

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

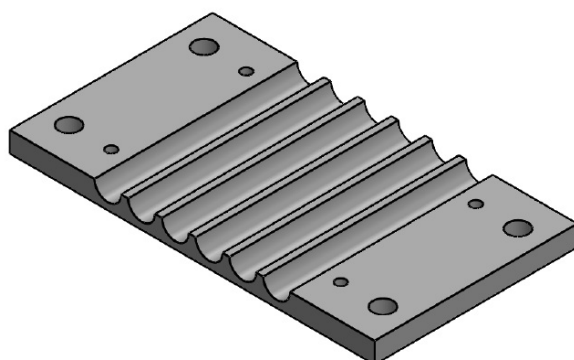
ในบทนี้จะอธิบายถึงผลการทดลองและการอภิปรายผลของการศึกษาการพัฒนาระบบระบายความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ฮีทไปป์ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์ และแบบจำลองที่อธิบายการระบายความร้อน

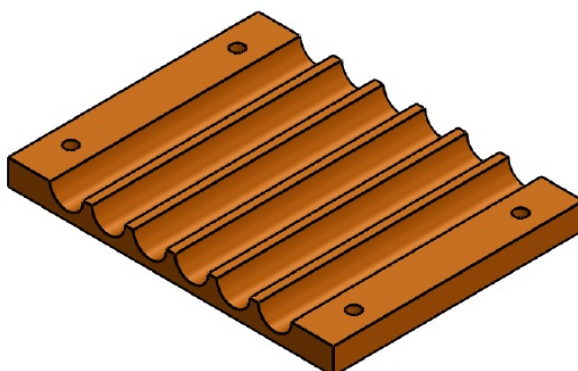
ตอนที่ 2 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อระบบระบายความร้อนเป็นฮีทไปป์และฮีทซิงค์ และแบบจำลองที่อธิบายการระบายความร้อน

4.1 การทดสอบการระบายความร้อนของฮีทไปป์ที่วางตัวในแนวตั้งและในแนวระดับ

ในขั้นตอนนี้ได้ออกแบบระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์จำนวน 6 แท่ง โดยแต่ละแท่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.75 mm ยาว 300 mm โดยฮีทไปป์ทั้งหมดจะถูกประกบอยู่กับฐานโดยที่ด้านบนทำจากทองแดงและด้านล่างทำจากอะลูมิเนียม



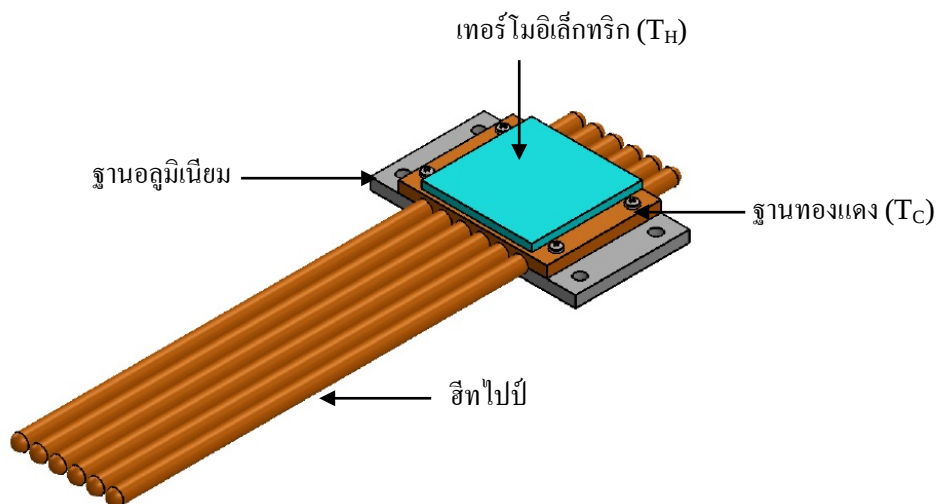
รูปที่ 4.1 ฐานของชุดระบายความร้อนโดยใช้อะลูมิเนียม



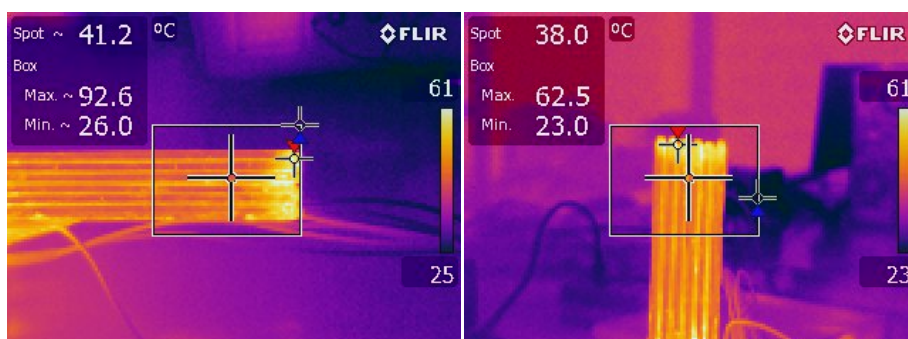
รูปที่ 4.2 ฐานของชุดระบายความร้อนโดยใช้ทองแดง

รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงลักษณะฐานของชุดระบายความร้อนโดยสร้างจากแผ่นทองแดงและอะลูมิเนียมขนาด $78 \times 60 \times 6$ mm และ $108 \times 60 \times 6$ mm ตามลำดับ โดยกัธร่องครึ่งวงกลมความยาวรัศมี 4 mm จำนวน 6 ร่องสำหรับวางฮีทไปป์จำนวน 6 แท่ง ด้านข้างเจาะรูสำหรับยึดฐานของอะลูมิเนียมและทองแดงเข้าด้วยกัน ผู้วิจัยเลือกใช้ทองแดงและอะลูมิเนียมเนื่องจากสามารถนำความร้อนได้ดี ความต้านทานความร้อนต่ำ น้ำหนักเบา สามารถทำเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ ให้อาศัยได้ง่าย และมีราคาถูก ให้เหตุผลด้านอื่นประกอบด้วย

ในการทดสอบนี้จะนำระบบระบายความร้อนมาทดสอบความสามารถในการระบายความร้อน โดยการทดสอบนี้จะนำฮีทเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนมาวางบนเทอร์โมอิเล็กทริก ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจะติดอยู่ที่ด้านบนของแผ่นทองแดงและฮีทไปป์ที่วางในแนวดิ่งและแนวระดับ ดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 ระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์

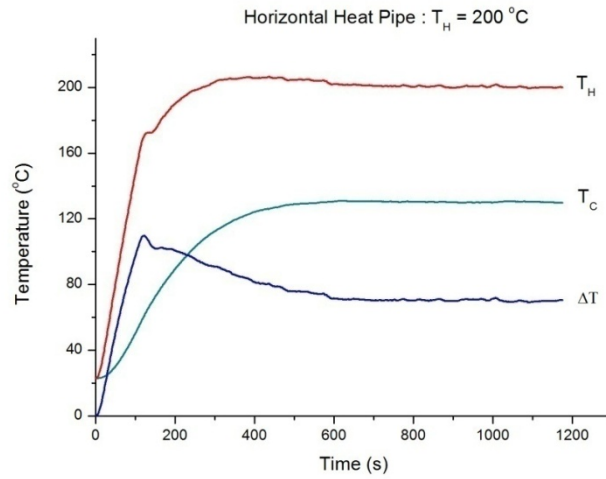


รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพความร้อน (IR camera , FLIR) เมื่อฮีทไปป์มีการวางตัวในแนวระดับและแนวดิ่ง โดยอุณหภูมิทดสอบด้านร้อนเป็น 200°C

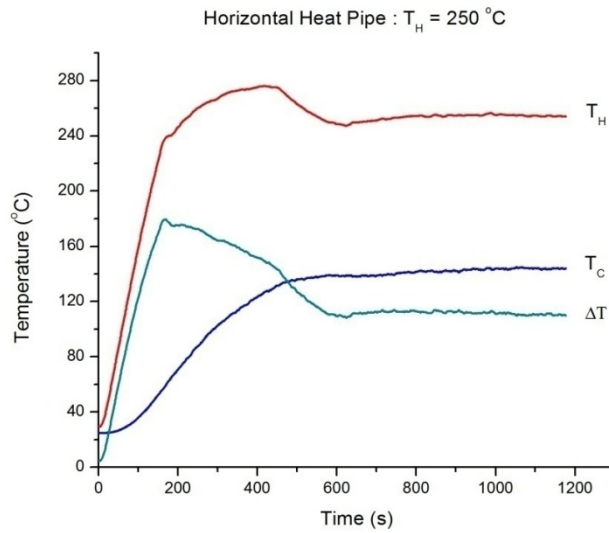
รูปที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพความร้อน (IR camera , FLIR) เมื่อฮีทปั๊มมีการวางตัวในแนวระดับและแนวตั้ง และอุณหภูมิทดสอบด้านร้อนเป็น 200 °C โดยกำหนดค่า emissivity ของทองแดงเท่ากับ 400 W/mK จากภาพจะพบว่าอุณหภูมิของฮีทปั๊มที่วางตัวในแนวระดับจะสูงกว่าอุณหภูมิของฮีทปั๊มที่วางตัวในแนวตั้ง จากนั้นให้ความร้อนทางด้านร้อนที่อุณหภูมิ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

4.1.1 ฮีทปั๊มแนวระดับ

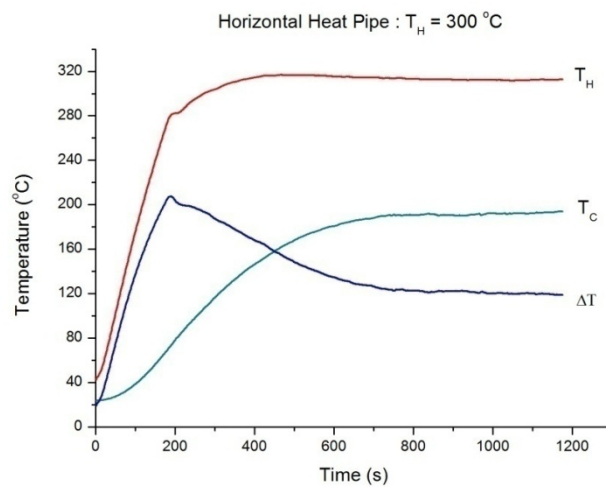
จากรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบเพิ่มขึ้น ผลต่างอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 13 นาทีอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจนเกือบคงที่ ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิที่จะมีค่าประมาณ 70 °C, 100 °C และ 120 °C เมื่ออุณหภูมิที่ทดสอบ (อุณหภูมิด้านร้อน) เป็น 200 °C, 250 °C และ 300 °C ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

