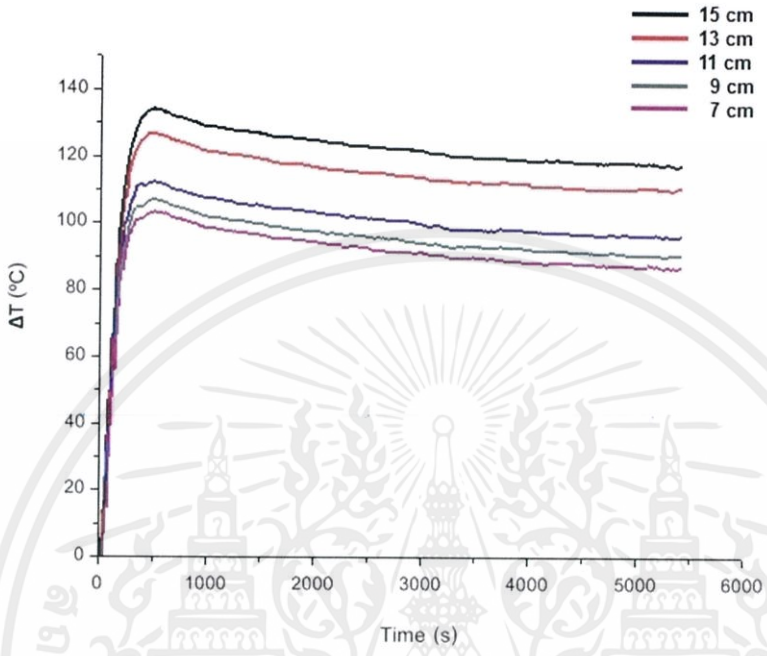
รูปที่ 4.13 กำลังไฟฟ้า และเวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 157°C , 192°C และ 234°C

รูปที่ 4.13 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ เมื่ออุณหภูมิทดสอบเป็น 157°C , 192°C และ 234°C ตามลำดับ พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ก็จะสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความต่างของอุณหภูมิที่มากขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 3.975 W , 5.621 W และ 8.518 W ตามลำดับ ในช่วงเวลาประมาณ 360 วินาที (6 นาที) ของการทดสอบ และเมื่ออุณหภูมิทดสอบเป็น 157°C , 192°C และ 234°C ตามลำดับ จะเริ่มมีค่ากำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 3.671 W , 5.161 W และ 7.972 W ตามลำดับ ในช่วงเวลาประมาณ 900 วินาที (15 นาที) โดยระบบระบายความร้อนที่ใช้ฮีทไปป์ระบายเพียงอย่างเดียวจะมีค่ากำลังไฟฟ้าน้อยกว่าระบบระบายความร้อนฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ เนื่องจากน้ำเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงมีส่วนช่วยให้ระบบระบายความร้อนมีการระบายความร้อนได้ดีขึ้น

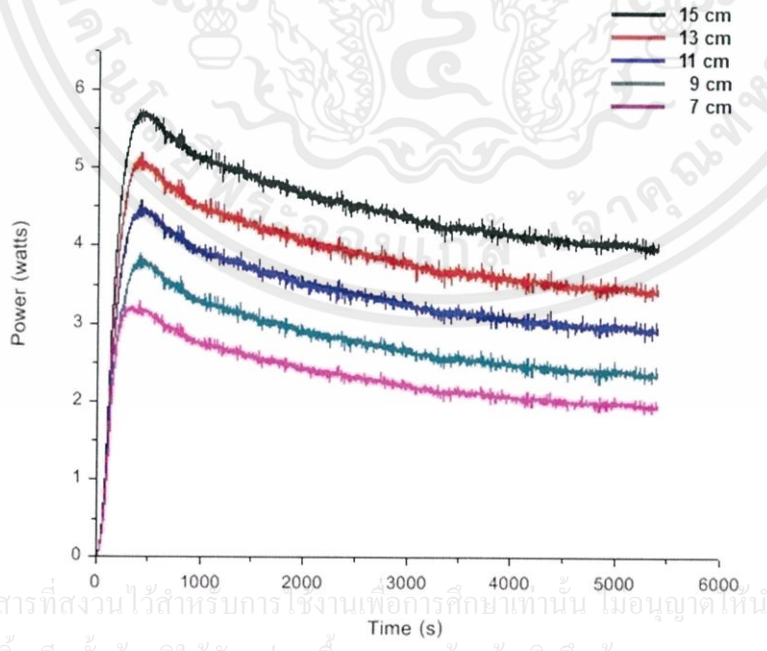
4.2.2 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ ที่ขนาดความยาวของฮีทไปป์ที่สอดเข้าไปภายในถังน้ำ เมื่อใช้ฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ

