สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและการสร้างระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติสำหรับระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล

Design and Construction of Data Acquisition System for Thermoelectric Power Generation

T137614

Dr.Aparporn Sakulkalavek

RCH
0634ก
2557

ตขหมู่.....
เลขทะเบียน 137614
รับเดือน 13 ก.ค. 2558

b 12695051
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การออกแบบและการสร้างระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติสำหรับระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

อาภาภรณ์ สกุลการะเวก สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบระบบระบายความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ระบบระบายความร้อนสองชนิดคือ ฮีทไปป์และฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์ ใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งให้ความร้อนวางบนเทอร์โมอิเล็กทริก จากนั้นกำหนดอุณหภูมิทดสอบทางด้านร้อนเป็น 150 °C, 200 °C และ 230 °C บันทึกค่าที่อุณหภูมิทางด้านเย็น กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้า เป็นเวลาประมาณ 30 นาที โดยใช้ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่ออุณหภูมิทดสอบสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อใช้ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์จะมีค่าสูงกว่าการใช้ระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์อย่างเดียว กำลังไฟฟ้าที่ได้สูงสุดของระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์ที่อุณหภูมิด้านร้อน 230 °C เป็น 1.5W, 2.1W ตามลำดับ จากแบบจำลองที่ใช้อธิบายการระบายความร้อนของฮีทไปป์จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศเป็นแบบอิสระเท่ากับ 30.8 W/m^2K และเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ร่วมกับฮีทซิงค์จะได้ค่าความต้านทานเชิงความร้อนรอยต่อเท่ากับ 0.11 - 0.15 K/W จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าระบบระบายความร้อนที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าจะสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามจะต้องลดค่าความต้านทานเชิงความร้อนที่รอยต่อของอุปกรณ์ระบายความร้อนให้น้อยที่สุดเพื่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่สูงสุด

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก, เตาหุงต้ม, ความร้อนเหลือทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Design and Construction of Data Acquisition System for Thermoelectric Power Generation

Researcher: Aparporn Sakulkalavek

Faculty: Science **Department:** Physics

ABSTRACT

The main objective of this project is to study and design thermoelectric cooling system. Heat pipe and heat pipe combined with heat sinks were used as cooling system. The heat source was generated from heater at the hot side of the module by determined the temperatures as 150 °C, 200 °C and 230 °C. The information such as hot side and cool side temperatures, electric current and voltage were collected by automatic measurement for 30 min. The results indicated that with the increase of temperature, the electric power and percentage difference when using heat pipe combined with heat sinks was higher than using heat pipe alone. The maximum electric power when using heat pipe and heat pipe combined with heat sinks at 230 °C hot side temperature were 1.5W and 2.1W, respectively. From the model that used to expand cooling mechanism of heat pipe indicated that heat transfer coefficient for natural convection was 30.8 W/m^2K . The thermal resistance for junction of heat pipe combined with heat sinks was 0.11-0.15 K/W. The results indicated that cooling system with the higher surface area have better performance. However, in order to raise the maximum efficiency the thermal resistance for junction of cooling equipment needs to minimize.

Keywords: Thermoelectric (TE), cooking stove, waste heat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ที่ให้ความอนุเคราะห์สอนการใช้ปรแกรม Lab View ดร. ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ ที่ให้คำปรึกษาด้านการออกแบบระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ โดยการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเภทส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

อาภาภรณ์ สกุลการะเวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก	5
2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค	5
2.1.2 ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์	6
2.1.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน	7
2.1.4 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก	9
2.2 ท่อความร้อน	11
2.1.1 ท่อความร้อน	11
2.2.2 หลักการทำงานของท่อความร้อน	12
2.2.3 สารทำความเย็น	13
2.2.4 ข้อพิจารณาพื้นฐานในการออกแบบท่อความร้อน	16
2.2.5 การประยุกต์ใช้งานท่อความร้อน	18
2.2.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	19
2.3 การถ่ายเทความร้อน	19
2.3.1 สภาวะสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ	21
2.3.2 การนำความร้อน	21
2.3.3 การพาความร้อน	23
2.3.4 การแผ่รังสี	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 26

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 26

3.3 ขั้นตอนการทดลอง 28

3.3.1 การออกแบบลักษณะของฮีทไปป์ 28

3.3.2 ทดสอบความสามารถในการระบายความร้อนของฮีทไปป์ 30

3.3.3 วัดกำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อใช้เตาเป็นแหล่งความร้อน 31

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ที่วางตัวในแนวดิ่งและในแนวระดับ 32

4.1.1 ฮีทไปป์แนวระดับ 34

4.1.2 ฮีทไปป์แนวดิ่ง 36

4.1.3 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก 37

4.1.4 แบบจำลองอธิบายการระบายความร้อนของฮีทไปป์ 39

4.1.5 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และฮีทซิงค์ 42

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 48

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการเปลี่ยนความร้อนเหลือทิ้งจากเตาหุ้มต้มเป็นไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลและแหล่งระบายความร้อนต่างๆ	2
2.1 สารบรรจุทำงานที่ใช้กันและช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน	17
2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K)	22
3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกรุ่น TEP1-21456-2.4	27
4.1 ค่าที่วัดได้จากระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์	40
4.2 ค่าที่วัดได้จากระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์	42
4.3 ค่าที่วัดได้จากระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์กับระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทซิงค์	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1 แผนภาพแสดงกระบวนการเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	2
2 กระบวนการจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	4
2.1 Thomas Johann Seebeck	5
2.2 ความต่างศักย์ซีเบคและการไหลของกระแสไฟฟ้า	5
2.3 Jean Charles Athanase Peltier	7
2.4 William Thomson (Lord Kelvin)	8
2.5 วงจรเทอร์โมไดนามิกส์ของปรากฏการณ์ทอมสัน (H.J. Goldsmid, 1960)	8
2.6 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	9
2.7 เทอร์โมอิเล็กทริก (a) ขณะทำความเย็น (b) ขณะทำความร้อน	10
2.8 เทอร์โมอิเล็กทริกขณะผลิตไฟฟ้า	11
2.9 โครงสร้าภายในของฮีทไปป์	12
2.10 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนในแบบต่างๆ	20
2.11 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสี	20
2.12 การนำความร้อนแบบมิติเดียวผ่านผนังราบชั้นเดียว	23
2.13 ลักษณะของการพาความ	24
2.14 ลักษณะของการแผ่รังสี	25
3.1 เทอร์โมอิเล็กทริกรุ่น TEP1-21456-2.4	26
3.2 ฮีทไปป์	27
3.3 แผ่นทองแดงและแผ่นอลูมิเนียม	27
3.4 EAD MILL	28
3.5 NI 9201 และ NI 9211	28
3.6 ภาพไอโซเมตริกแสดงลักษณะของฐานทั้งสองด้านของชุดระบายความร้อน	29
3.7 แสดงการกัดชิ้นงานอลูมิเนียมและทองแดง	29
3.8 แสดงลักษณะชิ้นงานอลูมิเนียมและทองแดงเมื่อทำการกัดเสร็จ	30
3.9 แสดงลักษณะของชุดระบายความร้อนเมื่อประกบเข้าด้วยกัน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ฐานของชุดระบายความร้อนโดยใช้อลูมิเนียม	32
4.2 ฐานของชุดระบายความร้อนโดยใช้ทองแดง	32
4.3 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์	33
4.4 ภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพความร้อน (IR camera , FLIR)	33
4.5 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 200 °C	35
4.6 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 250 °C	35
4.7 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 300 °C	35
4.8 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 200 °C	36
4.9 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 250 °C	36
4.10 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 300 °C	36
4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับการถ่ายโอนจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆ	37
4.12 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C , 200 °C และ 230 °C	38
4.13 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C , 200 °C และ 230 °C	38
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของความร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก	39
4.15 เปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลของความร้อนกับความต้านทานแบบอนุกรมของระบบไฟฟ้า	41
4.16 แสดงลักษณะของฮีทซิงค์	42
4.17 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และฮีทซิงค์	43
4.18 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C	43
4.19 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 200 °C	44
4.20 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C	44
4.21 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C	45
4.22 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C	45
4.23 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C	46
4.24 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

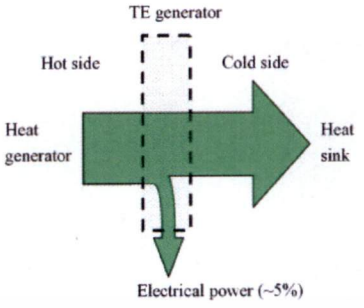
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในพื้นที่ชนบทของประเทศที่กำลังพัฒนา ประชากรประมาณ 90% ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะใช้ในระบบเตาหุงต้มเพื่อประกอบอาหาร ซึ่งรูปแบบของเตาหุงต้มที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพต่ำ [1] Bhattacharya และคณะ [2] ได้ศึกษารูปแบบของเตาหุงต้มที่ใช้ในประเทศต่างๆ ในทวีปเอเชีย เช่น ไทย ลาว เวียดนาม มาเลเซีย อินเดีย เป็นต้น พบว่าในทุกๆ ประเทศจะมีเตาหุงต้มแบบดั้งเดิมซึ่งจะมีประสิทธิภาพต่ำ (คำนวณจากสมการที่ 1) อีกทั้งยังปลดปล่อยคาร์บอนออกมาในปริมาณมาก โดยในแต่ละประเทศจะมีการปรับปรุงเตาหุงต้มแบบดั้งเดิมให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งการปรับปรุงจะเน้นการเพิ่มช่องเปิดเพื่อให้อากาศสามารถเข้าไปในเตาได้มากขึ้น และการเพิ่มฉนวนความร้อนที่หุ้มด้านนอกเตาเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ถึงอย่างไรก็ตาม เตาหุงต้มของไทยก็มีประสิทธิภาพที่ประมาณ 11% ถึง 18% ซึ่งถือว่าต่ำเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ

องค์การ 'Planete Bois' ของประเทศฝรั่งเศส ได้วิจัยและพัฒนาระบบเพื่อสามารถนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากเตาหุงต้มมาผลิตเป็นไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกส์ [3] Nuwayhid และคณะ [4] ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำความร้อนประมาณ 20 ถึง 50 kW ที่ได้จากการหุงต้มมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าประมาณ 10 ถึง 100 W โดยต้นแบบแรกที่ศึกษาพบว่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในอัตรา 1 W ซึ่งน้อยมาก เนื่องจากโมดูลที่เลือกใช้เป็นแบบที่มีคุณภาพต่ำ จึงมีข้อจำกัดด้านผลต่างของอุณหภูมิ ต่อมาเมื่อเปลี่ยนมาใช้โมดูลที่มีคุณภาพสูงขึ้น จำนวน 1 , 2 และ 3 โมดูล โดยใช้สิ่งแวดล้อมทำหน้าที่เป็นแหล่งระบายความร้อน พบว่าสามารถผลิตไฟฟ้าได้ในอัตรา 4.2 W ต่อโมดูลและกำลังไฟฟ้าต่อโมดูลลดลงเมื่อจำนวนโมดูลที่ใช้มากขึ้น เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นลดลง ผู้วิจัยได้แนะนำระบบระบายความร้อนเป็นท่อระบายความร้อน (heat pipe) ซึ่งคาดว่าน่าจะทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงขึ้น Lertsatitthannkorn [5] นำเทอร์โมอิเล็กทริกส์มาประยุกต์กับเตาหุงต้มเพื่อผลิตไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ชนบท โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในอัตรา 2.4 W เมื่อความต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 150 °C ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ได้เพียงพอที่นำไปใช้สำหรับระบบไฟส่องสว่างและวิทยุขนาดเล็ก กระบวนเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าแสดงดังแผนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการเปลี่ยนความร้อนเป็นฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

จากรูปที่ 1 พบว่าระบบการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกส์จะให้ประสิทธิภาพที่ดี นอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาประดิษฐ์เป็นโมดูลแล้ว ยังขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบระบายความร้อน (heat sink) ซึ่งถ้าการระบายความร้อนดีจะทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าดีด้วย ตารางที่ 1 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการนำเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลมาใช้ในระบบเตาหุงต้ม ซึ่งข้อมูลได้จากงานวิจัยต่างๆ

ตารางที่ 1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการเปลี่ยนความร้อนเหลือทิ้งจากเตาหุงต้มเป็นไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลและแหล่งระบายความร้อนต่างๆ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

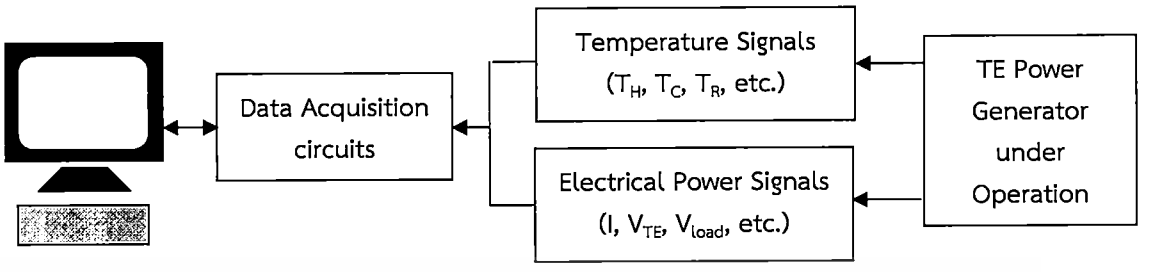
ข้อดีของการนำเทอร์โมอิเล็กทริกส์มาประยุกต์ใช้กับระบบเตาหุงต้ม คือ