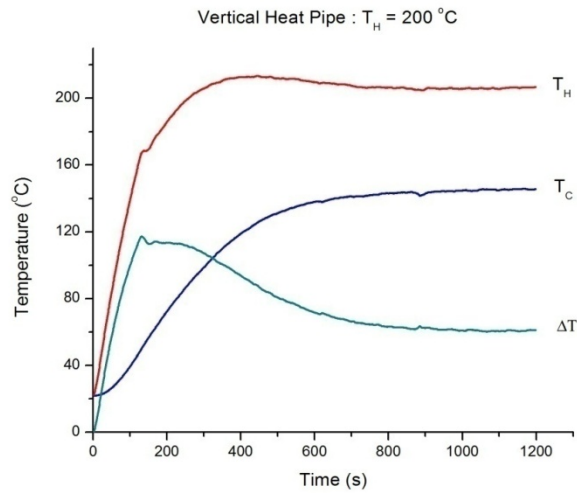


รูปที่ 4.6 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $250\text{ }^{\circ}\text{C}$

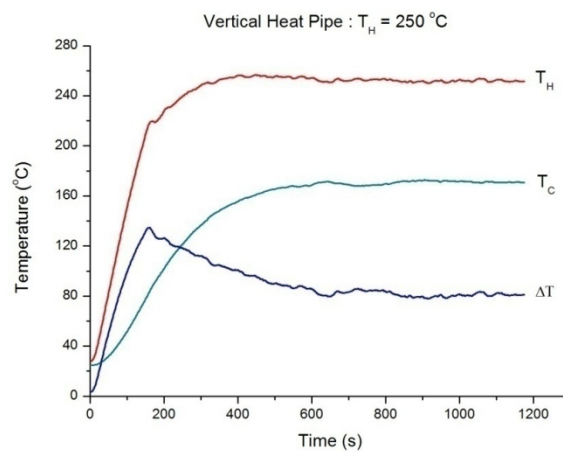


รูปที่ 4.7 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$

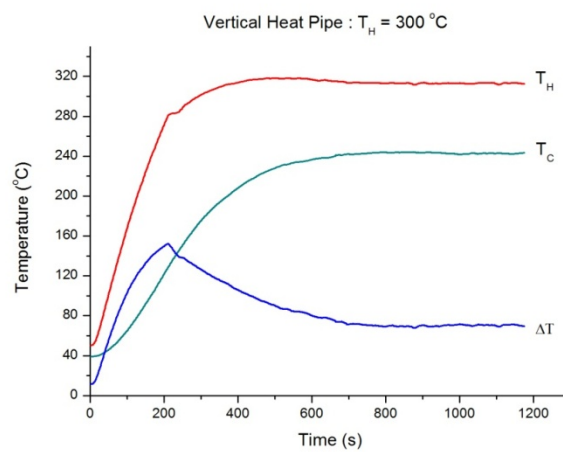
4.1.2 อีทไปป์แนวดิ่ง



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$



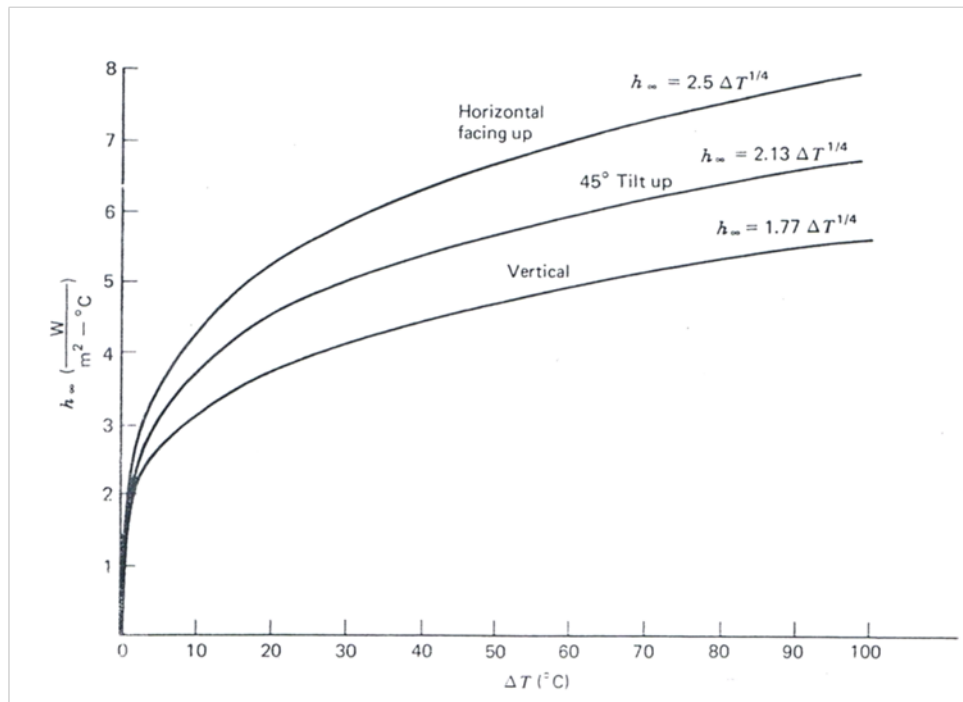
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $250\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$

จากรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 พบว่าแนวโน้มของกราฟจะคล้ายกับการระบายความร้อนเมื่อฮีทไปป์วางตัวในแนวระดับ แต่เมื่อวางฮีทไปป์ในแนวตั้งจะทำให้อุณหภูมิด้านเย็นของระบบสูงกว่าการวางฮีทไปป์ในแนวระดับ 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