การทดสอบนี้จะนำระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ ซึ่งใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งความร้อนมาวางบนเทอร์โมอิเล็กทริก ให้ความร้อนทางด้านร้อนที่อุณหภูมิ 200°C ทำการทดสอบขนาดความยาวของฮีทไปป์ที่สอดเข้าไปภายในถังน้ำที่ความยาว 7 , 9 ,11 ,13 และ 15 เซนติเมตร ทำการวัดค่า อุณหภูมิที่ด้านร้อน (T_H) , อุณหภูมิที่ด้านเย็น (T_C) , ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)

และค่ากระแสไฟฟ้า (I) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที (5400 วินาที) ซึ่งจะเก็บค่าผลการทดสอบโดยใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค (Type K) และใช้ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (NI 9201, NI 9211 และ NI 9227) ได้ผลได้ผลดังนี้



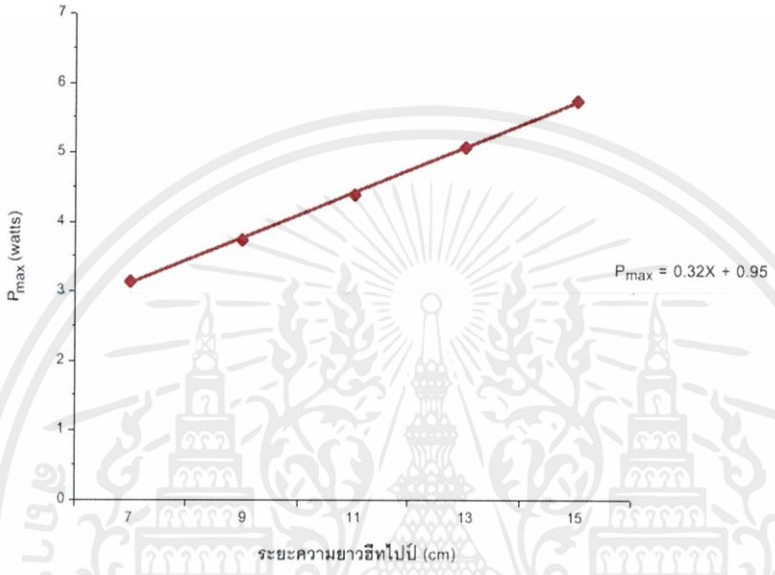
รูปที่ 4.14 ความต่างอุณหภูมิ และ เวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 200°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 กำลังไฟฟ้า และ เวลา เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 200°C

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าความต่างของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลา และรูปที่ 4.12 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา เมื่ออุณหภูมิทดสอบเป็น 200°C พบว่า ค่าความต่างอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นค่าจะลดลงเพียงเล็กน้อยและมีค่าเกือบคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 15 นาที จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความยาวของฮีทไปป์ที่ยื่นไปในน้ำมากขึ้น ส่งผลให้การระบายความร้อนดีขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จึงมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.16 กำลังไฟฟ้าสูงสุด และ ระยะความยาวฮีทไปป์ เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน เป็น 200°C

สมการที่แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเชิงเส้น ดังสมการ

$$P_{\max} = 0.32x + 0.95 \tag{4.2}$$

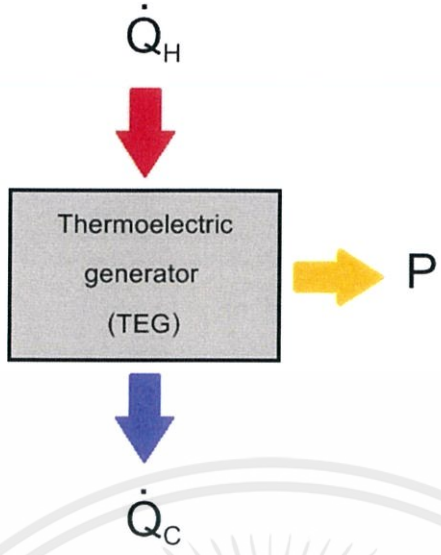
โดยที่ $P_{\max}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด

x คือ ระยะความยาวของฮีทไปป์

4.2.3 การคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ

ในการทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ เมื่อใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ ซึ่งใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อน ทำการคำนวณประสิทธิภาพของระบบจากการทดสอบในข้อ 4.2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ลักษณะการทำงานของระบบระบายความร้อน