1. ความร้อนที่ใช้สำหรับเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าเป็นความร้อนที่ได้โดยตรงจากเตาหุงต้ม ซึ่งไม่จำเป็นต้องนำความร้อนภายนอกมาเพิ่มอีก
2. การดูแลรักษาง่าย เนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนที่ใช้มอเตอร์จึงไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่และไม่มีเสียงดัง
3. การใช้งานจะใช้ได้ตลอดเวลาที่มีการประกอบอาหารซึ่งอาจจะเป็นช่วงเช้าหรือช่วงเย็น ในทุกสภาพอากาศ จึงเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [12] ผู้วิจัยพบว่าวิธีการจดบันทึกค่าจากการทดลองเป็นวิธีที่ให้ความแม่นยำต่ำและส่งผลถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผิดพลาดไป ทำให้การทดลองมีความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการออกแบบและสร้างระบบจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้สนใจการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลเปลี่ยนความร้อนเหลือทิ้งให้เป็นไฟฟ้า โดยจะเน้นความร้อนเหลือทิ้งจากระบบเตาหุงต้มจากถ่านเนื่องจากเป็นระบบขนาดเล็กและมีใช้แพร่หลายในครัวเรือนต่างจังหวัด อย่างไรก็ตามในหว่างกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลนั้นจะมีตัวแปรต่างๆ ที่ต้องศึกษามากมาย เช่น อุณหภูมิของแหล่งความร้อน (T_H), อุณหภูมิในการระบายความร้อน (T_C) อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (T_R) รวมถึงค่ากระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ (V) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล ฯลฯ ตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีระบบการจัดเก็บข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำเพื่อจะได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ถูกต้อง ในอดีตใช้วิธีการจดบันทึกค่าจากการทดลองซึ่งวิธีนี้ให้ความแม่นยำต่ำและส่งผลถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผิดพลาดไปทำให้การทดลองมีความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการออกแบบและสร้างระบบจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 1 เริ่มต้นจากการนำสัญญาณในระหว่างการทำงานของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ สัญญาณอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ และสัญญาณไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล โดยจะถูกแปลงผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Data acquisition (DQA) ซึ่งมีความเร็วในการเก็บข้อมูลในระดับมิลลิวินาที (ms) ก่อนที่จะจัดเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรมมาตรฐาน Labview ในการจัดเก็บสัญญาณและแสดงผลแบบ real time ข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บและนำมาวิเคราะห์เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเตาหุงต้มต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 กระบวนการจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ออกแบบและสร้างระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติสำหรับจัดเก็บอุณหภูมิของแหล่งความร้อน (T_H), อุณหภูมิในการระบายความร้อน (T_C) อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (T_R) รวมถึงค่ากระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ (V) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล โดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเตาหุงต้ม

1.3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

ออกแบบและสร้างระบบเก็บข้อมูลอัตโนมัติเพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิของแหล่งความร้อน (T_H), อุณหภูมิในการระบายความร้อน (T_C) อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (T_R) รวมถึงค่ากระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ (V) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริคกส์โดยใช้โปรแกรมมาตรฐาน Labview ในการจัดเก็บสัญญาณและแสดงผลแบบ real time

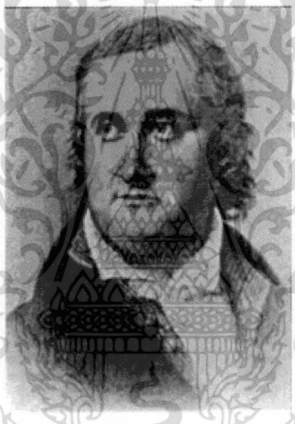
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

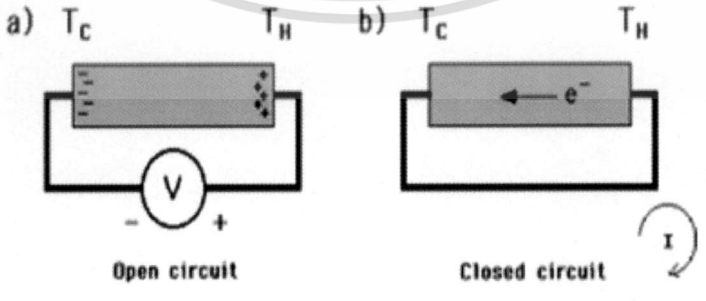
2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)

2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

ในปี 1821 โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันกล่าวว่า "เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด"



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



รูปที่ 2.2 ความต่างศักย์ซีเบคและการไหลของกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สำหรับสมการของ Seebeck effect ถ้าเขียนในรูปของความต่างศักย์และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ จะได้ว่า

$$\vec{E} = \alpha \vec{\nabla} T \qquad (1)$$

โดย E = เวกเตอร์สนามไฟฟ้า (V/m)

α = สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)

T = อุณหภูมิ (K)

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

2.1.2 ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect)

ในปี 1834 ยีน เพลทีเยอร์ ชาร์เลส อะธาเนส (Jean Charles Athanase Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส กล่าวว่า "เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 Jean Charles Athanase Peltier

ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์เป็นปรากฏการณ์หนึ่งซึ่งคู่กันกับปรากฏการณ์ซีเบค และถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำระบบหล่อเย็นจากการผันความร้อนจากไฟฟ้า (Thermoelectric refrigeration) ในที่นี้ อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับได้ (Rate of reversible heat absorption, Q) ซึ่งส่งมาพร้อมกับการผ่านกระแสไฟฟ้า (I) ผ่านรอยต่อ คือ

$$Q = \pi_{ab} I \tag{2}$$

โดยที่สัมประสิทธิ์ของเพลทีเยอร์ของรอยต่อ หาได้จาก

$$\pi = \alpha T \tag{3}$$

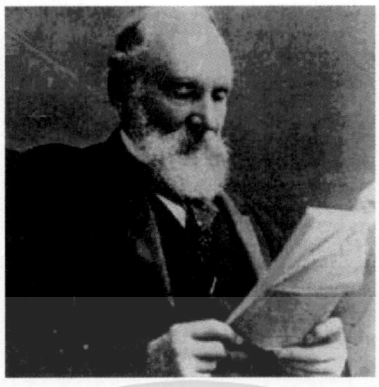
$\pi < 0$; ค่าสัมประสิทธิ์ เพลทีเยอร์เป็นลบ

$\pi > 0$; ค่าสัมประสิทธิ์ เพลทีเยร์เป็นบวก

2.1.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect)

ในปี 1954 วิลเลียม ทอมสัน (William Thomson) หรือ หลอด เคลวิน (Lord Kelvin) นักฟิสิกส์ชาวสก๊อตกล่าวว่า "เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าสองจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ทิศทางความร้อนขึ้นอยู่กับการไหลของกระแสไฟฟ้าจากจุดเย็นไปจุดร้อนหรือจากจุดร้อนไปจุดเย็น"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 William Thomson (Lord Kelvin)

ปรากฏการณ์ทอมสัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแพร่ของความร้อนแบบกลับได้ ΔQ ซึ่งเกิดขึ้นมาเนื่องจากการผ่านของกระแสไฟฟ้าตามตัวนำเดี่ยวอันหนึ่งเมื่อมีเกรเดียนต์ ΔT อุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

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

ความสัมพันธ์ระหว่าง α และ τ เป็น

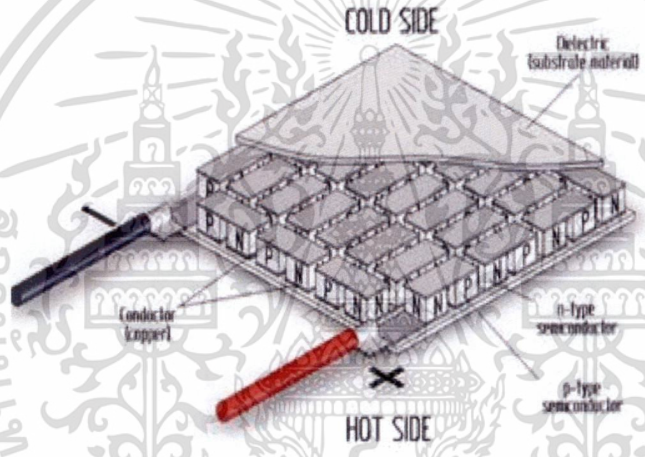
$$\tau = T\frac{d\alpha}{dT} \tag{4}$$

τ คือ Thomson coefficient (VK^{-1})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

การประกอบ "วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก" ให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้งานเป็นแหล่งพลังงานได้ เรียกว่า "เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric module)" เริ่มต้นจากการนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ชนิดเอ็น (N type) และชนิดพี (P type) ชิ้นเล็กๆ มาต่อกันเป็นคู่ๆ โดยวางสลับกัน และมีโลหะขนาดเล็กเชื่อมต่อทั้งคู่เข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละคู่ที่ต่อกันจะมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้าตั้งแต่ตัวแรกถึงตัวสุดท้าย เมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด (Load) หากมีกระแสไฟฟ้าไหลก็จะครบวงจรพอดี ที่ด้านบนและด้านล่างถูกประกบด้วยแผ่นเซรามิค ปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นด้านบนและด้านล่างขึ้นอยู่กับจำนวนคู่ของ เอ็น-พี ในโมดูลนั้น

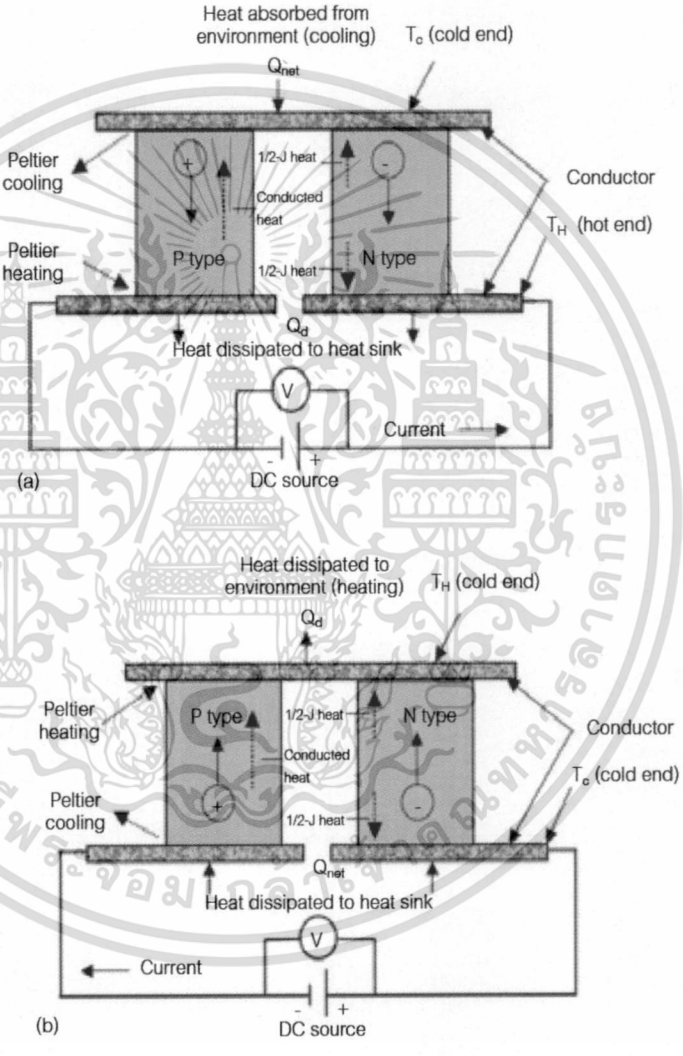


รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล แบ่งเป็น 2 โหมดดังนี้ โหมดแรก เรียกว่า "โหมดผลิตไฟฟ้า (Generator mode)" โดยให้ความต่างของอุณหภูมิบนแผ่นเซรามิคด้านบนและล่างทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเนื่องจากพาหะเอ็นและพีในสารกึ่งตัวนำเหล่านั้น ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวก เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง โฮลก็จะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจึงไหลตามกันไปในทิศเดียวกัน

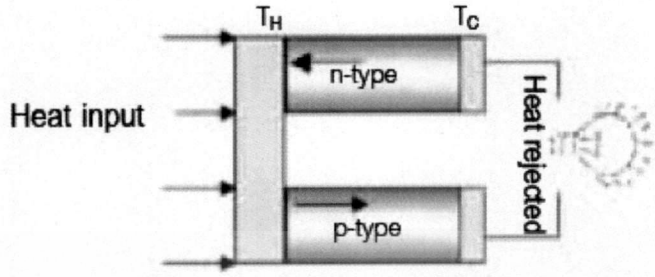
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการทำงานอีกโหมดหนึ่งในทางกลับกัน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนและด้านล่าง เรียกว่า "โหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้า (Refrigerator mode)" เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอก เช่น แบตเตอรี จะทำให้เกิดความแตกต่างของความร้อนและความเย็นที่ผิวแต่ละด้าน เนื่องจากการกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง



รูปที่ 2.7 เทอร์โมอิเล็กทริก (a) ขณะทำความเย็น (b) ขณะทำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 เทอร์โมอิเล็กทริกขณะผลิตไฟฟ้า

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้แล้วในต่างประเทศที่มีอากาศหนาว เช่น โหมดการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลด้านหนึ่งมาประกบเข้ากับแหล่งความร้อนที่สูญเสียต่างๆ เช่น เครื่องจักร เครื่องยนต์ประเภทใช้ได้ทั้งไฟฟ้าและน้ำมัน (Hybrid) ท่อไอเสีย คอมเพรสเซอร์แอร์ เตาความร้อน หรือแม้แต่บนดาวเทียม ที่ผิวอีกด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเลคทริกโมดูลอากาศเย็นกว่า ก็จะเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งนี้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้

2.2 ท่อความร้อน (Heat pipe)

2.2.1 ท่อความร้อน (Heat pipe)

ท่อความร้อนหรือฮีทไปป์ คือ อุปกรณ์อย่างง่ายซึ่งมีความสามารถถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆได้รวดเร็วมากโดยเปรียบเทียบได้กับตัวนำยิ่งยวด (Superconductor) ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนได้ทั้งหมดโดยไม่มีการสูญเสีย

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

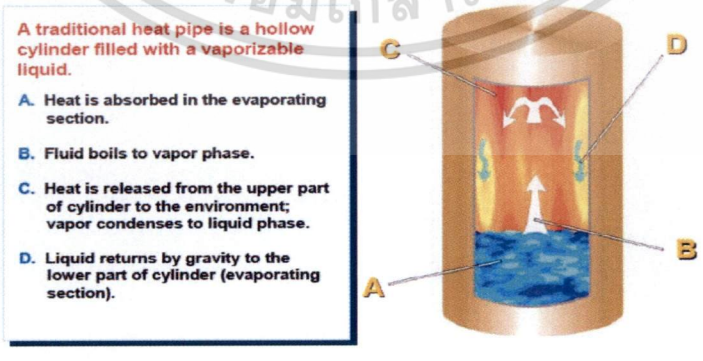
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 หลักการทำงานของท่อความร้อน

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

หลักการข้างต้นจึงสามารถนำท่อความร้อนในการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากกลับไปใช้ในการอบแห้งหรือการระบายความร้อนเข้าหรือออกจากเครื่องจักร อุปกรณ์ทางไฟฟ้าได้หลากหลายประเภท

การทำงานของฮีทไปป์อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นร่วมกับแรงโน้มถ่วงของสารทำงาน โดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก (Passive) กล่าวคือสารทำงานในท่อด้านที่ต่ำกว่าเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นไปยังด้านที่สูงกว่าแล้วคายความร้อนออก ทำให้ไอของสารทำงานมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่น กลายเป็นของเหลวตกลงสู่ด้านที่ต่ำกว่าอีกครั้ง และด้วยเหตุนี้จึงเรียกด้านที่อยู่ต่ำกว่าว่าด้านระเหย (Evaporation Section) และเรียกด้านที่อยู่สูงกว่าว่าด้านควบแน่น (Condensation Section) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายในของฮีทไปป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนนี้วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้บัญญัติคำศัพท์ทางวิชาการขึ้นเรียกว่า "สารทำความเย็น" และให้ความหมายของคำว่าสารทำความเย็นไว้ว่า "หมายถึง สารที่ทำให้เกิดความเย็นโดยการดูดความร้อน เมื่อขยายตัวหรือเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นไอ สารนี้ในสภาพไอ ถ้าได้ระบายความร้อนออกจะคืนสภาพเป็นของเหลว"