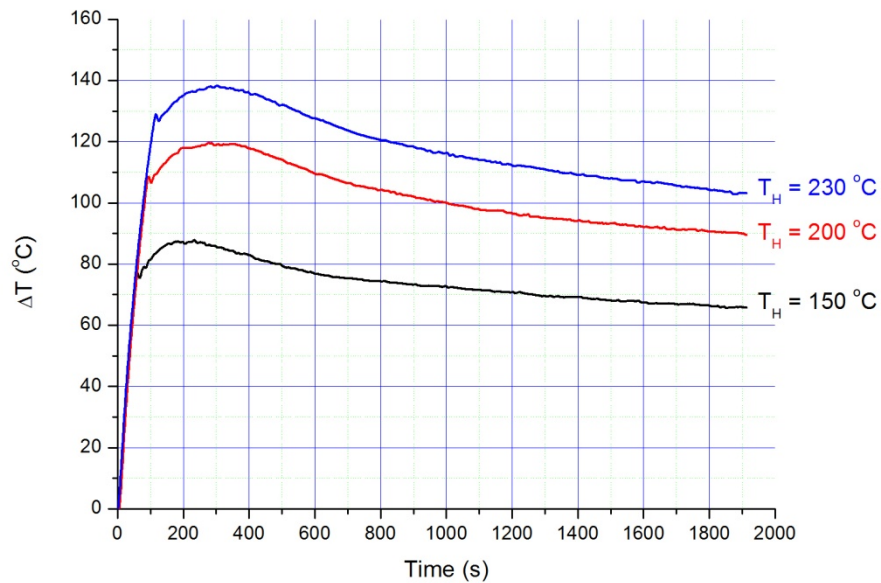
รูปที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับการถ่ายโอนจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆ

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

4.1.3 การทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก

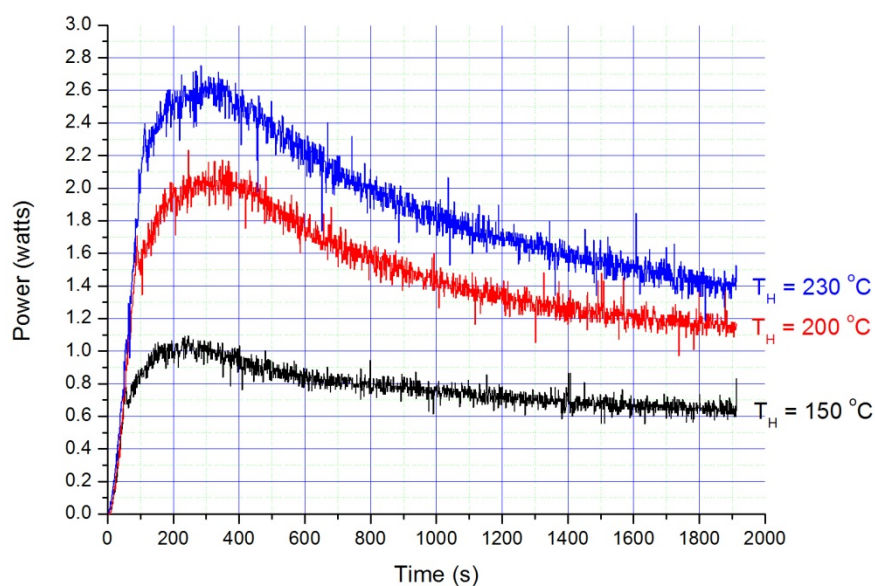
จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า เมื่อฮีทไปป์วางตัวในแนวระดับจะทำให้มีการระบายความร้อนที่ดีกว่าจึงเกิดผลต่างของอุณหภูมิมากกว่าการวางตัวแนวตั้ง ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิจะส่งผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ดังนั้นในการทดสอบกำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่ออุณหภูมิด้านร้อนมีค่าต่างๆ จึงเลือกให้ฮีทไปป์มีการวางตัวแนวระดับ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

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)



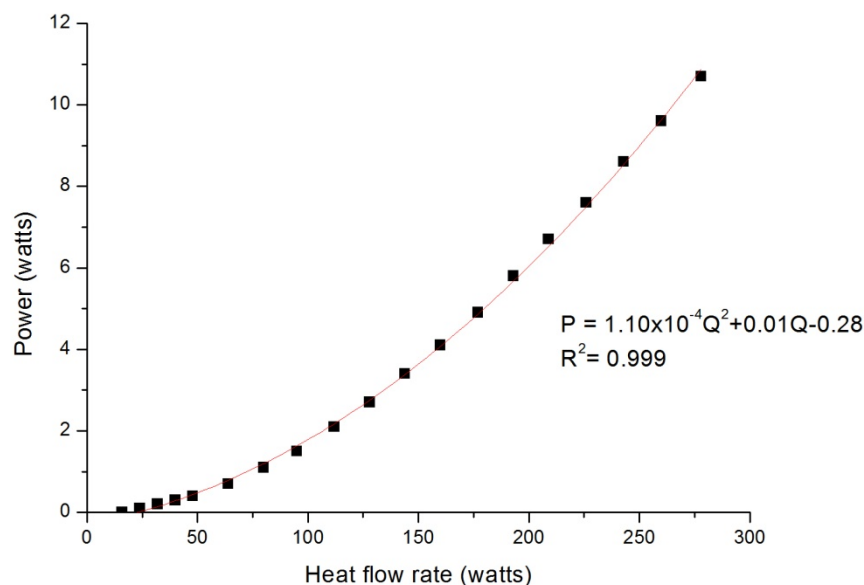
รูปที่ 4.13 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ 150 °C, 200 °C และ 230 °C