จากกฎการณ์อนุรักษ์พลังงาน

$$\dot{O}_H = P + \dot{Q}_C \tag{4.2}$$

เมื่อ

$\dot{Q}_H$ คือ อัตราการไหลของพลังงานความร้อนจากฮีทเตอร์เข้าสู่ TE generator (W)

P คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (W)

$\dot{Q}_C$ คือ อัตราการไหลของความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม (W)

อัตราการไหลของความร้อน

$$\dot{Q}_C = \frac{mc\Delta T}{t} \tag{4.3}$$

เมื่อ

m คือ มวลของน้ำ (kg)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ($^{\circ}C$)

c คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ($4180 J/kg.^{\circ}C$)

t คือ เวลาที่ใช้ทดสอบ (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของระบบ

$$\eta = \frac{P}{\dot{Q}_H} \times 100 \tag{4.4}$$

การคำนวณหาค่าอัตราการไหลของความร้อนของน้ำ ค่าประสิทธิภาพสูงสุด ในการทดสอบระบบระบายความร้อนฮีทไปป์ร่วมกับน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่(4)ได้ผลแสดงดังตารางที่4.1

ตารางที่ 4.1 อัตราการไหลของความร้อนของน้ำ ค่าประสิทธิภาพสูงสุด ในระบบระบายความร้อนฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ

ระบบระบายความร้อนฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ			
อุณหภูมิด้านร้อน (T_H)	150 °C	200 °C	250 °C
อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ	25.0 °C	25.0 °C	25.0 °C
อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ	54.0 °C	62.0 °C	74.0 °C
ความต่างอุณหภูมิของน้ำ	29.0 °C	37.0 °C	49.0 °C
กำลังไฟฟ้า(P)	3.98 W	5.62 W	8.52 W
อัตราการไหล $(\dot{Q}_C)$	134.69 J	171.84 J	227.58 J
อัตราการไหล $(\dot{Q}_H)$	138.67 J	177.46 J	236.10 J
ประสิทธิภาพสูงสุด $(\eta_{\max})$	2.87 %	3.17 %	3.61 %

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราการไหลของความร้อน กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพสูงสุด ที่ทำให้ระบบระบายความร้อนสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ดีที่สุด ภายในระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ มีค่าประสิทธิภาพสูงสุด มีอยู่ในช่วงประมาณ 2 - 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้ระบบระบายความร้อน ระบายความร้อนได้ไม่ค่อยดีเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ โดยใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน

ในการทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ เมื่อใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ โดยใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน

โดยการติดระบบระบายความร้อนในเตาหุงต้ม เพื่อใช้จริงในการระบายความร้อนให้ได้กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่พอเหมาะเพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในบ้านเรือน