สารทำความเย็นจะทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางในการทำความเย็น (ถ่ายเทความร้อน) ขณะที่สารทำความเย็นในระบบภายในอีแวปอเรเตอร์เดือดเปลี่ยนสถานะเป็นไอที่อุณหภูมิ และความดันต่ำจะต้องการความร้อนแฝงดูดรับปริมาณความร้อนจากอากาศภายในห้องรอบอีแวปอเรเตอร์ ปริมาณความร้อนจำนวนนี้จะถูกระบายออกทิ้งภายนอกห้องที่คอนเดนเซอร์เพื่อให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง สารทำความเย็นที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้มีอยู่ 3 ประเภท

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

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

สารทำความเย็นที่ใช้โดยทั่วไปในงานเครื่องทำความเย็นในระยะแรกๆ ได้แก่ แอมโมเนีย และ CO2 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ ต่อมามีการนำเอาซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเมทิลคลอไรด์ใช้กับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก ต่อมาจึงใช้สารทำความเย็นพวกฟลูออโรคาร์บอนแทนและยังใช้อยู่ในปัจจุบัน สารทำความเย็นฟลูออโรคาร์บอนที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบระหว่างไฮโดรเจนกับคาร์บอนและนำเอาคลอรีนหรือฟลูออรีนเข้าไปแทนที่ ไฮโดรเจน ทั้งหมดนี้เรียกว่า ฮาโลคาร์บอน โดยชนิดและคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่ยังใช้ในระบบเครื่องเย็น ดังนี้คือ

1. แอมโมเนีย เป็นสารทำความเย็นที่เป็นพิษและไวไฟหรืออาจเกิดได้ถ้ามีส่วนผสมกับอากาศที่พอเหมาะเป็นสารทำความเย็นที่ดูดรับปริมาตรความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง ปัจจุบันพบว่าใช้ในโรงงานทำน้ำแข็ง,โรงงานบรรจุอาหาร,ลานสเกตน้ำแข็งและห้องเย็นขนาดใหญ่ๆ มีความดันในการกลั่น 1.4 Kg/cm2 ที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส และ 10.85 Kg/cm2 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
2. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นสารทำความเย็นที่เป็นพิษแต่ไม่ติดไฟและไม่ระเบิด ยังมีใช้อยู่บ้าง จุดเดือดของสารทำความเย็นนี้อยู่ที่ประมาณ -9.5 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิอิ่มตัว -15 องศาเซลเซียส และที่ 30 องศาเซลเซียส มีความดัน 3.64 Kg/cm2 ไม่ละลายน้ำกับน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์และหนักกว่าน้ำมัน สารทำความเย็น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ บริสุทธิ์ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะ แต่ถ้ามีความชื้นในระบบจะมีสภาพเป็นกรดกำมะถัน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะ
3. คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารทำความเย็นชนิดแรกที่ใช้ในระบบเครื่องทำความเย็นอุตสาหกรรมเรือเดินทะเล โรงละคร โรงแรมและที่อื่นๆ ที่ต้องการความปลอดภัยเป็นพิเศษ เป็นสารทำความเย็นที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ไม่ติดไฟหรือระบาดหรือไม่กัดกร่อนโลหะ
4. เมทิลคลอไรด์ เป็นสารพวกฮาโลคาร์บอนของมีเทนจุดเดือดอยู่ที่ -24 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ ใช้ในเครื่องทำความเย็นในบ้าน เช่น ตู้เย็นและตู้แช่ เมทิลคลอไรด์ไม่เป็นพิษเมื่อมีส่วนผสมมาก ติดไฟปานกลางและระเบิดเมื่อผสมกับอากาศระหว่าง 8.1-17.2 % โดยน้ำหนัก จะทำปฏิกิริยากับโลหะพวกอะลูมิเนียม สังกะสี แมกนีเซียม ซึ่งเมื่อผสมกับโลหะเหล่านี้อาจระเบิดได้ ถ้ามีความชื้นจะระเหิดเป็นกรดไฮโดรคลอริกอย่างอ่อน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะจำพวกเหล็กและอื่นๆ นอกจากนั้นยังทำปฏิกิริยากับยางธรรมชาติและยางเทียมและยังเป็นน้ำยาที่ละลายในน้ำมันเครื่อง
5. สารทำความเย็น R-11 เป็นพวกฟลูออโรคาร์บอนของมีเทน จุดเดือดอยู่ที่ 823.7 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ เป็นน้ำยาที่ไม่เป็นพิษ ละลายน้ำได้อย่างดีและไม่ติดไฟ ละลายยางรรมชาติได้ ใช้เป็นสารทำความเย็นล้างระบบทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สารทำความเย็น R-12 ใช้สำหรับเครื่องทำความเย็นที่ใช้ในบ้าน เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ รถยนต์ มีสภาพแน่นอนไม่เปลี่ยนสภาพได้ง่ายแม้อุณหภูมิสูง จุดเดือดอยู่ที่ -29.87 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ สารทำความเย็น R-12 สามารถละลายในน้ำมันได้อย่างดีทุกสถานะ
7. สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศมาก ที่จุดเดือดอยู่ที่ -40.8 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศและสามารถทำได้ถึง -87 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2
8. สารทำความเย็น R-113 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นที่ทำงานเป็น 2 หรือ 3 ช่วง สามารถใช้แทน R-22 ได้ในเครื่องที่มีอุณหภูมิต่ำบางเครื่อง จุดเดือดอยู่ที่ -98 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศใช้กับคอมเพรสเซอร์ได้ทุกชนิด ไม่ละลายในน้ำมัน
9. สารทำความเย็น R-500 เป็นสารทำความเย็นระหว่าง R-22 กับ R-152a (78% กับ 26.2 % โดยน้ำหนัก) สารทำความเย็น R-500 มีจุดเดือดอยู่ที่ -33 องศาเซลเซียส (-28 องศาฟาเรนไฮต์) ที่ความดันบรรยากาศ
10. สารทำความเย็น R-502 เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น 2 ชนิด คือ R-22 เท่ากับ 48.8% ผสมกับ R-115 เท่ากับ 51.2 % เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ได้ดีในระบบต้องการอุณหภูมิต่ำขนาด 0 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง -60 องศาฟาเรนไฮต์ สารทำความเย็นชนิดนี้จะใช้ในห้องเก็บอาหารแช่แข็งหรือเย็นจัด ตู้เก็บอาหารเย็นจัดจนแข็งและถังไอศกรีม
11. สารทำความเย็น R-503 เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น R-23 และ R-13 สัดส่วนเท่ากับ40.1% กับ 59.9% ตามลำดับ จุดเดือดของสารทำความเย็นชนิดนี้ที่แรงดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับ -128.6 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งเป็นระบบทำความเย็นที่ใช้ในห้องทดลองหรือประเภทระบบเครื่องเย็นอุณหภูมิต่ำที่ต้องการอุณหภูมิ -100องศาฟาเรนไฮต์ถึง -125องศาฟาเรนไฮต์ แรงดันทางต่ำที่ 50องศาฟาเรนไฮต์ เท่ากับ 264 psia และแรงดันทางต่ำที่อุณหภูมิวิกฤติ (Critical Temperature 67.1 องศาฟาเรนไฮต์) เท่ากับแรงดันวิกฤติ (CriticalPressure 607 psia)
12. สารทำความเย็น R-504 เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น 2 ชนิด คือ R-32 เท่ากับ 48.3% ผสมกับ R-115 เท่ากับ 51.7 % จุดเดือดของ R-504 เท่ากับ -70 องศาฟาเรนไฮต์ที่แรงดันบรรยากาศ แรงดันของอีแวปอเรเตอร์ 5 องศาฟาเรนไฮต์เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

85.93 psia แรงดันวิกฤตเท่ากับ 690 psia สารทำความเย็นชนิดนี้ใช้กับระบบเครื่องเย็นอุตสาหกรรมซึ่งต้องการที่อุณหภูมิต่ำขนาด -40 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง -80 องศาฟาเรนไฮต์

2.2.4 ข้อพิจารณาพื้นฐานในการออกแบบท่อความร้อน

มีส่วนประกอบพื้นฐาน 3 อย่างของท่อความร้อน คือ ตัวท่อ (Container), สารบรรจุใช้งาน (Working fluid) และส่วนโครงสร้างวุสดุพรุนหรือไส้ (Wick หรือ Capillary structure)

1. ตัวท่อ (Container)

ตัวท่อมีหน้าที่แยกของไหลทำงานออกจากบรรยากาศไม่ให้มีการรั่วเพื่อรักษาความแตกต่างของแรงดังและทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนในส่วนที่ต้องการมายังของไหลภายในได้ ส่วนการเลือกวัสดุที่ใช้ทำตัวท่อความร้อนนั้นขึ้นกับองค์ประกอบดังนี้

- ความสามารถที่เข้ากันได้ของวัสดุต่อของไหลและบรรยากาศโดยไม่ทำปฏิกิริยากันหรือกัดกร่อนกัน (Compatibility)
- อัตราส่วนความเค้นต่อน้ำหนักควรมีค่าสูง (Strength to weight ratio) เพราะมีความสำคัญต่อการประยุกต์ใช้ในงานอากาศยาน
- มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง (Thermal conductivity) เพราะทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ดี
- การผลิตประกอบโลหะ สามารถเชื่อมได้, สามารถตกแต่งด้วยเครื่องจักร เช่น การกลึงหรือหล่อเป็นชิ้นงานได้
- ความพรุนของตัววัสดุ (Porosity) โดยวัสดุจะต้องไม่มีความพรุนเพื่อป้องกันการระเหยของไอ
- ความสามารถในการเปียกของน้ำของสารหรือวัสดุ (Wettability)

2. สารบรรจุใช้งาน (Working fluid)

ประเด็นแรกที่พิจารณาสำหรับความเหมาะสมของสารบรรจุใช้งาน คือ ช่วงอุณหภูมิที่กลายเป็นไอและประเด็นอื่นๆคือ

- สามารถใช้ร่วมงานกันได้และไม่ทำปฏิกิริยากันหรือกัดกร่อนกับไส้และวัสดุตัวท่อ
- สามารถคงความร้อนได้ดี
- ความสามารถในการเปียกของน้ำของสารหรือวัสดุ (Wettability)
- มีค่าแรงดันไอไม่สูงหรือน้อยในช่วงอุณหภูมิใช้งาน
- มีค่าความร้อนแฝงสูง
- มีค่าอุณหภูมิจุดไหลเทที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเลือกสารบรรจุใช้งานต้องเป็นไปตามหลักอุณหพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ขีดจำกัดขอการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อความร้อน, ความหนืด, คลื่นเสียงและระดับการเดือด

การออกแบบท่อความร้อนนั้นของไหลที่ใช้ต้องมีค่าแรงตึงผิวสูง เพราะจะทำให้ท่อความร้อนสามารถทำงานได้โดยแรงโน้มถ่วงเกิดแรงขับไหลสูง ดังนั้นการเพิ่มค่าแรงตึงผิวของของไหลทำงานมีความจำเป็นต่อการสัมผัสกับต่อไส้และผิวผนังตัวท่อ คือมุมสัมผัสควรเป็นศูนย์หรือมีค่าน้อยที่สุด

สารบรรจุใช้งานควรมีค่าความร้อนแฝงสูง เพราะจะถ่ายเทปริมาณความร้อนได้สูงที่ปริมาณการไหลน้อยและเหตุนี้ทำให้แรงดันตกในท่อความร้อนมีค่าน้อย ทั้งยังต้องมีค่าการนำความร้อนสูงด้วยเพราะจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีค่าน้อย (Radial temperature gradient) และลดการเดือดที่เกิดขึ้นกับไส้และผนังตัวท่อ ส่วนการต้านการไหลให้มีค่าน้อยที่สุดโดยเลือกสารบรรจุทำงานที่มีค่าความหนืดต่ำ ซึ่งสารบรรจุทำงานที่ใช้กันแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารบรรจุทำงานที่ใช้กันและช่วงอุณหภูมิใช้งาน

สารที่บรรจุหรือตัวกลาง	อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (°C)	อุณหภูมิจุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ (°C)	ช่วงอุณหภูมิใช้งาน (°C)
ฮีเลียม	-271	-261	-271 ถึง -269
ไนโตรเจน	-210	-196	-203 ถึง -160
แอมโมเนีย	-78	-33	-60 ถึง 100
อะซิโตน	-95	57	0 ถึง 120
เมทานอล	-98	64	10 ถึง 130
เอทานอล	-112	78	0 ถึง 130
น้ำ	0	100	30 ถึง 200
ทูโลอีน	-95	110	50 ถึง 200
ปรอท	-39	361	250 ถึง 650

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

137614

โซเดียม	98	892	600 ถึง 1,200
ลิเทียม	179	1,340	1,000 ถึง 1,800
เงิน	960	2,212	1,800 ถึง 2,300

3. ส่วนโครงสร้างวัสดุพรุนภายในหรือไส้ (Wick)

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

ไส้มีหน้าที่ทำให้เกิดแรงดันต้านการไหลของของไหลทำงานที่ไหลจากส่วนควบแน่น (Condenser) ไปยังส่วนระเหย (Evaporator) ซึ่งจะทำให้ของไหลกระจายรอบส่วนระเหยเพื่อรับความร้อน โดยแรงดันต้านการไหลจะมีค่ามากขึ้นเมื่อจำนวนวัสดุพรุนมีมากและรูพรุนมีขนาดเล็ก การถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุของท่อความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาของวัสดุพรุนและความต้านทานความร้อนรวมที่ส่วนระเหยจะขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อนของของไหลทำงาน ชนิดของไส้ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ผงเซรามิก, ใช้ท่อผนังเกลียวอยู่ภายในท่อและตะแกรง (Screen Mesh) ซึ่งจะใช้กันส่วนใหญ่