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

4.1.4 แบบจำลองอธิบายการระบายความร้อนของฮีทปั๊ม

ในขั้นตอนนี้จะสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายการระบายความร้อนของฮีทปั๊มที่มีรูปทรงกระบอก โดยสมมติให้ของไหลที่อยู่ภายในฮีทปั๊มมีสถานะเดียวและมีการไหลแบบคงตัวจากปลายด้านร้อนสู่ปลายด้านเย็น ฮีทปั๊มมีการระบายความร้อนออกสู่ภายนอกซึ่งเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิคงที่ 25 °C โดยการระบายความร้อนจะเกิดเนื่องจากการนำความร้อนและการพาความร้อนแบบอิสระ (free convection)

ในการทดลองนี้เมื่อทราบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ทำให้สามารถคำนวณอัตราการไหลของความร้อนที่ไหลผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกได้ โดยข้อมูลดังกล่าวถูกกำหนดมาจากบริษัทผู้ผลิตเทอร์โมอิเล็กทริก (HI Z, USA) แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของความร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก

จากรูปที่ 4.14 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและอัตราการไหลของความร้อนที่ได้เป็นไปตามสมการ คือ $P = 1.1 \times 10^{-4} Q^2 + 0.01Q - 0.28$ โดยที่ P คือกำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อมีอัตราการไหลของความร้อนผ่านตัวเทอร์โมอิเล็กทริกเป็น Q โดยแบบจำลองนี้จะอธิบายการระบายความร้อนของฮีทปั๊ม

ถือว่าความร้อนทั้งหมดที่ไหลผ่านตัวเทอร์โมอิเล็กทริกจะถูกส่งไปยังฮีทไปป์ทั้งหมด **จากนั้นจะคำนวณค่า**
h

ตารางที่ 4.1 ค่าที่วัดได้จากระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์

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

การทดสอบนี้จะสมมติให้ของเหลวภายในฮีทไปป์เป็นการไหลแบบคงตัวโดยจะใช้สมการการนำความร้อนและการพาความร้อนมาคำนวณหาความต้านทานเชิงความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริกสู่ฮีทซิงค์

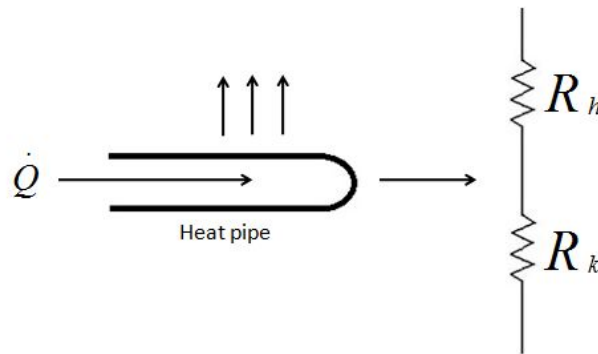
$$\text{สมการการนำความร้อน(ในพื้นผิวทรงกระบอก)} \quad \dot{Q} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi KL}$$

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

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

โดยที่ h	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ
A	คือ	พื้นที่ผิวของฮีทไปป์ ($2\pi r_o L$) มีค่าเท่ากับ 0.03221 m^2
ΔT	คือ	ผลต่างอุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$ ($T_H - T_C$)

ในการหาคำนวนเพื่อหาอัตราการใช้ของความร้อนนั้นสามารถหาได้จากการสมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและอัตราการใช้ของความร้อน (รูปที่ 4.15) ซึ่งค่าที่สามารถคำนวณได้มีค่าดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบระหว่างอัตราการใช้ของความร้อนกับความต้านทานแบบอนุกรมของระบบไฟฟ้า

จากนั้นจึงคำนวณโดยใช้ค่าอัตราการใช้ของความร้อนที่ได้เพื่อหาความต้านทานเชิงความร้อนของฮีทไปป์ จากนั้นทำการคำนวณหาความสัมพันธ์การพาความร้อน ซึ่งการคำนวณนี้จะคิดค่าความต้านทานเชิงความร้อนเช่นเดียวกับความต้านทานแบบอนุกรมของระบบไฟฟ้า (รูปที่ 4.15)

คือ	$V = IR$		
เมื่อ	V	คือ	ΔT
	$\dot{Q}$	คือ	I
	R_h	คือ	ความต้านทานเชิงความร้อนของการนำความร้อน
	R_k	คือ	ความต้านทานเชิงความร้อนของการพาความร้อน

นั่นคือ

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

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

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

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

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าความต่างอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าที่ได้พบว่าเมื่อค่าความต่างอุณหภูมิมากขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากขึ้นเช่นกันและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่ค่าเท่ากับ 30.8, 32.2 และ 29.4 ตามลำดับ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศจะมีค่าเท่ากับ

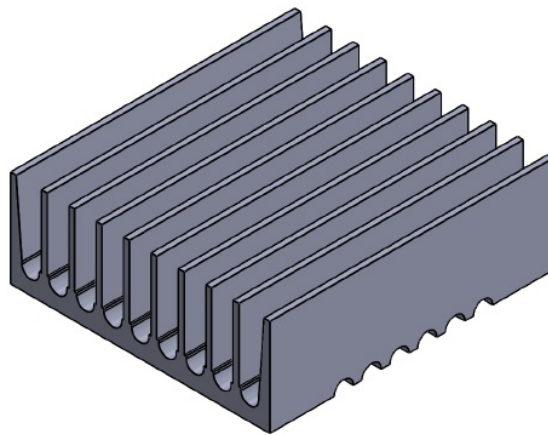
0.66 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่สามารถคำนวณได้อยู่ในช่วง 5-37 W/m²K ซึ่งสอดคล้องตามตารางที่ 2.3 และสามารถสรุปค่าต่างๆได้ดังตารางที่ 4.2