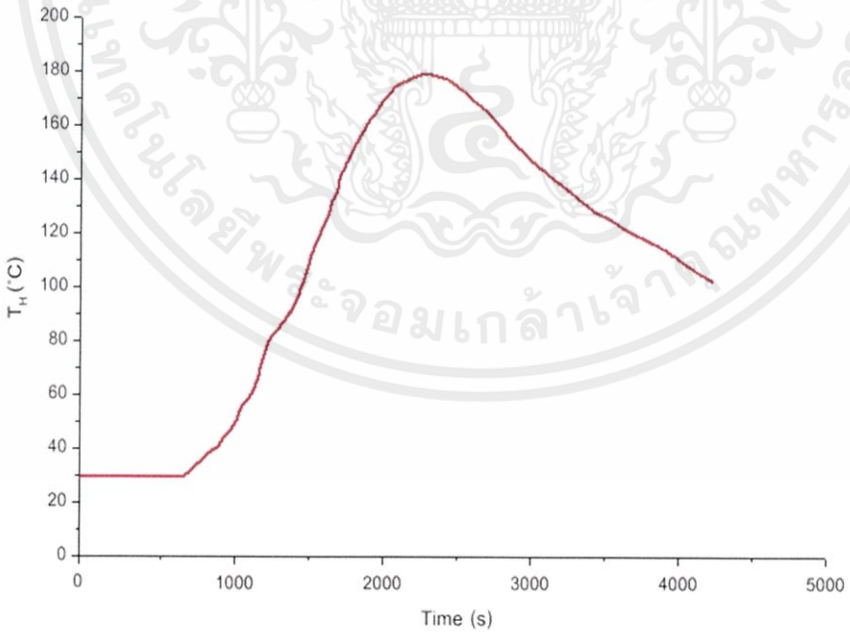
ขั้นตอนนี้จะนำชุดระบบระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับน้ำในรูปที่ 4.9 มาติดเข้ากับเตาหุงต้ม โดยใช้ลวดขนาด 1 มิลลิเมตร คล้องติดกับน๊อตที่ใช้ยึดติดระบบระบายความร้อน จากนั้นนำระบบใส่เข้าไปบริเวณช่องทางด้านข้างของเตาหุงต้มใช้ลวดคล้องผ่านช่องของรังผึ้งผูกลวดให้แน่นเพื่อให้แผ่นทองแดงทางด้านร้อนติดกับรังผึ้งของเตาหุงต้มมากที่สุด จากนั้นนำถ่านที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดจำนวน 300 กรัม มาใส่ในเตาหุงต้ม

รูปที่ 4.18 แผ่นทองแดงทางด้านร้อนของชุดระบบระบายความร้อนที่ติดเข้ากับบริเวณด้านล่างรังผึ้งของเตาหุงต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

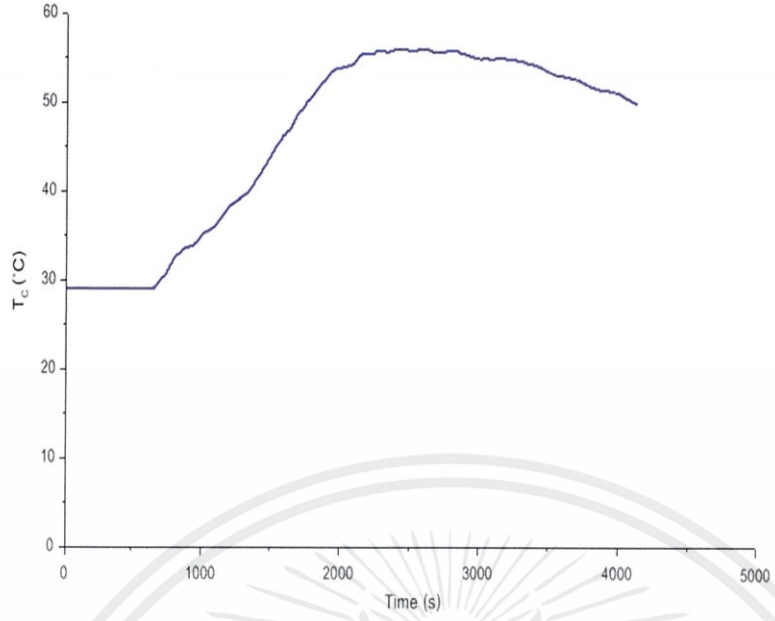
รูปที่ 4.19 ชุดระบบระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับถังน้ำ ที่ติดเข้ากับเตาหุงต้ม

ในการวัดอุณหภูมิ ทำการวัดค่า อุณหภูมิที่ด้านร้อน (T_H) , อุณหภูมิที่ด้านเย็น (T_C) , ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (I) ซึ่งจะเก็บค่าผลการทดสอบโดยใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค (Type K) โดยใช้ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (NI 9201, NI 9211 และ NI 9227) ได้ผลดังนี้