2.2.5 การประยุกต์ใช้งานท่อความร้อน

1. ใช้ท่อความร้อนในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปนำท่อความร้อนมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการถ่ายเทความร้อนได้อย่างกว้างขวาง เช่น การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (Heat pipe heat exchanger), การลดความชื้นในระบบปรับอากาศ, การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยนำท่อความร้อนมาแทนที่หรือในเครื่องทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ท่อความร้อนในส่วนแผงรับความร้อน เป็นต้น
2. ใช้ท่อความร้อนเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Economizer) ระหว่างไอเสียจากหม้อน้ำเชื้อเพลิงแข็ง (ไม้ฟืน) ขนาด 10 ตันต่อชั่วโมงกับน้ำป้อนก่อนเข้าหมอไอน้ำซึ่งสามารถอุ่นน้ำป้อนจากอุณหภูมิ 30 °C เป็น 65 °C ที่อัตราการไหล 12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยอุณหภูมิไอเสียลดลงจาก 230 °C เป็น 130 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้จัดเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อนำมาอุ่นน้ำใช้ในชีวิตประจำวัน และระบบโรงแรมรีสอร์ท ในส่วนของแผงรับแสงเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นั้นใช้หลอดแก้วสุญญากาศแบบท่อความร้อน (Heat Pipe) เป็นตัวนำความร้อน
4. ใช้ปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำให้อากาศ ที่เรียกว่าฮีตเตอร์ไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำกับอากาศเพื่อให้ได้ลมร้อนไปอบอาหาร) โดยแบบเดิมเป็นท่อเหล็กติดครีบ (Finn tube) และปรับปรุงโดยใช้ท่อความร้อนแทนท่อเหล็กติดครีบ ส่งผลให้ลดการใช้ไอน้ำลงจากเดิมประมาณ 17 %
5. ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับอากาศ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์, ปั้นดินเผาและกระบวนการอบผลิตภัณฑ์ยาง

2.2.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

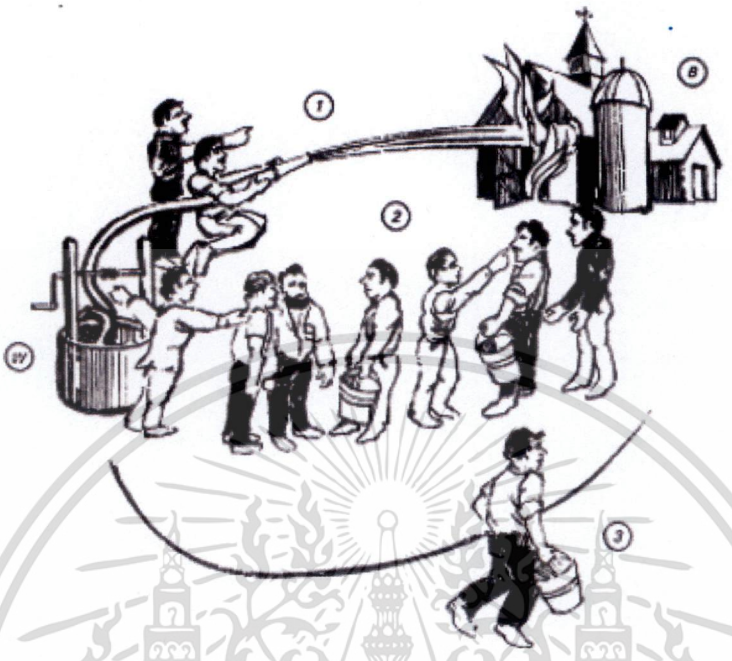
เนื่องจากฮีทไปป์เป็นท่อปิดและไม่มีส่วนเคลื่อนที่ จึงมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็นออกสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามผู้ผลิตส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็น R-134a ทดแทน R-22 ในการผลิตฮีทไปป์ เพื่อให้เป็นไปตามพิธีสารมอนทรีออลในการควบคุมปริมาณการใช้สารทำความเย็นที่มีผลต่อการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

2.3 การถ่ายเทความร้อน

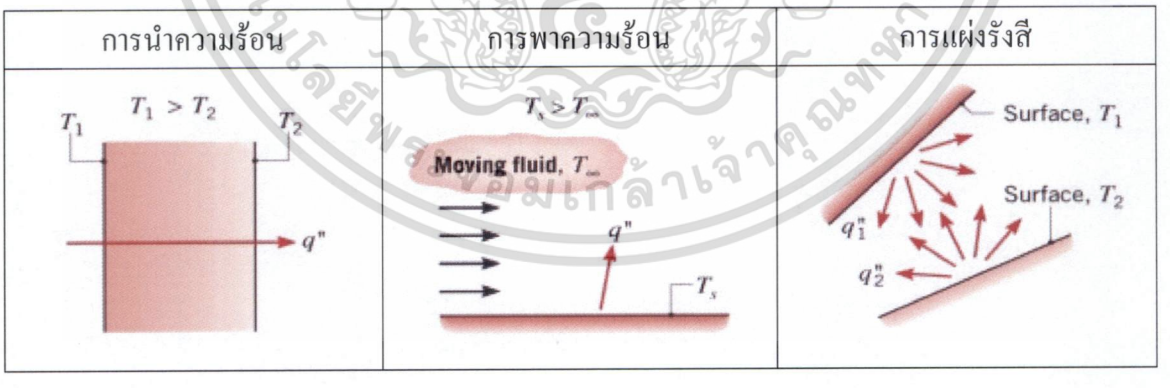
การถ่ายเทความร้อน คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature gradient) ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน คือ “ความแตกต่างของอุณหภูมิ” (Temperature different)

กลไกลการเคลื่อนที่ของความร้อนจากจุดๆหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งแบ่งได้เป็น 3 วิธีคือ การนำ การพา และการแผ่รังสี โดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนทุกกระบวนการอาจเกิดจากการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวหรือหลายววิธีรวมกันก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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



รูปที่ 2.11 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 สภาวะสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ (Steady state and Unsteady state)

1. สภาวะสม่ำเสมอ (Steady state) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุดๆหนึ่งในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลาหรืออาจเขียนอยู่ในรูปสมการได้ว่า $\partial T/\partial t = 0$ สภาวะสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นในกรณีที่วัตถุได้รับการถ่ายเทความร้อนมาเป็นเวลานานพอสมควร จนอุณหภูมิในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าเราจะถ่ายเทความร้อนให้วัตถุไปอีกนานเท่าใด สภาวะสม่ำเสมอซึ่งมีความหมายว่าอุณหภูมิที่จุดหนึ่งจุดใดในตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา เมื่อพิจารณาให้ดีจะเห็นว่า หากเกิดสภาวะสม่ำเสมอแล้วอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนที่จุดใด ๆ ในทิศทางของการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากัน แสดงว่าถ้าความร้อนเคลื่อนที่ในทิศทางของ X อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนจะไม่เปลี่ยนแปลงกับ X ปรากฏการนี้สามารถอธิบายได้โดยใช้ปริมาตรควบคุม (Control Volume) ที่บางมากที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน สมมุติว่าจุดที่พิจารณาอยู่ในประมาตรควบคุมนี้ หากจุด ๆ นั้นมีอุณหภูมิคงที่ก็หมายความว่า ปริมาตรควบคุมไม่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น แสดงว่าความร้อนที่เคลื่อนที่เข้าปริมาตรควบคุมจะเท่ากับความร้อนที่ออกจากปริมาตรควบคุม หากพิจารณาอย่างเดียวกันนี้กับปริมาตรควบคุมอื่นที่วางเรียงต่อเนื่องกันในทิศทาง X แสดงว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนนี้ไม่เปลี่ยนแปลงกับ X

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

2.3.2 การนำความร้อน

การนำความร้อน (Heat Conduction) คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

การนำความร้อนเกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อน ในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้า)ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

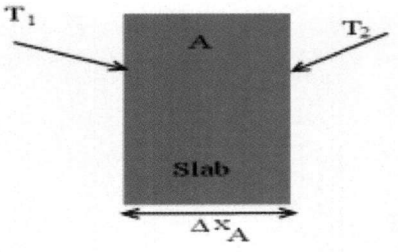
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K)

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

1. การนำความร้อนในผนังราบ สำหรับการนำความร้อนมิติเดียวที่สภาวะ Steady state จะใช้ Fourier's law ในการอธิบายดังสมการ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การนำความร้อนแบบมิติเดียวผ่านผนังราบชั้นเดียว

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

$$\int_{X=0}^{L} \dot{Q}dx = -\int_{T_1}^{T_2} KAdT \qquad (6)$$

อินทริเกรตสมการ (6) ได้เป็น

$$\dot{Q} = \frac{KA}{X}(T1 - T2) \qquad (7)$$

โดย $\dot{Q}$ = Heat Transfer Rate (W)

K = Thermal Conductivity (W/m.K)

A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

X = ความหนาของวัสดุ

2.3.2 การพาความร้อน

เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันก็จะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อนโดยการพาหรือการพาความร้อน การถ่ายเทความร้อนโดยการพาหรือการพาความร้อนนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection)

2. การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

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

รูปที่ 2.13 ลักษณะของการพาความร้อน

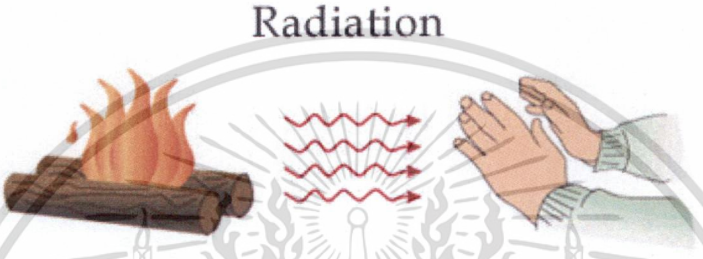
การพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การแผ่รังสี

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



รูปที่ 2.14 ลักษณะของการแผ่รังสี

ทั้งนี้การแผ่รังสี คือการถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องผ่านตัวกลางใดๆ เช่น ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ถือเป็นความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี โดยที่วัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

1. สีของวัตถุ วัตถุสีดำหรือสีเข้มดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุสีขาวหรือสีอ่อน
2. ผิววัตถุ วัตถุผิวขรุขระดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุผิวเรียบและขัดมัน

เราสามารถนำความรู้เรื่องนี้ไปใช้ประโยชน์ในการเลือกใช้ซึ่งมีสีและลักษณะของพื้นผิวของวัสดุให้เหมาะสม เช่น คนที่อาศัยในประเทศเขตหนาวควรใช้เครื่องนุ่มห่มสีเข้ม เพราะดูดกลืนความร้อนและให้ความอบอุ่นมากกว่าสีอ่อนๆ แต่คนในประเทศเขตร้อนควรใช้เครื่องนุ่งห่มสีอ่อนๆ เพราะให้ความรู้สึกเย็นสบายกว่าใช้สีเข้ม, สังกะสีหรือวัสดุที่ใช้มุงหลังคาบ้านเรือนในประเทศที่มีอากาศร้อนไม่ควรทาสีเข้ม จะได้สะท้อนแสงแดดและทำให้บ้านเรือนมีอุณหภูมิไม่สูงมากในเวลากลางวัน, สีของอาคารก็มีส่วนช่วยทำให้อาคารเย็นและร้อนได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

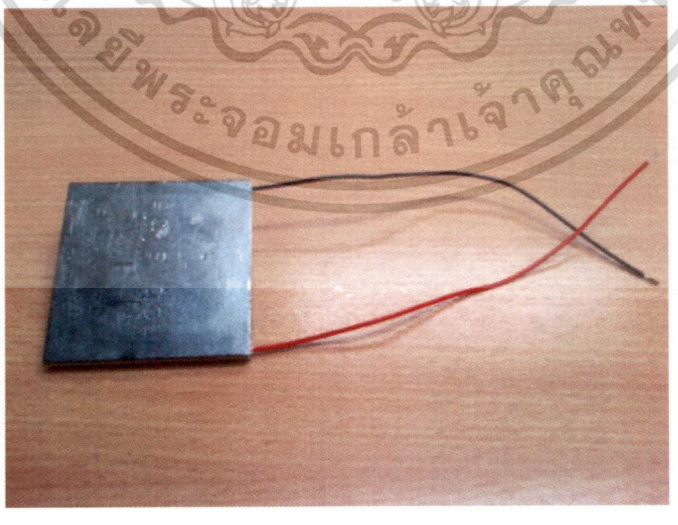
จากการศึกษาข้อมูลในทางทฤษฎีและงายวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาผลิตไฟฟ้า งานวิจัยนี้จะใช้ความร้อนจากเตาหุงต้มมาทำการผลิตไฟฟ้า และทำการออกแบบฮีทไปป์เพื่อช่วยเพิ่มการระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นซึ่งจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบชุดระบายความร้อนเพื่อช่วยในเพิ่มการระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยใช้ฮีทไปป์ แผ่นทองแดง และแผ่นอลูมิเนียม

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 3.1 เทอร์โมอิเล็กทริกรุ่น TEP1-21456-2.4

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกรุ่น

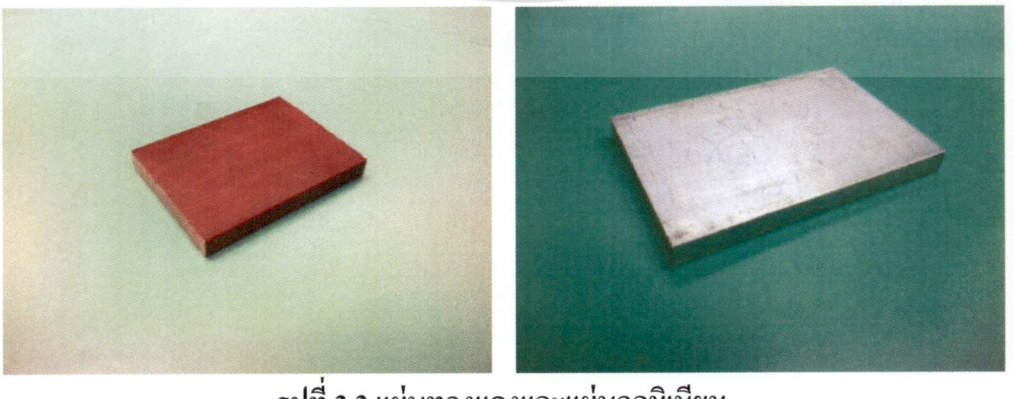
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อรุ่น TEP1-21456-2.4 (Size : 56 x 56 x 4.5 มิลลิเมตร)	
I_{max} (A)	2
V_{max} (V)	8.8
T_h (°C)	300
T_c (°C)	30