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

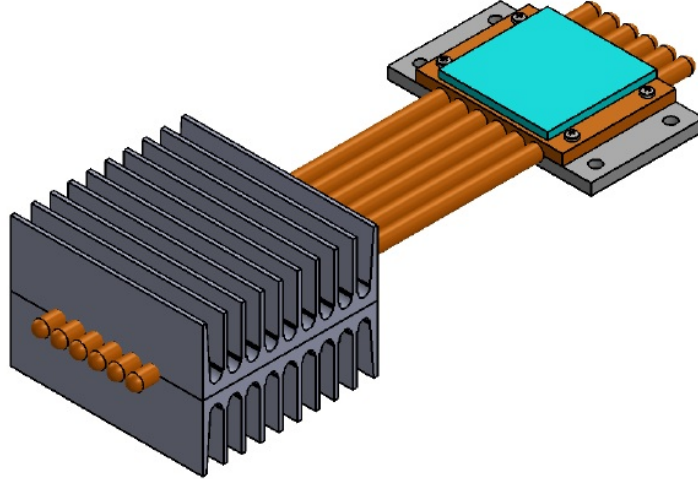
จากการทดสอบระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์พบว่า เมื่ออัตราการไหลของความร้อนมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จะมากขึ้นเช่นกัน ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบเพื่อเพิ่มผลต่างอุณหภูมิ ค่ากำลังไฟฟ้าที่น่าจะมีแนวโน้มมากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อนโดยการติดฮีทซิงค์ที่ส่วนปลายฮีทไปป์ของระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์



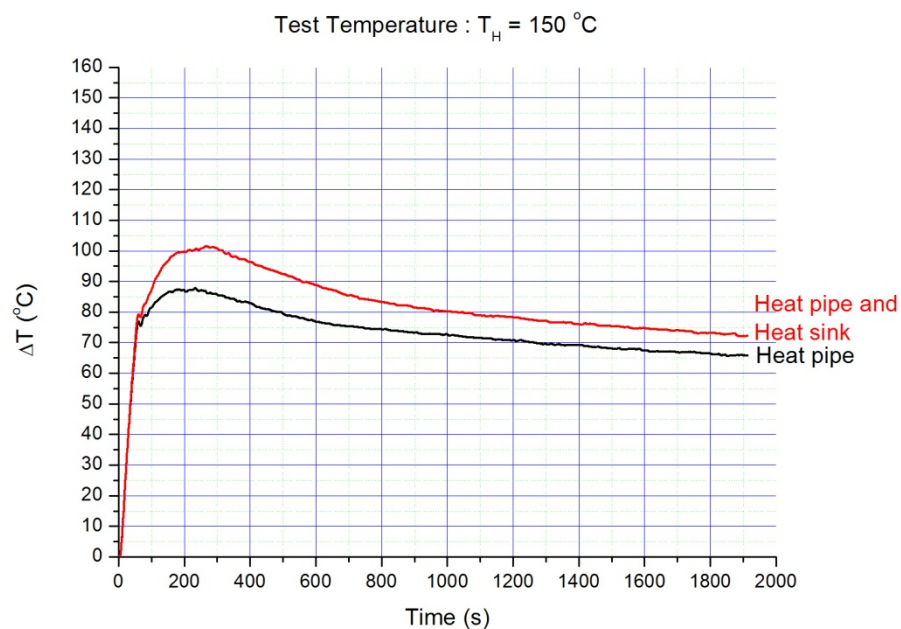
รูปที่ 4.16 ฮีทซิงค์

รูปที่ 14.6 แสดงลักษณะของฮีทซิงค์

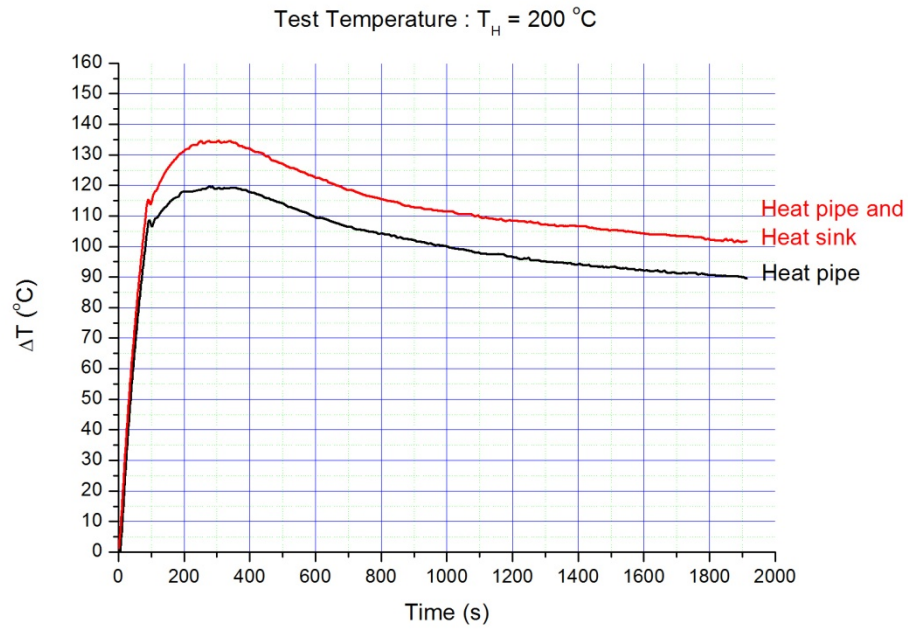
รูปที่ 14.6 แสดงลักษณะของฮีทซิงค์ซึ่งมีขนาดกว้าง 102 mm ยาว 93mm สูง 34.8 mm มีครีปทั้งหมด 10 ครีป แต่ละครีปหนา 2 mm ผู้วิจัยเลือกใช้อะลูมิเนียมเนื่องจากอะลูมิเนียมสามารถนำความร้อนได้ดี มีน้ำหนักเบา และราคาถูก