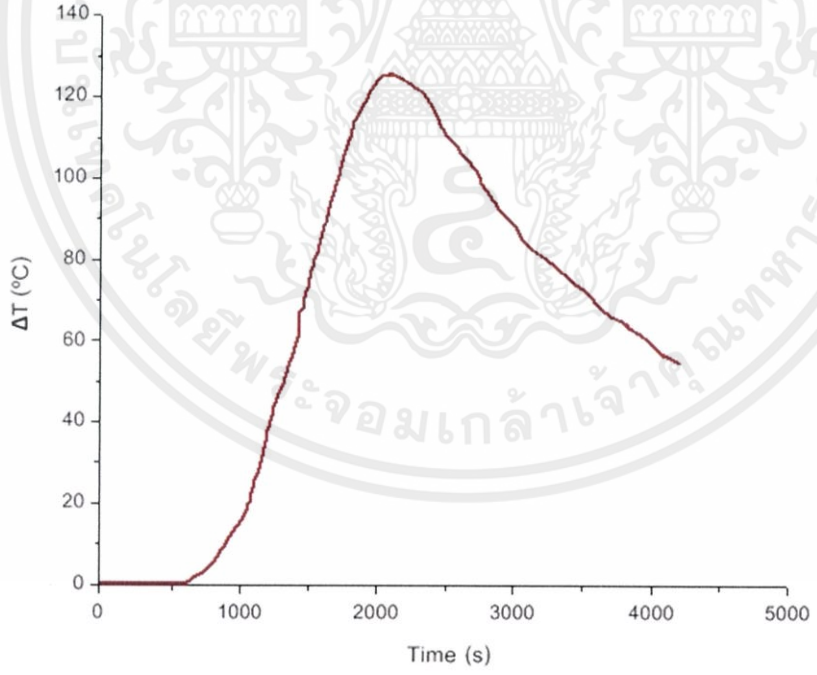


รูปที่ 4.20 อุณหภูมิทางด้านร้อน และ เวลา เมื่อใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



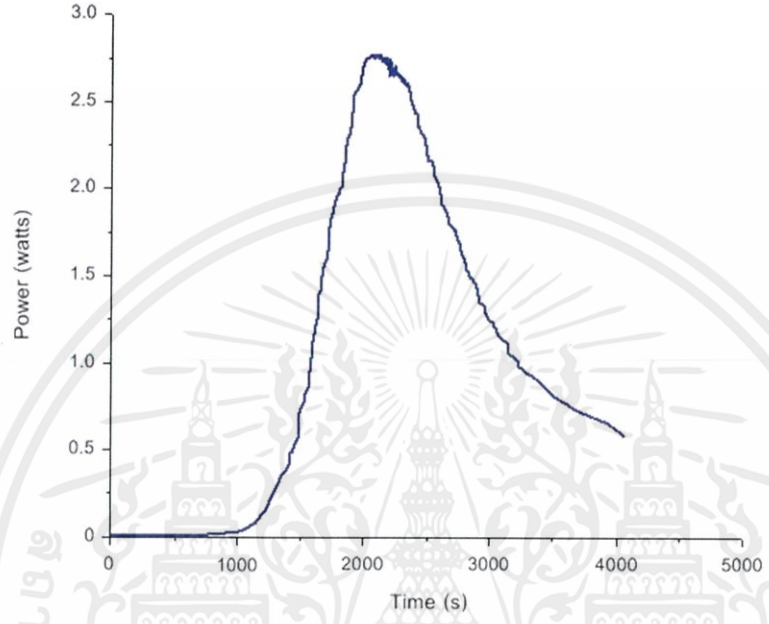
รูปที่ 4.21 อุณหภูมิทางด้านเย็น และ เวลา เมื่อใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน



รูปที่ 4.22 ความต่างอุณหภูมิ และ เวลา เมื่อใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของผู้เขียน ห้องสมุดฯ ขอสงวนสิทธิ์ในการใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22 แสดงค่าความต่างของอุณหภูมิเทียบกับเวลา เมื่อทดสอบ โดยการใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน พบว่าเมื่อเตาหุงต้มเริ่มมีความร้อนจากการจุดไฟ อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้น ค่าความต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะสูงขึ้น จนถึงช่วงเวลาประมาณ 30 นาที และอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากความร้อนของถ่านที่ใช้ในเตาหุงต้มลดลง (ถ่านไฟมอด)



รูปที่ 4.23 กำลังไฟฟ้า และ เวลา เมื่อใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน

จากรูปที่ 4.23 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ เมื่อทดสอบ โดยการใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน พบว่าเมื่อเตาหุงต้มเริ่มมีความร้อนจากการจุดไฟ อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะสูงขึ้น จนถึงช่วงเวลาประมาณ 30 นาที และอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความร้อนของถ่านที่ใช้ในเตาหุงต้มลดลง (ถ่านไฟมอด)

เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดีเป็น อันดับสองรองจากเงิน แต่ราคาถูกกว่าเงินมาก การที่ทองแดงนำไฟฟ้าได้ดี ช่วยลดพลังงานที่ สูญเสียไป ในรูปของความร้อน ขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟ และยังช่วยป้องกัน อันตรายจากการไหม้ของสายไฟอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัย

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงระบบระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนเรเตอร์โดยใช้ฮีทไปป์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้า โดยใช้ระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ จากผลการทดลองที่ได้พบว่า การใช้ฮีทไปป์มาช่วยในการระบายความร้อนเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ระบายความร้อนได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถระบายความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้มีการนำน้ำมาช่วยในระบบระบายความร้อน ในการทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ เมื่อใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ เมื่ออุณหภูมิทดสอบเป็น 157°C , 192°C และ 234°C ตามลำดับ พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ก็จะสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความต่างของอุณหภูมิที่มากขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 3.98 W , 5.62 W และ 8.52 W ตามลำดับ โดยระบบระบายความร้อนที่ใช้ฮีทไปป์เพียงอย่างเดียวจะมีค่าความต่างอุณหภูมิน้อยกว่าระบบระบายความร้อนฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ เนื่องจากน้ำเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงมีส่วนช่วยให้ระบบระบายความร้อนมีการระบายความร้อนได้ดีขึ้น และเมื่อทำการทดสอบขนาดความยาวของฮีทไปป์ที่สอดเข้าไปภายในถังน้ำที่ความยาว 7 , 9 ,11 ,13 และ 15 เซนติเมตร โดยให้ความร้อนทางด้านร้อนที่อุณหภูมิ 200°C เมื่อความยาวของฮีทไปป์ที่ยื่นไปในน้ำมากขึ้น ส่งผลให้การระบายความร้อนดีขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จึงมากขึ้นด้วย เมื่อคำนวณประสิทธิภาพสูงสุดของระบบจะอยู่ในช่วงประมาณ 2 - 4 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ทำการทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ เมื่อใช้ฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ โดยใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน เมื่อเตาหุงต้มเริ่มมีความร้อนจากการจุดไฟ อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้น ค่าความต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกและค่ากำลังไฟฟ้าก็จะสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.72 W จนถึงช่วงเวลาประมาณ 30 นาที อุณหภูมิจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากความร้อนของถ่านที่ใช้ในเตาหุงต้มลดลง

เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดีเป็น อันดับสองรองจากเงิน แต่ราคาถูกกว่าเงินมาก การที่ทองแดงนำไฟฟ้าได้ดี ช่วยลดพลังงานที่ สูญเสียไป ในรูปของความร้อน ขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟ และยังช่วยป้องกัน อันตรายจากการไหม้ของสายไฟอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

เมื่อทำการทดสอบระบบระบายความร้อนของฮีทไปป์ร่วมกับน้ำ โดยใช้เตาหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน ทองแดงที่ปิดทับทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก หากเลือกใช้แผ่นทองแดงที่มีความหนามากขึ้น อาจส่งผลทำให้มีการสะสมความร้อนได้ดี และอาจมีการระบายความร้อนที่ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานเมื่อมีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ภาวะโลกร้อน เข้าถึงจาก : http://www.thaiall.com/globalwarming (วันที่ค้นข้อมูล : 19 กันยายน 2557)

[2] ปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก. เข้าถึงจาก : http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=20 (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กันยายน 2557)

[3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. เข้าถึงจาก : http://www.eppo.go.th (วันที่ค้นข้อมูล : 10 ตุลาคม 2557)

[4] Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove Thermoelectric (BITE) generator,C. Lertsatitthanakorn *,Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Khantarawichai, Mahasarakham 44150, Thailand

[5] การถ่ายเทความร้อน. เข้าถึงจาก : http://www.beodom.com/en/education/entries/principles-of-thermal-insulation-heat-transfer-via-conduction-convection-and-radiation (วันที่ค้นข้อมูล : 25 ตุลาคม 2557)

[6] การนำความร้อน. เข้าถึงจาก : http://th.wikipedia.org/wiki/การนำความร้อน (วันที่ค้นข้อมูล : 25 ตุลาคม 2557)

[7] คุณสมบัติในการนำความร้อน (Thermal Conductivity). เข้าถึงจาก : http://www.thaiceramicsociety.com/ch_heat.php (วันที่ค้นข้อมูล : 25 ตุลาคม 2557)