3.2.2 ฮีทไปป์ขนาด 8 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น

รูปที่ 3.2 ฮีทไปป์

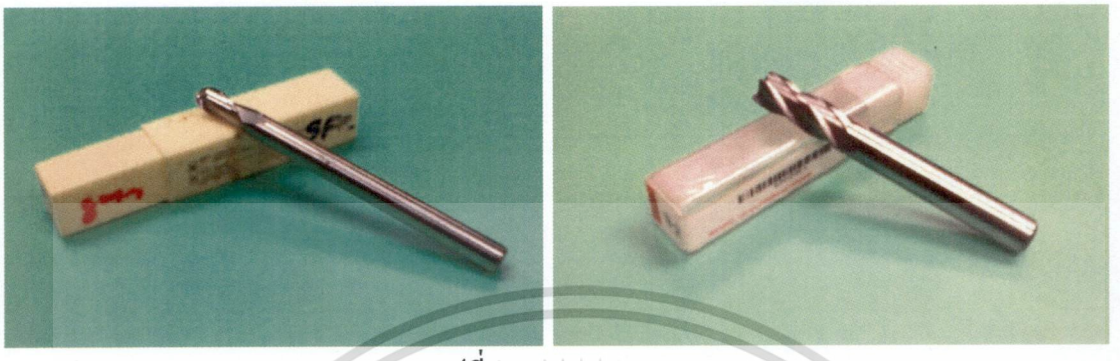
3.2.3 แผ่นทองแดงและอลูมิเนียม



รูปที่ 3.3 แผ่นทองแดงและแผ่นอลูมิเนียม

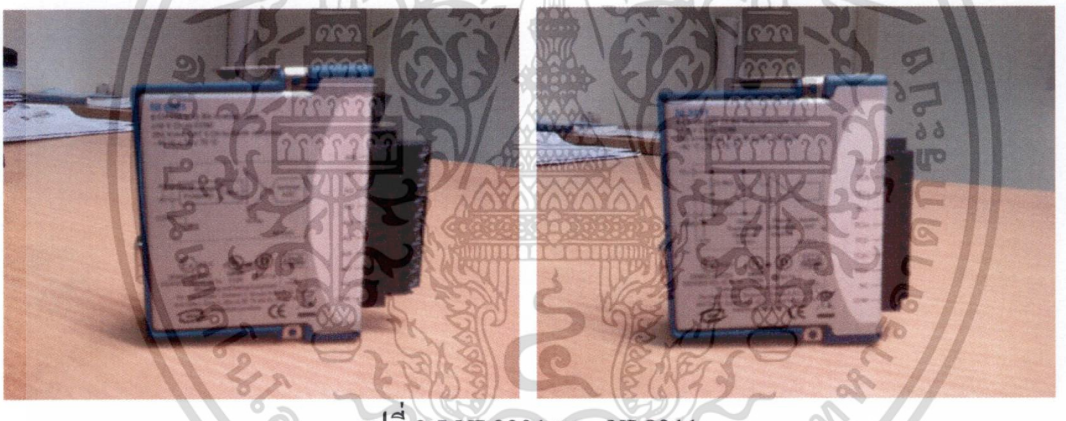
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 หัว EAD MILL ชนิดกลม ขนาด 8 มิลลิเมตร และชนิดหัวตัด ขนาด 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 EAD MILL

3.2.5 NI 9201 และ NI 9211



รูปที่ 3.5 NI 9201 และ NI 9211

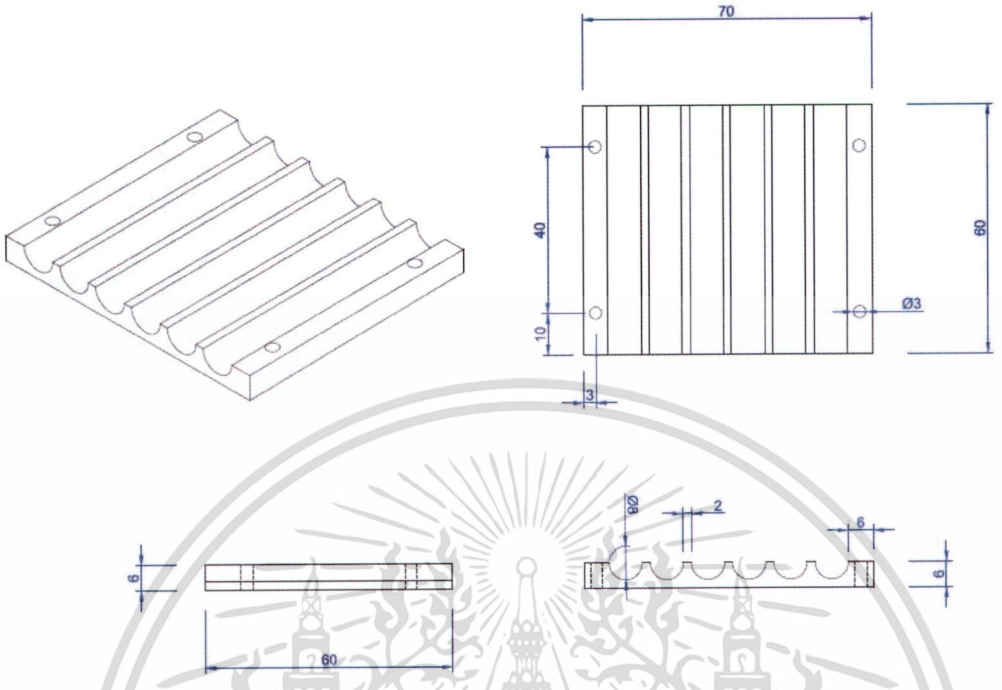
3.2.6 โปรแกรม LAB VIEW

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การออกแบบลักษณะของฮีทไปป์

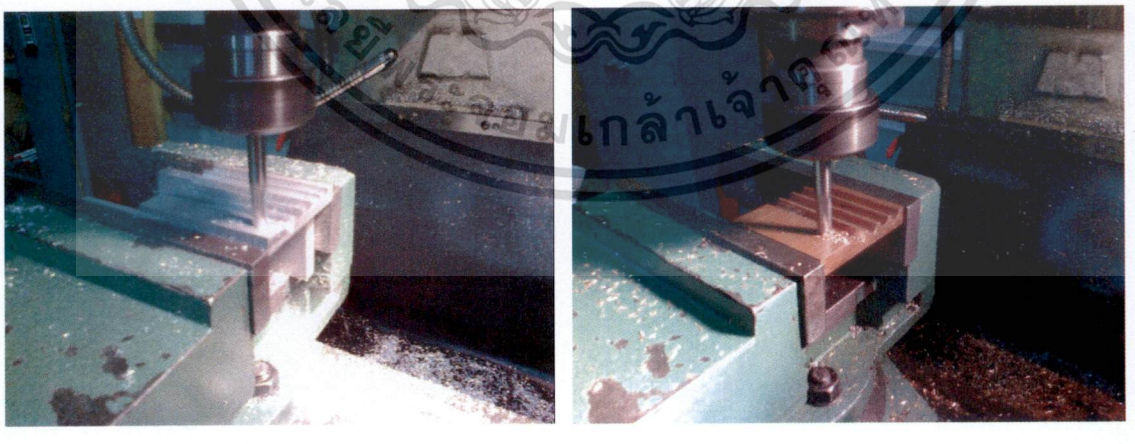
1. เลือกใช้ทองแดงเป็นฐานสำหรับติดเข้ากับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเนื่องจากมีสมบัติการนำความร้อนที่ดีส่วนอีกด้านเลือกใช้เป็นอลูมิเนียมเนื่องจากสมบัติการนำความร้อนที่ดีและยังมีน้ำหนักเบา ออกแบบลักษณะของฐานทั้งสองด้านโดยใช้โปรแกรม AutoCAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



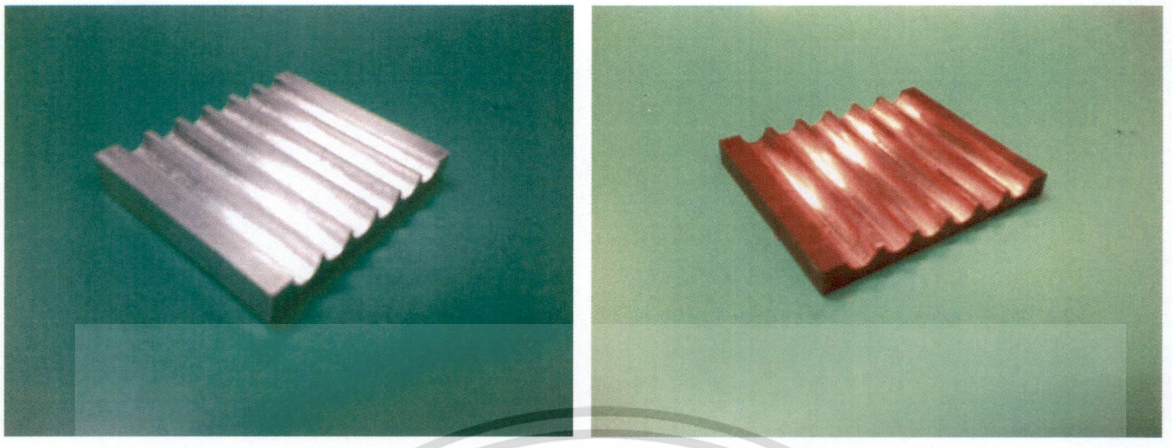
รูปที่ 3.6 ภาพไอโซเมตริกแสดงลักษณะของฐานทั้งสองด้านของชุดระบายความร้อน

2. นำแผ่นทองแดงและแผ่นอลูมิเนียมมากัดให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ โดยใช้เครื่องกัดและหัวกัด EAD MILL ชนิดกลม ขนาด 8 มิลลิเมตร และชนิดหัวตัด ขนาด 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 แสดงการกัดชิ้นงานอลูมิเนียมและทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะชิ้นงานอลูมิเนียมและทองแดงเพื่อทำการกัดเสร็จ

3. นำฐานทองแดงและอลูมิเนียมที่กัดเสร็จแล้วมาขัดโยกระดาษทรายเพื่อตบแต่งพื้นผิวให้เรียบ พร้อมทั้งประกอบเข้ากับฮีทไปป์ ทั้ง6 ชิ้น

รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของชุดระบายความร้อนเมื่อประกอบเข้าด้วยกัน

3.3.2 ทดสอบความสามารถในการระบายความร้อนของฮีทไปป์

1. ใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งใช้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริก

2. นำเทอร์โมอิเล็กทริกมาติดเข้ากับฮีตเตอร์และชุดระบายความร้อน โดยให้ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกติดกับฮีเตอร์และด้านเย็นติดอยู่กับ ฐานทองแดงของชุดระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดอุณหภูมิที่ฮีตเตอร์ (เป็นอุณหภูมิเดียวกับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก) และวัดอุณหภูมิที่ฐานทองแดงของชุดระบายความร้อน (เป็นอุณหภูมิเดียวกับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก) โดยใช้ NI 9211

4. ปรับระดับของฮีตเตอร์ไปที่ระดับอุณหภูมิต่างๆเพื่อให้สามารถทราบผลต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก สูงสุดที่ชุดระบายความร้อนสามารถทำได้

3.3.3 วัดกำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อใช้เตาเป็นแหล่งความร้อน

1. ใช้ถ่านไม้ปริมาณ 400 กรัม ในการเผาไหม้ ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกและชุดระบายความร้อนเข้ากับเตาหุงต้ม

2. กำหนดค่าความต้านทานเท่ากับ 4.4 Ω บันทึกค่าอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโยใช้ NI 9211 พร้อมทั้งบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่เทอร์โมอิเล็กทริกทำได้ โดยใช้ NI 9021 และมัลติมิเตอร์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

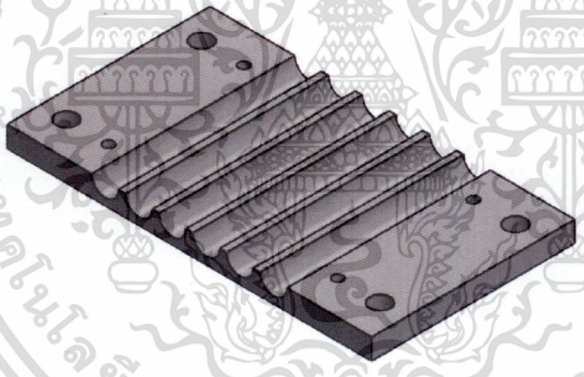
ในบทนี้จะอธิบายถึงผลการทดลองและการอภิปรายผลของการศึกษาการพัฒนาระบบระบายความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ฮีทไปป์ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ และแบบจำลองที่อธิบายการระบายความ

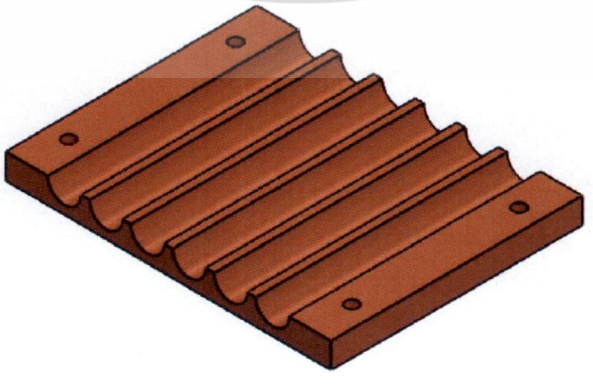
ตอนที่ 2 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์และฮีทซิงค์ และแบบจำลองที่อธิบายการระบายความร้อน

4.1 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ที่วางตัวในแนวดิ่งและในแนวระดับ

ในขั้นตอนนี้ได้ออกแบบระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์จำนวน 6 แท่ง โดยแต่ละแท่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.75 mm ยาว 300 mm โดยฮีทไปป์ทั้งหมดจะถูกประกบอยู่กับฐานโดยที่ด้านบนทำจากทองแดงและด้านล่างทำจากอะลูมิเนียม