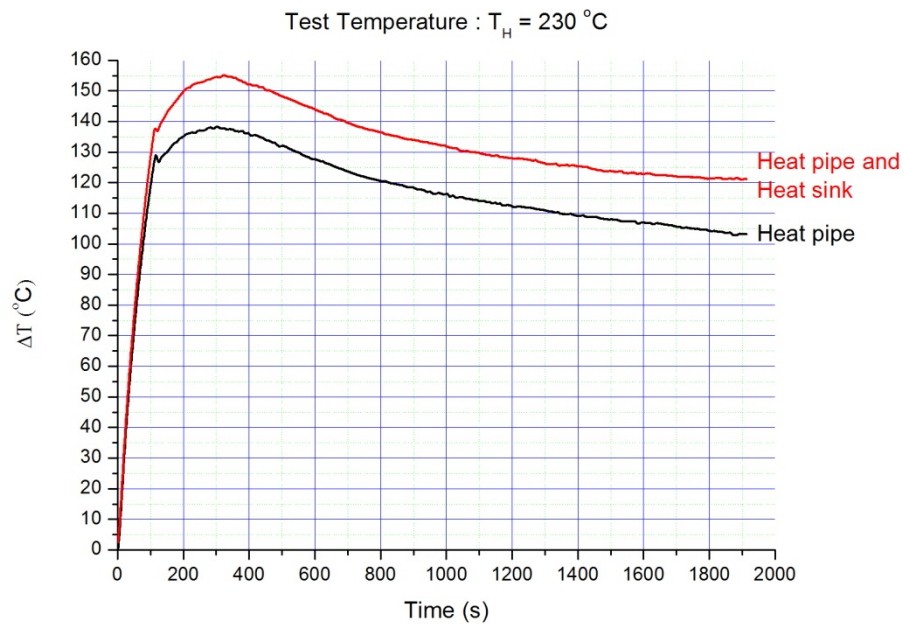
รูปที่ 4.17 ระบบระบายความร้อน โดยใช้โดยใช้อีทไปป์และฮีทซิงค์



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

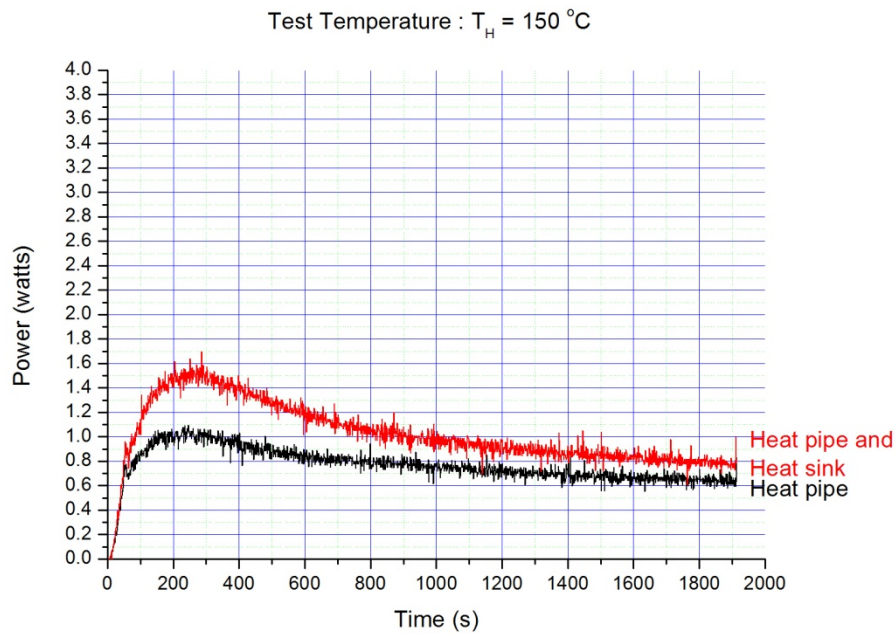


รูปที่ 4.19 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

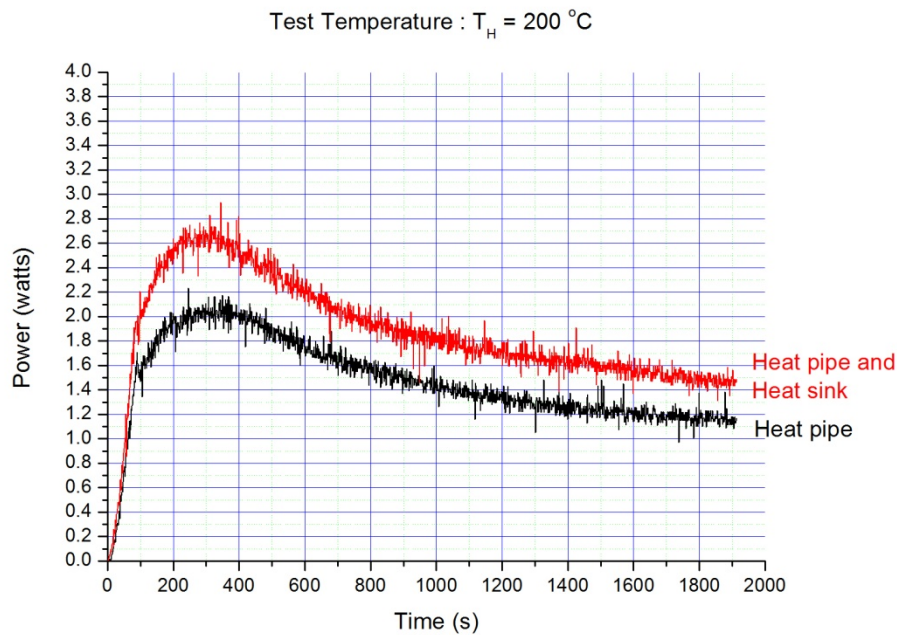


รูปที่ 4.20 ความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $230\text{ }^{\circ}\text{C}$