[8] การพาความร้อน. เข้าถึงจาก : http://physicsworld.nanacity.com/physicsworld/lesson/tran2.htm (วันที่ค้นข้อมูล : 26 ตุลาคม 2557)

[9] การแผ่รังสีความร้อน. เข้าถึงจาก : http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Thermal%20Radiation/1-0.htm (วันที่ค้นข้อมูล : 26 ตุลาคม 2557)

[10] Introduction to Thermoelectricity Gang Chen Mechanical Engineering Department Massachusetts Institute of Technology URL: http://web.mit.edu/nanoengineering (วันที่ค้นข้อมูล : 1พฤศจิกายน 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[11] การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดงด้วยเครื่องมือวัดสภาพนำไฟฟ้า ร่วมกับเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบค (The Investigation of Copper Purity by Electrical Conductivity Measurement in Conjunction with Seebeck Coefficient) : โสพล บุตรงามอารีย์ วิเชียรฉายสายชล พิมพ์มงคลและ อุดม ทิพราช ,Budngam ree ichainchai Pimmongkol and U , วารสาร วิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม

[12] การเกิดปรากฏการณ์เพลทิเย่. เข้าถึงจาก : http://www.thermoelectrics.caltech.edu/history_page.htm accessed August 2011 (วันที่ค้นข้อมูล : 1 พฤศจิกายน 2557)

[13] Introduction to Thermoelectrics & Design Manual. Retrieved on January 1, 2013 http://www.tellurex.com/technology/design-manual.php (วันที่ค้นข้อมูล : 2 พฤศจิกายน 2557)

[14] Peltier Figure 1 [image]. Retrieved on September 9, 2012, เข้าถึงจาก : http://www.tellurex.com/ technology/peltier-faq.php (วันที่ค้นข้อมูล : 2 พฤศจิกายน 2557)

[15] เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric generator) : This is the report of Fourth year project assignment submitted in partial fulfillment of the requirement for the Degree of Bachelor of Engineering. Department of Electrical Engineering ,Faculty of Engineering, Khon Kaen University 2012 :Thermoelectric Module [image]. Retrieved on September 9, 2012, from: http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/metal-and-ceramic-Science/ thermoelectrics.html

[16] Thermoelectric generator. เข้าถึงจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_generator (วันที่ค้นข้อมูล : 16 พฤศจิกายน 2557)

[17] ความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้พลังงานแหล่งต่าง ๆ. เข้าถึงจาก : http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Energy_Conservation in_Industrial_Plant/5_3.html (วันที่ค้นข้อมูล : 16 พฤศจิกายน 2557)

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[18] ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้ง. เข้าถึงจาก : http://www.enconlab.com/wasteheat/ index.php/menu-technology-wasteheat (วันที่ค้นข้อมูล : 16 พฤศจิกายน 2557)

[19] การทำงานของฮีตไปป์แบบลูป (Operating of Loop Heat Pipe), Santi Wangnipparnto and Sirisorn Mitranon ,Electrical Engineering Department, Pathumwan Institute of Technology, Pathumwan, Bangkok, 10330 ,Electronic Engineering Department, Pathumwan Institute of Technology, Pathumwan, Bangkok, 10330 , E-mail: nipparnto@gmail.com

[20] การลดความชื้นด้วยฮีทไปป์ (Heat Pipe Dehumidification) (3 พฤศจิกายน 2552) : โครงการสาธิต เทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน : Limit Heat pipe (www. Electronics Cooling.com)

[21] เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก จากเตาถ่าน. Rida YN, Alan S, Nesreen G, Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling, Energy Conversion and Management 46 (2005) 1631-1643. และ การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้ม Feasibility Study of Cook-Stove Thermoelectric Power Generation Nath Junkrob* Jensak Eakburanawat Department of Mechatronic and Robotic Engineering, Faculty of Engineering, South-East Asia University, Bangkok 10160 ,Tel. 0-2870-4500-27 Fax. 0-2870-4528 E-mail: Jensak@engineer.com

[22] Creative technology with fine manufacturing processes provides you the reliable and quality products. Tel: +86-791-88198288 Fax: +86-791-88198308 Email: info@thermonamic.com WebSite: www.thermonamic.com ,Performance Curves of the Module TEHP1-24156-1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้