รูปที่ 4.1 ฐานของชุดระบายความร้อนโดยใช้อะลูมิเนียม

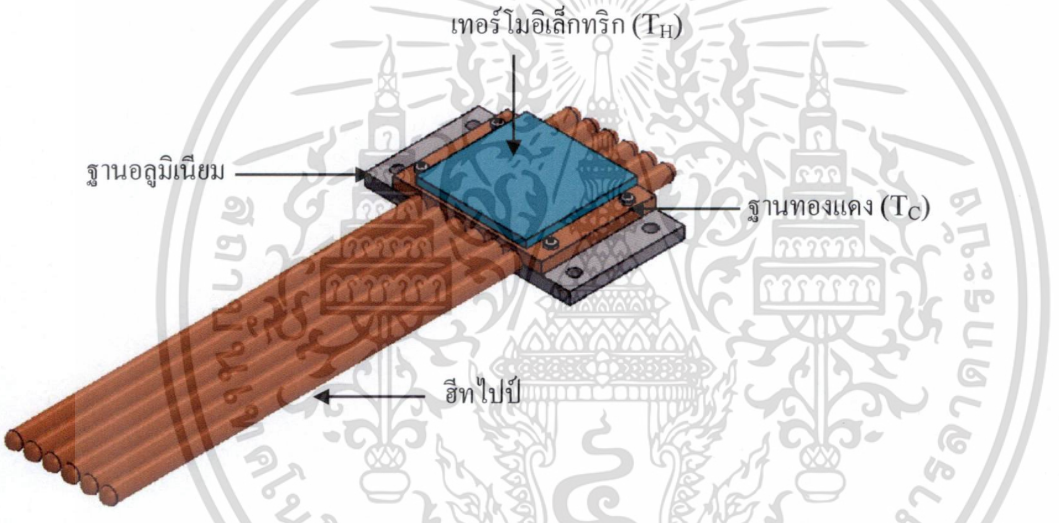


รูปที่ 4.2 ฐานของชุดระบายความร้อนโดยใช้ทองแดง

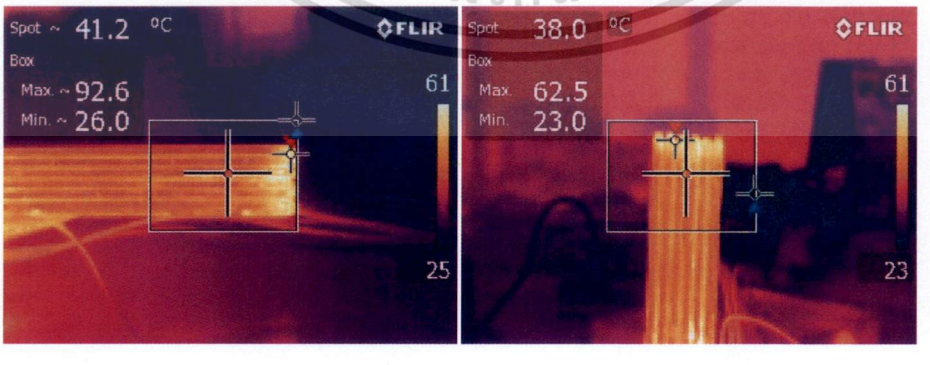
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงลักษณะฐานของชุดระบายความร้อนโดยสร้างจากแผ่นทองแดงและอะลูมิเนียมขนาด 78 × 60 × 6 mm และ 108 × 60 × 6 mm ตามลำดับ โดยกัดร่องครึ่งวงกลมความยาวรัศมี 4 mm จำนวน 6 ร่องสำหรับวางฮีทไปป์จำนวน 6 แท่ง ด้านข้างเจาะรูสำหรับยึดฐานของอะลูมิเนียมและทองแดงเข้าด้วยกัน ผู้วิจัยเลือกใช้ทองแดงและอะลูมิเนียมเนื่องจากสามารถนำความร้อนได้ดี ความต้านทานความกัดกร่อนสูง น้ำหนักเบา สามารถทำเป็นรูปร่างต่างๆได้ หาซื้อได้ง่าย และมีราคาถูก ให้เหตุผลด้านอื่นประกอบด้วย

ในการทดสอบนี้จะนำระบบระบายความร้อนมาทดสอบความสามารถในการระบายความร้อน โดยการทดสอบนี้จะนำฮีทเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนมาวางบนเทอร์โมอิเล็กทริก ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจะติดอยู่ที่ด้านบนของแผ่นทองแดงและฮีทไปป์ที่วางในแนวดิ่งและแนวระดับ ดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 ระบบระบายความร้อนโดยใช้โดยใช้ฮีทไปป์



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

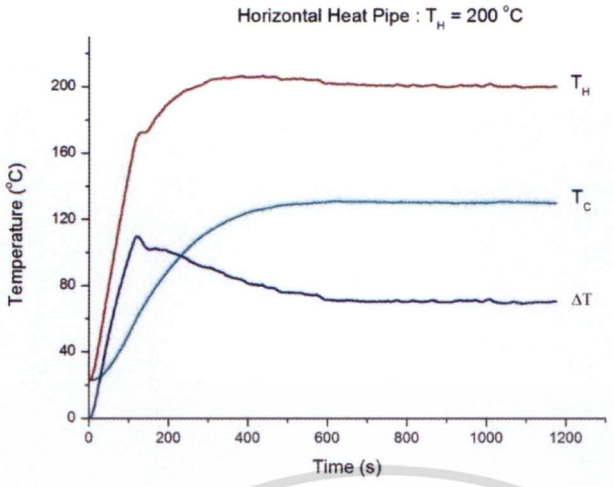
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพความร้อน (IR camera , FLIR) เมื่อฮีทไปป์มีการวางตัวในแนวระดับและแนวดิ่ง และอุณหภูมิทดสอบด้านร้อนเป็น 200 °C โดยกำหนดค่า emissivity ของทองแดงเท่ากับ 400 W/mK จากภาพจะพบว่าอุณหภูมิของฮีทไปป์ที่วางตัวในแนวระดับจะสูงกว่าอุณหภูมิของฮีทไปป์ที่วางตัวในแนวดิ่ง จากนั้นให้ความร้อนทางด้านร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C, 250 °C และ 300 °C ทำการวัดค่าอุณหภูมิที่ด้านเย็น (ฐานทองแดง) เป็นเวลาประมาณ 20 นาที ซึ่งมีผลดังต่อไปนี้

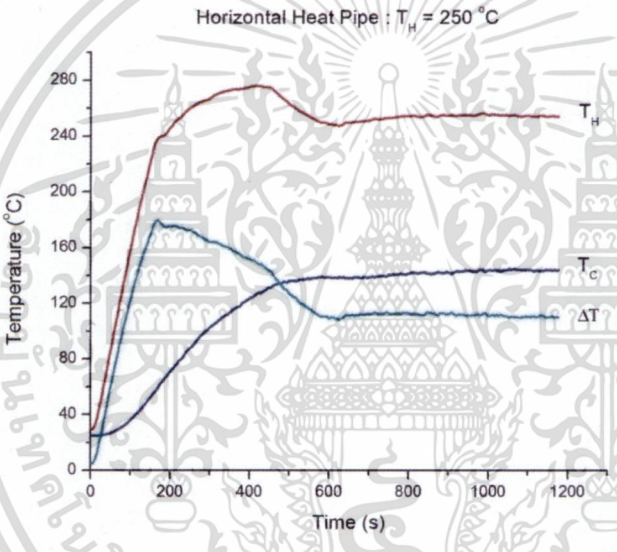
4.1.1 ฮีทไปป์แนวระดับ

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

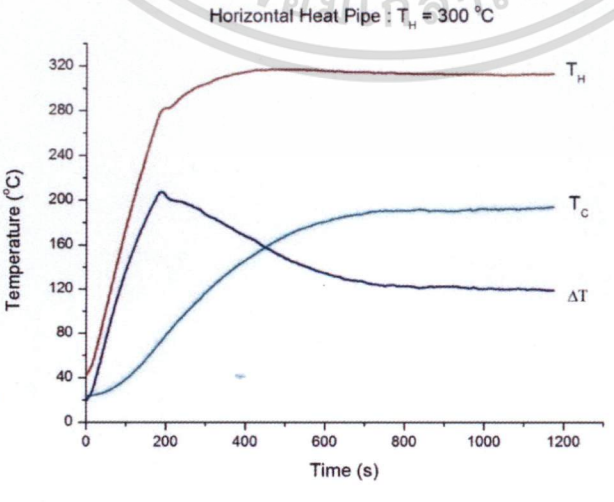
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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



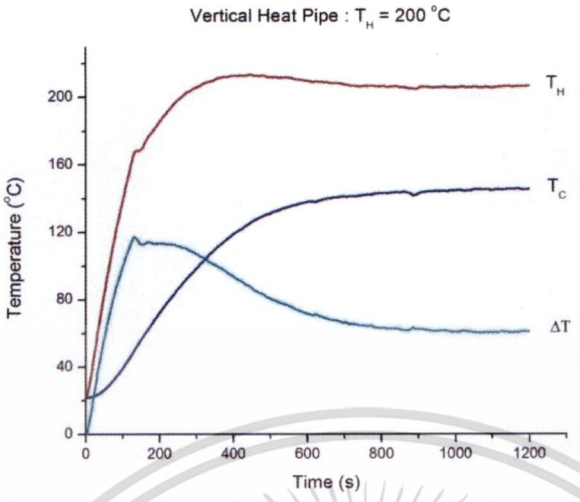
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 250 °C



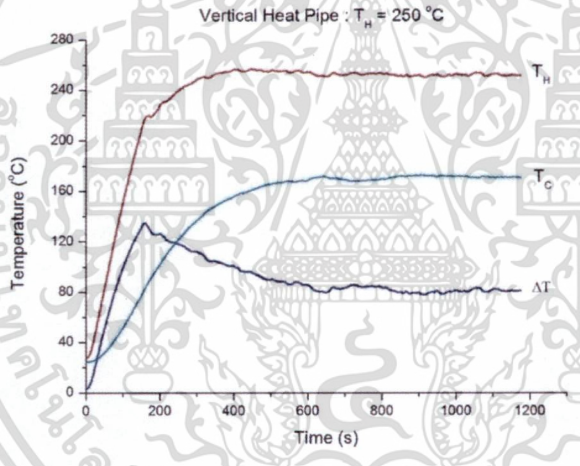
รูปที่ 4.7 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 300 °

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

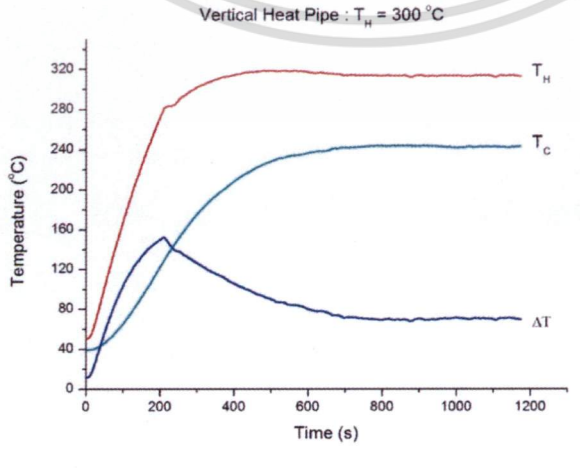
4.1.2 ฮีทไปป์แนวดิ่ง



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



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

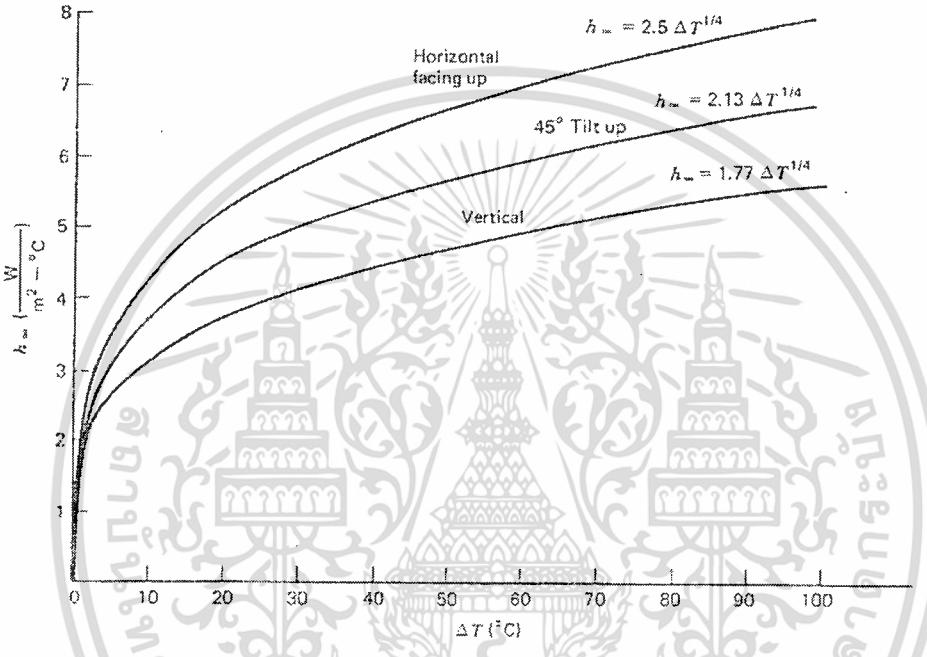


รูปที่ 4.10 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 300 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 พบว่าแนวโน้มของกราฟจะคล้ายกับการระบายความร้อนเมื่อฮีทไปป์วางตัวในแนวระดับ แต่เมื่อวางฮีทไปป์ในแนวดิ่งจะทำให้อุณหภูมิด้านเย็นของระบบสูงกว่าการวางฮีทไปป์ในแนวระดับ ส่งผลให้ผลต่างของอุณหภูมิ $(\Delta T = T_H - T_C)$ มีค่าน้อยกว่าวางฮีทไปป์ในแนวระดับ ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิจะมีค่าประมาณ 60 °C, 80 °C และ 82 °C เมื่ออุณหภูมิด้านร้อนมีค่าเท่ากับ 200 °C, 250 °C และ 3000 °C ตามลำดับ

จากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับการถ่ายโอนจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆ

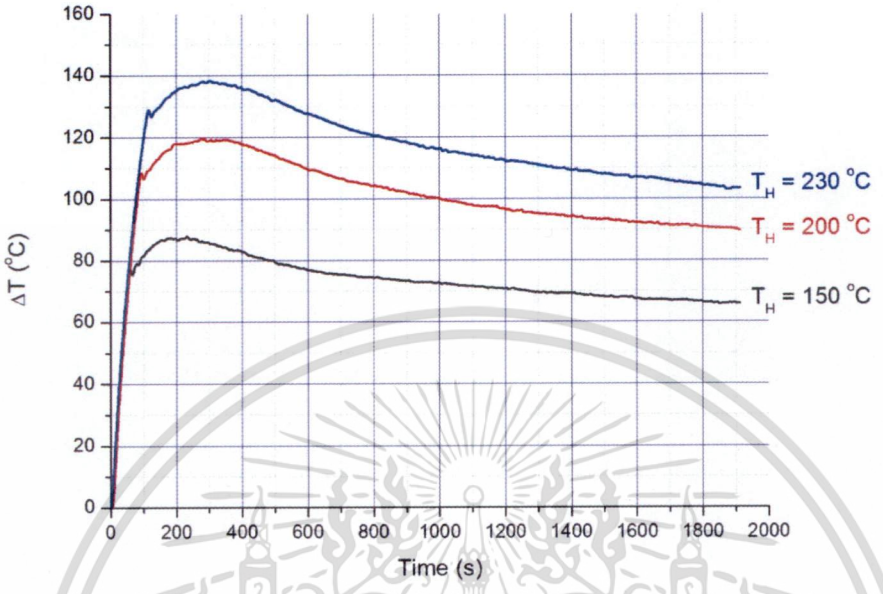
จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในแนวระดับ แนวเอียง 45° และแนวดิ่งมีค่าเป็น $2.5\Delta T^{1/4}$, $2.13\Delta T^{1/4}$ และ $1.77\Delta T^{1/4}$ ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ ซึ่งในแนวระดับนั้นมีค่าคงที่ที่สูงสุดนั่นคือ 2.5 ทำให้ในแนวระดับจะมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ดี ซึ่งสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าในแนวอื่นๆ

4.1.3 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก

จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า เมื่อฮีทไปป์วางตัวในแนวระดับจะทำให้มีการระบายความร้อนที่ดีกว่าจึงเกิดผลต่างของอุณหภูมิมากกว่าการวางตัวแนวดิ่ง ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิจะส่งผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ดังนั้นในการทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่ออุณหภูมิด้านร้อนมีค่าต่างๆ จึงเลือกให้ฮีทไปป์มีการวางตัวแนวระดับ และนำเทอร์โมอิเล็กทริกต่อกับความต้านทาน ..... ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ใช้อุณหภูมิทดสอบที่มีค่าต่างกันคือ 150 °C, 200 °C และ 230 °C