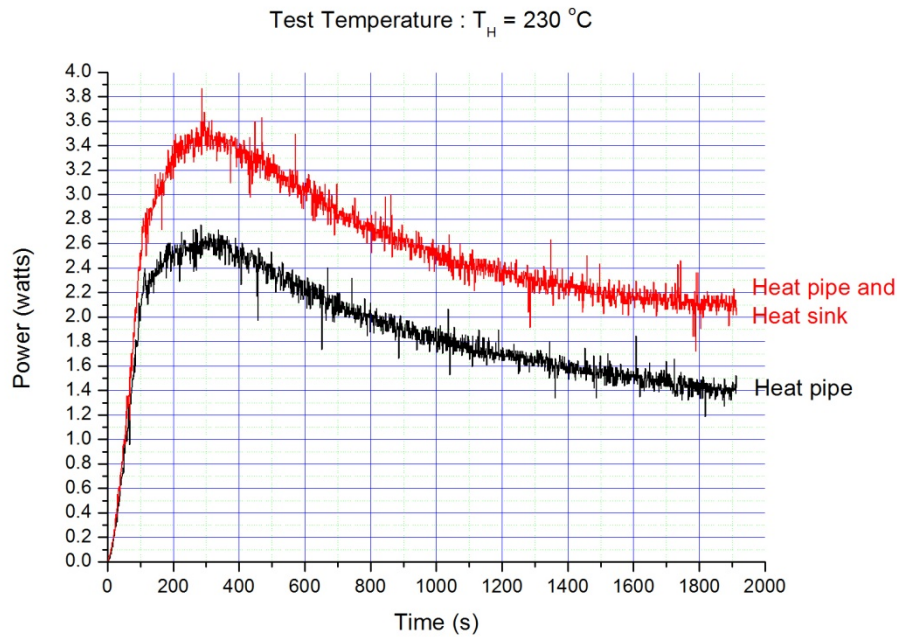
จากรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 พบว่า ระบบระบายความร้อนที่ใช้ฮีทไปป์เพียงอย่างเดียวมีค่าผลต่างอุณหภูมิน้อยกว่าระบบระบายความร้อนฮีทไปป์และฮีทซิงค์ เบื้องต้นผลต่างของอุณหภูมิจะมีค่าต่ำและค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากนั้นผลต่างอุณหภูมิจะลดลงเพียงเล็กน้อยและมีค่าเกือบคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 15 นาที



รูปที่ 4.21 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $230\text{ }^{\circ}\text{C}$

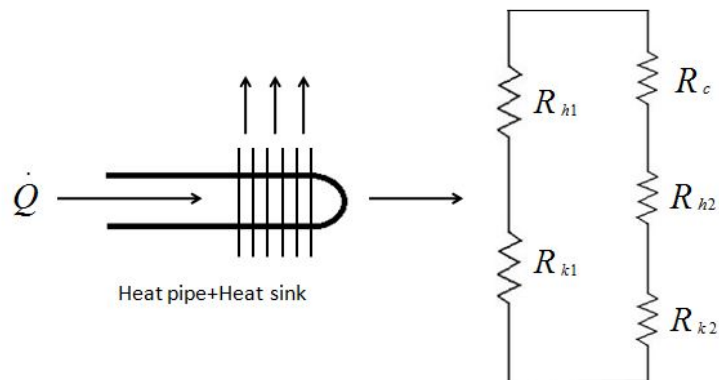


รูปที่ 4.22 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $230\text{ }^{\circ}\text{C}$



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

จากรูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 พบว่า ระบบระบายความร้อนที่ใช้ฮีทไปป์เพียงอย่างเดียวมีค่ากำลังไฟฟ้าน้อยกว่าระบบระบายความร้อนฮีทไปป์และฮีทซิงค์ เบื้องต้นกำลังไฟจะมีค่าต่ำและค่อยๆ เพิ่มขึ้น จากนั้นกำลังไฟฟ้าจะลดลงเพียงเล็กน้อยและมีค่าเกือบคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 15 นาที



รูปที่ 4.24 กำลังไฟฟ้า (Power) เมื่ออุณหภูมิด้านร้อน (T_H) เท่ากับ $230\text{ }^{\circ}\text{C}$

คำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่ได้เพื่อหาความต้านทานเชิงความร้อนระหว่างฮีทไปป์และฮีทซิงค์ ซึ่งการคำนวณนี้จะคิดค่าความต้านทานเชิงความร้อนเช่นเดียวกับความต้านทานแบบอนุกรมของระบบไฟฟ้า (รูปที่ 4.24)

นั่นคือ

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

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

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

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

ตารางที่ 4.3 ค่าที่วัดได้จากระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทไปป์กับระบบระบายความร้อนโดยใช้ฮีทซิงค์

	T_H (°C)	$T_{C(\text{STA})}$ (°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