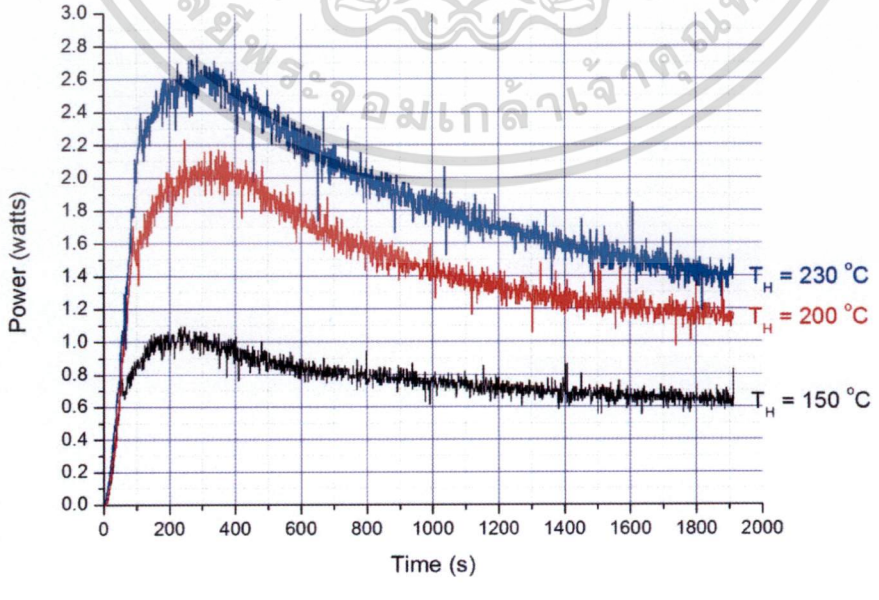
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเวลาประมาณ 30 นาที บันทึกอุณหภูมิด้านร้อน อุณหภูมิด้านเย็น กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน โดยใช้ระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (NI 9201, NI 9211 และ NI 9227) ได้ผลดังนี้



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

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



รูปที่ 4.13 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C, 200 °C และ 230°C

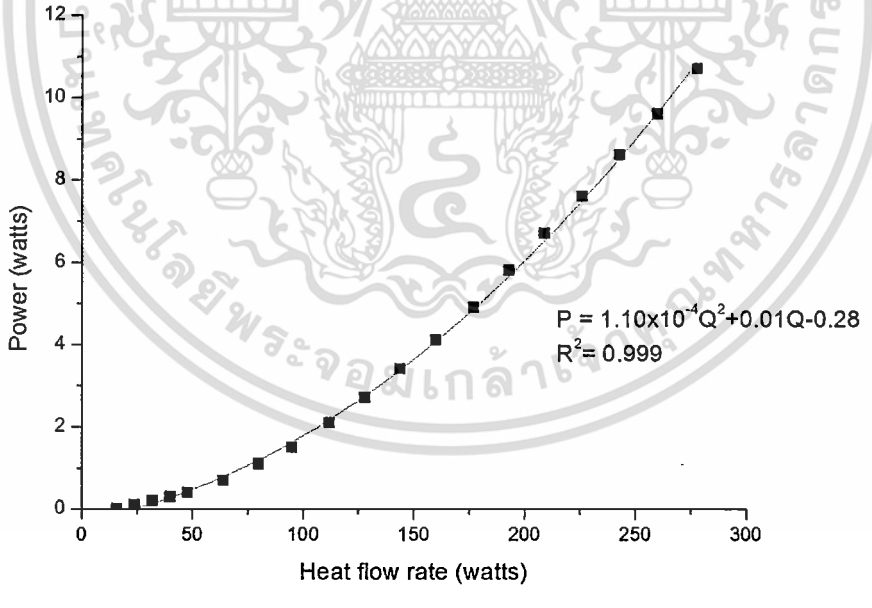
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ เมื่ออุณหภูมิทดสอบ 150 °C, 200 °C และ 230°C ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้ก็จะสูงขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดที่ช่วงเวลาประมาณ 300 วินาที (5 นาที) และจะเริ่มมีค่าคงที่ที่เวลาประมาณ 1800 วินาที (30 นาที)

4.1.4 แบบจำลองอธิบายการระบายความร้อนของฮีทไปป์

ในขั้นตอนนี้จะสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายการระบายความร้อนของฮีทไปป์ที่มีรูปทรงกระบอก โดยสมมุติให้ของไหลที่อยู่ภายไปฮีทไปป์มีสถานะเดียวและมีการไหลแบบคงตัวจากปลายด้านร้อนสู่ปลายด้านเย็น ฮีทไปป์มีการระบายความร้อนออกสู่ภายนอกซึ่งเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิคงที่ 25 °C โดยการระบายความร้อนจะเกิดเนื่องจากการนำความร้อนและการพาความร้อนแบบอิสระ (free convection)

ในการทดลองนี้เมื่อทราบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ทำให้สามารถคำนวณอัตราการไหลของความร้อนที่ไหลผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกส์ได้ โดยข้อมูลดังกล่าวถูกกำหนดมาจากบริษัทผู้ผลิตเทอร์โมอิเล็กทริก (HI Z, USA) แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของความร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก

จากรูปที่ 4.14 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและอัตราการไหลของความร้อนที่ได้เป็นไปตามสมการ คือ $P = 1.1x10^{-4}Q^2 + 0.01Q - 0.28$ โดยที่ P คือกำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อมีอัตราการไหลของความร้อนผ่านตัวเทอร์โมอิเล็กทริกเป็น Q โดยแบบจำลองที่จะอธิบายการระบายความร้อนของฮีทไปป์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถือว่าความร้อนทั้งหมดที่ไหลผ่านตัวเทอร์โมอิเล็กทริกจะถูกส่งไปยังฮีทไปป์ทั้งหมด จากนั้นจะคำนวณค่า h

ตารางที่ 4.1 ค่าที่วัดได้จากระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์

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

การทดสอบนี้จะสมมติให้ของเหลวภายในฮีทไปป์เป็นการไหลแบบคงตัวโดยจะใช้สมการการนำความร้อนและการพาความร้อนมาคำนวณหาความต้านทานเชิงความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริกสู่ฮีทซิงค์

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

โดยที่ $\dot{Q}$ คือ อัตราการไหลความร้อน

r_o คือ รัศมีภายนอกของฮีทไปป์

r_i คือ รัศมีภายในของฮีทไปป์

K คือ สภาพนำความร้อนของทองแดง มีค่าเท่ากับ 400 W/mK

L คือ ความยาวของทองแดง

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

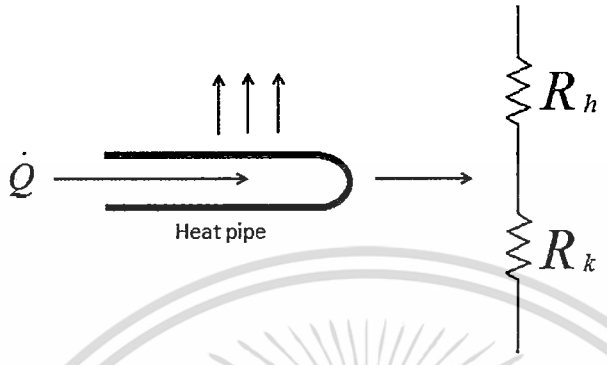
โดยที่ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ

A คือ พื้นที่ผิวของฮีทไปป์ ($2\pi r_o L$) มีค่าเท่ากับ 0.03221 m^2

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิ ^oC (T_H-T_C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาคำนวณเพื่อหาค่าอัตราการไหลของความร้อนนั้นสามารถหาได้จากการสมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและอัตราการไหลของความร้อน (รูปที่ 4.15) ซึ่งค่าที่สามารถคำนวณได้มีค่าดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบระหว่างอัตราการไหลของความร้อนกับความต้านทานแบบอนุกรมของระบบไฟฟ้า

จากนั้นจึงคำนวณโดยการใช้ค่าอัตราการไหลของความร้อนที่ได้เพื่อหาความต้านทานเชิงความร้อนของฮีทไปป์ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ซึ่งการคำนวณนี้จะคิดค่าความต้านทานเชิงความร้อนเช่นเดียวกับความต้านทานแบบอนุกรมของระบบไฟฟ้า (รูปที่ 4.15)

คือ $V = IR$

เมื่อ V คือ ΔT

$\dot{Q}$ คือ I

R_h คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของการนำความร้อน

R_k คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของการพาความร้อน

นั่นคือ $\Delta T = \dot{Q}R$

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

$$R_{Total} = R_h + R_k$$

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

เมื่อเปรียบระหว่างค่าความต่างอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าที่ได้พบว่าเมื่อค่าความต่างอุณหภูมิมากขึ้นค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากขึ้นเช่นกันและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่ค่าเท่ากับ 30.8, 32.2 และ 29.4 ตามลำดับ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศจะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

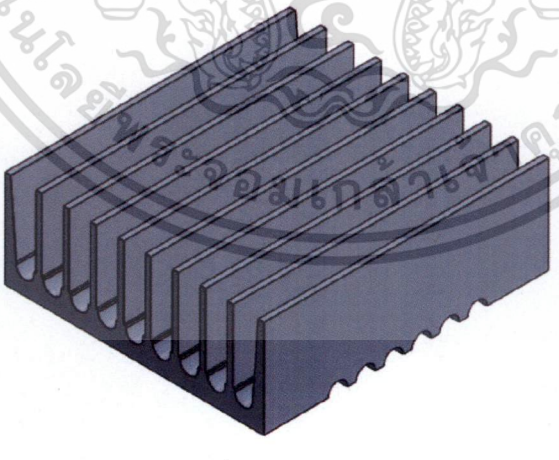
0.66 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่สามารถคำนวณได้อยู่ในช่วง 5-37 W/m^2K ซึ่งสอดคล้องตามตารางที่ 2.3 และสามารถสรุปค่าต่างๆได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าที่วัดได้จากระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์

	T_H (°C)	$T_{C(STA)}$ (°C)	ΔT_{STA} (°C)	P_{STA} (watts)	h
Heat Pipe	150	85	45	0.7	30.8
	200	105	80	1.2	32.2
	230	120	55	1.4	29.4

4.3.2 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์และฮีทซิงค์

จากการทดสอบระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์พบว่า เมื่ออัตราการไหลของความร้อนมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จะมากขึ้นเช่นกัน ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบเพื่อเพิ่มผลต่างอุณหภูมิ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้น่าจะมีแนวโน้มมากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อนโดยการติดฮีทซิงค์ที่ส่วนปลายฮีทไปป์ของระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์

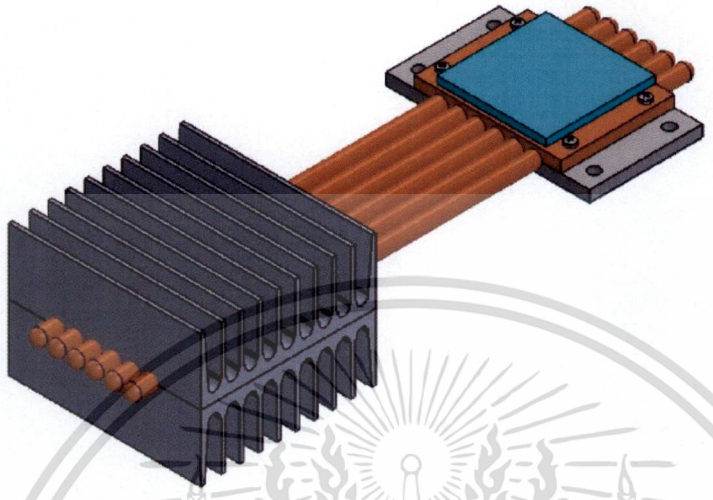


รูปที่ 4.16 ฮีทซิงค์

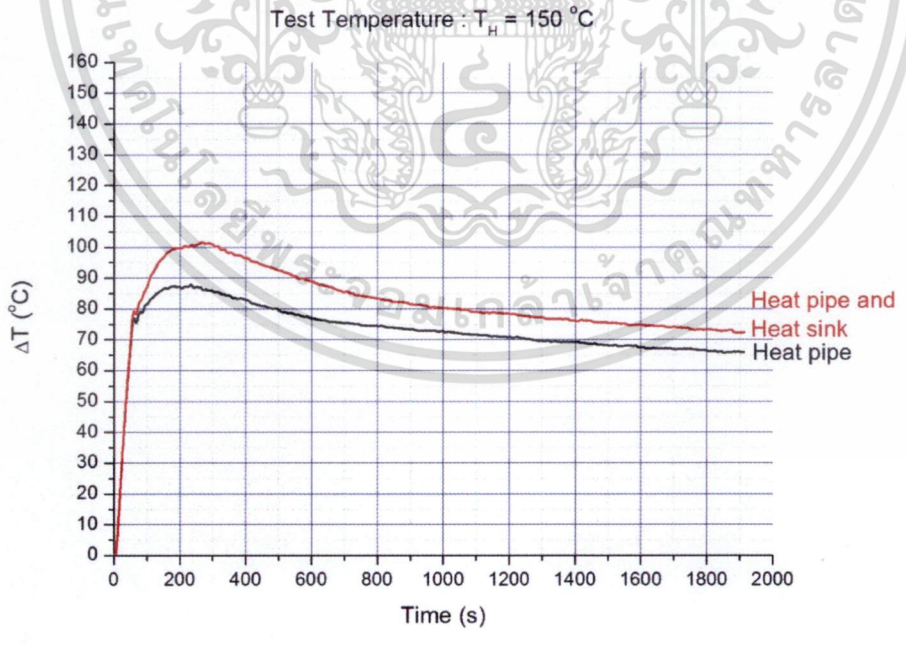
รูปที่ 14.6 แสดงลักษณะของฮีทซิงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 14.6 แสดงลักษณะของฮีทซิงค์ซึ่งมีขนาดกว้าง 102 mm ยาว 93mm สูง 34.8 mm มีครีบทั้งหมด 10 ครีบ แต่ละครีบหนา 2 mm ผู้วิจัยเลือกใช้อะลูมิเนียมเนื่องจากอะลูมิเนียมสามารถนำความร้อนได้ดี มีน้ำหนักเบา และราคาถูก

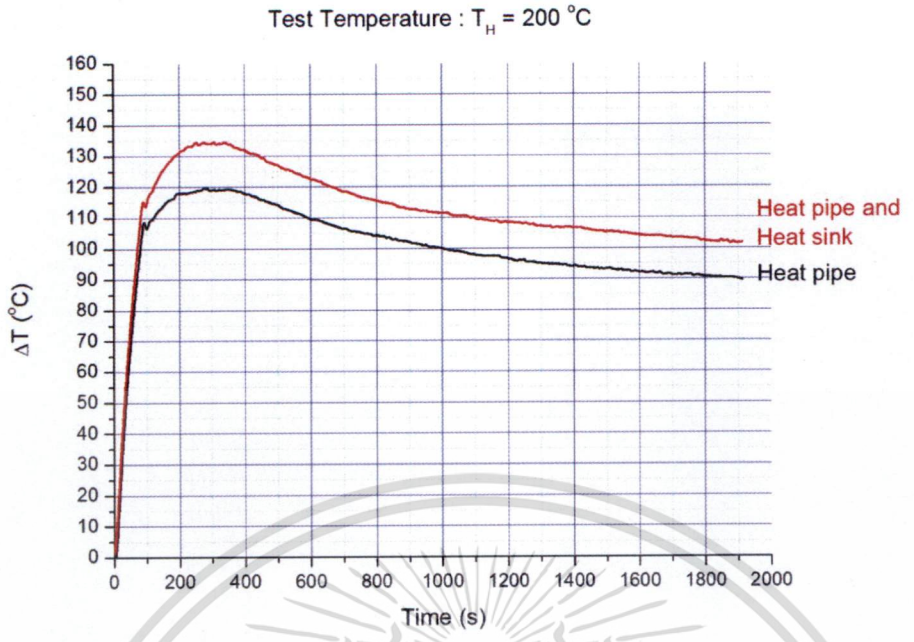


รูปที่ 4.17 ระบบระบายความร้อนโดยใช้โดยใช้ฮีทไปป์และฮีทซิงค์

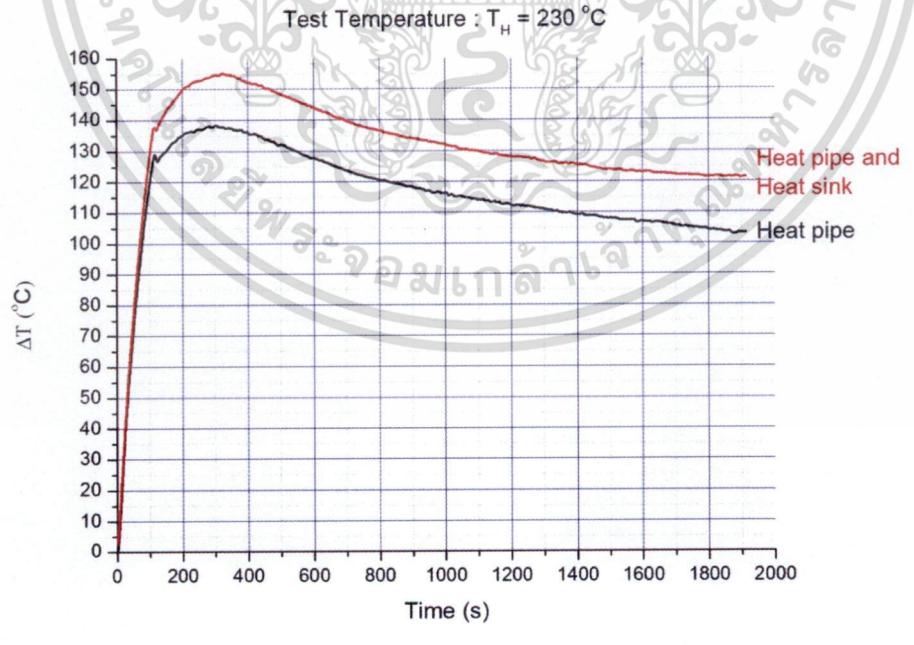


รูปที่ 4.18 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



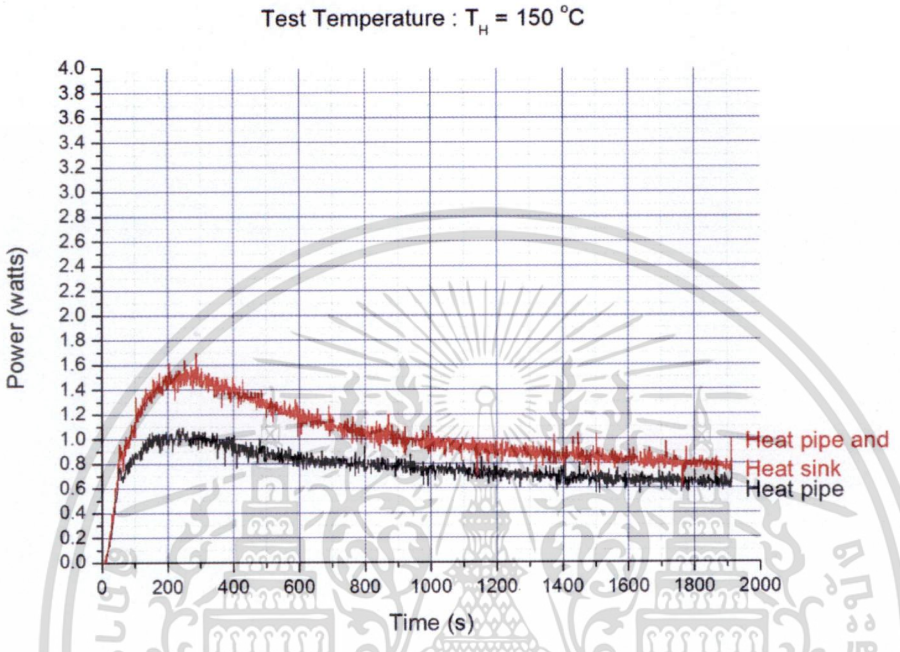
รูปที่ 4.19 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 200 °C



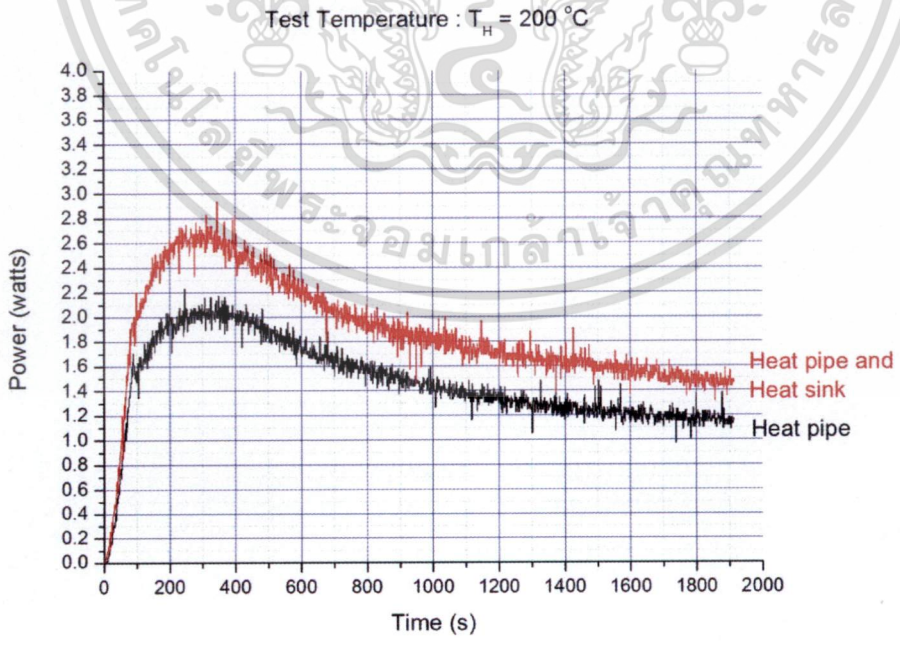
รูปที่ 4.20 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 พบว่า ระบบระบายความร้อนที่ใช้ฮีทไปป์เพียงอย่างเดียวมีค่าผลต่างอุณหภูมิน้อยกว่าระบบระบายความร้อนฮีทไปป์และฮีทซิงค์ เบื้องต้นผลต่างของอุณหภูมิจะมีค่าต่ำและค่อยๆเพิ่มขึ้นจากนั้นผลต่างอุณหภูมิจะลดลงเพียงเล็กน้อยและมีค่าเกือบคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 15 นาที

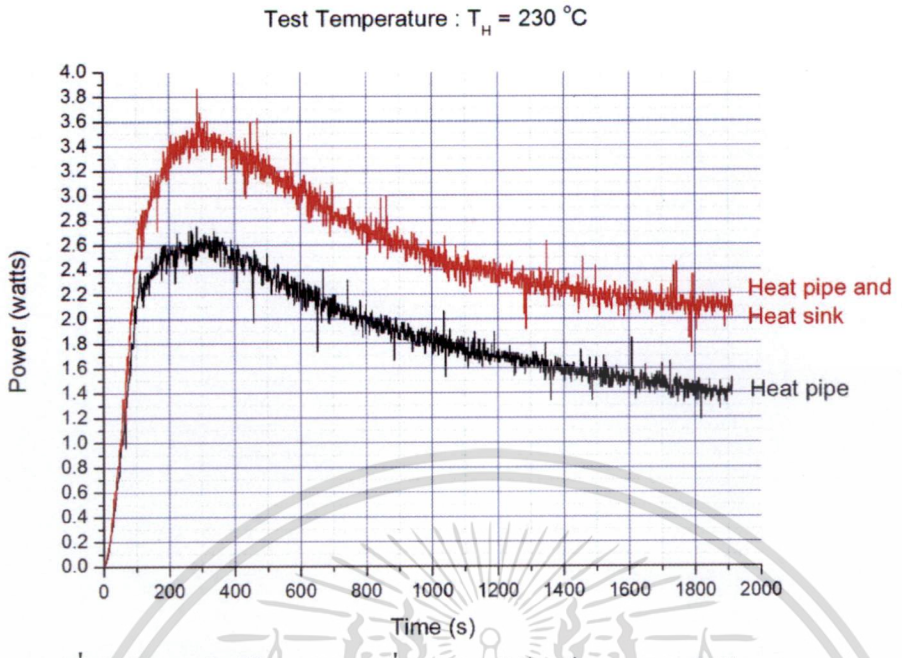


รูปที่ 4.21 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C



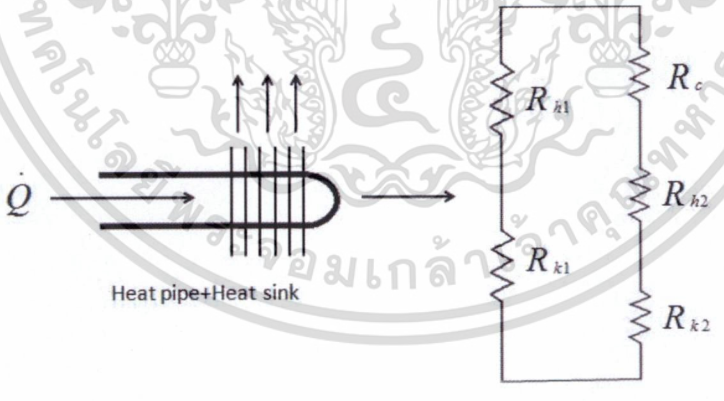
รูปที่ 4.22 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C

จากรูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 พบว่า ระบบระบายความร้อนที่ใช้ฮีทไปป์เพียงอย่างเดียวมีค่ากำลังไฟฟ้าน้อยกว่าระบบระบายความร้อนฮีทไปป์และฮีทซิงค์ เบื้องต้นกำลังฟ้าจะมีค่าต่ำและค่อยๆเพิ่มขึ้น จากนั้นกำลังไฟฟ้าจะลดลงเพียงเล็กน้อยและมีค่าเกือบคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 15 นาที



รูปที่ 4.24 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 230 °C

คำนวณโดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่ได้เพื่อหาความต้านทานเชิงความร้อนระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์ ซึ่งการคำนวณนี้จะคิดค่าความต้านทานเชิงความร้อนเช่นเดียวกับความต้านทานแบบอนุกรมของระบบไฟฟ้า (รูปที่ 4.24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ $\Delta T = \dot{Q}R$

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

$$R_{Total} = R_h + R_k + R_{con}$$

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

ตารางที่ 4.3 ค่าที่วัดได้จากระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์กับระบบระบายความร้อยโดยใช้ฮีทซิงค์

	T_H (°C)	$T_{C(STA)}$ (°C)	ΔT_{STA} (°C)	P_{STA} (watts)	%	R_{con}
Heat Pipe	150	83	67	0.7	-	-
	200	109	91	1.2	-	-
	230	125	105	1.4	-	-
Heat Pipe and Heat Sink	150	75	74	0.8	10.4	0.89
	200	97	103	1.5	13.2	0.91
	230	109	121	2.1	15.2	0.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป

โครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างระบบเก็บข้อมูลอัตโนมัติเพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิของแหล่งความร้อน (T_H), อุณหภูมิในการระบายความร้อน (T_C) อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (T_R) รวมถึงค่ากระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ (V) ที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริคส์โดยใช้โปรแกรมมาตรฐาน Labview ในการจัดเก็บสัญญาณและแสดงผลแบบ real time จากผลการวิจัยพบว่าระบบจัดเก็บข้อมูลที่สร้างขึ้นสามารถจัดเก็บและบันทึกข้อมูลได้รวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำ เมื่อนำไปใช้กับแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา นอกจากนี้ยังได้นำระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติที่ออกแบบขึ้นไปจัดเก็บข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกส์โดยใช้แหล่งความร้อนเป็นเตาหุงต้ม จากผลการทดสอบพบว่าระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติสามารถวัดและจัดเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Champier D, Bedecarrats, J.P., Rivaletto, M., and Strub, F., Thermoelectric power generator from biomass cook stoves, Energy, 35 (2010) : 935-942.

[2] Bhattacharya, S.C., Albina, D.O., and Abdul Salum, Emission factors of wood and charcoal-fired cookstoves, Biomass and Bioenergy, 23 (2002) : 453-469.

[3] Rowe, D.M., Thermoelectric waste heat recovery as a renewable energy source. International Journal of Innovation Energy Systems and Power 2006.

[4] Nuwayhid, R.Y., Rowe, D.M., and Min, G., Low cost stove-top thermoelectric generator for region with unreliable electricity supply. Renewable energy, 28 (2003) : 205-222.

[5] Lertsatitthannkorn, C., Electrical performance analysis and economic evaluation of combined

[6] Nuwayhid, R.Y., Shihadeh, A., and Ghaddar, N., Development and testing of a domestic

[7] Nuwayhid, R.Y., and Hamade, R., Design and testing of locally made loop-type thermosyphonic heat sink for stove-top thermoelectric generators, Renewable energy, 30 (2005) : 1011-1016.

[8] Mastbergen D, and Willson B. Generating light from stoves using a thermoelectric generator.

[9] URL:www.biolitestove.com/BioLite.html; [last accessed June 2010].

[10]Champier D, Rivaletto M, Strub F. TEGBioS: a prototype of thermoelectric power generator for

[11] Rinalde GF, Juanico LG, Taglialavore E, Gortari S, and Molina MG, Development of

[12] อาภาภรณ์ สกุลการะเวก "การศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาหุงต้มด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล" ทุนส่งเสริมนักวิจัย เงินงบประมาณรายได้ ปี 2556 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้