



การศึกษาระบบที่นอนควบคุมอุณหภูมิ  
Study of Temperature Control Mattress



นางสาวชัชฎะพร อินทยา  
นางสาวธนิตา เพิ่มบุญมา  
นางสาวยุภาภรณ์ ทองชาวนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ปีการศึกษา 2563



## ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อโครงการ : การศึกษาระบบที่นอนควบคุมอุณหภูมิ  
Study of Temperature Control Mattress

ผู้ดำเนินโครงการ : นางสาวชัยฤษพร อินทยา รหัสนิต 60361019  
: นางสาวธนิดา เพิ่มบุญมา รหัสนิต 60362009  
: นางสาวยุภาภรณ์ ทองชานา รหัสนิต 60363884


อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุเมธ เหมะวัฒน์ชัย

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล


ปีการศึกษา : 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

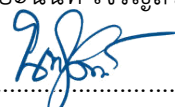
คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์

.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ผศ.ดร.สุเมธ เหมะวัฒน์ชัย)

.....กรรมการ

(รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ

(ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์)

หัวข้อโครงการ	: การศึกษาระบบที่นอนควบคุมอุณหภูมิ
ผู้ดำเนินโครงการ	: นางสาวชัยญะพร อินทยา รหัสนิต 60361019
	: นางสาวธนิดา เพิ่มบุญมา รหัสนิต 60362009
	: นางสาวยุภาภรณ์ ทองชานา รหัสนิต 60363884
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ผศ.ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัย
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2563

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับที่นอนปรับอุณหภูมิ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล (เพลเทียร์) เพื่อตั้งอุณหภูมิน้ำที่ต้องการ โดยทำการทดลองกับเพลเทียร์ทั้งหมด 2 ชนิด คือ TEC12706 และ TEC12712 ซึ่งมีการทดลอง 6 รูปแบบคือ รูปแบบที่ 1 ใช้เพลเทียร์ TEC12706 จำนวน 1 แผ่น ทำอุณหภูมิให้แก่ น้ำ มีการใช้ถังน้ำจำนวน 2 ถังคือถังน้ำร้อนและถังน้ำเย็นแบบหุ้มฉนวน รูปแบบที่ 2 ใช้เพลเทียร์ TEC12712 จำนวน 1 แผ่น ทำอุณหภูมิให้แก่ น้ำ มีการใช้ถังน้ำจำนวน 2 ถังคือถังน้ำร้อนและถังน้ำเย็นแบบหุ้มฉนวน รูปแบบที่ 3 ใช้เพลเทียร์ TEC12712 จำนวน 2 แผ่น โดยให้ถังน้ำร้อนเป็นแบบไม่หุ้มฉนวน และถังน้ำเย็นแบบหุ้มฉนวน รูปแบบที่ 4 และรูปแบบที่ 5 ใช้เพลเทียร์ชนิด TEC12712 จำนวน 2 แผ่น ทำอุณหภูมิแล้วจ่ายน้ำเย็นให้กับที่นอน รูปแบบที่ 6 ใช้เพลเทียร์ชนิด TEC12712 จำนวน 2 แผ่น ทำอุณหภูมิแล้วจ่ายน้ำร้อนให้กับที่นอน โดยการทดลองทั้งหมดมีการบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่จุดต่างๆเพื่อนำมาคำนวณหาค่าพลังงานที่ระบบทำได้ทั้งการดูดซับและปลดปล่อยโดยใช้สมการเพลเทียร์ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เพลเทียร์ส่งผลให้น้ำร้อนร้อนขึ้นและน้ำเย็นเย็นลง การเปลี่ยนชนิดของเพลเทียร์จาก TEC12706 เป็น TEC12712 ส่งผลให้ลดเวลาที่ใช้ในการทำอุณหภูมิที่ต้องการให้กับน้ำร้อนและน้ำเย็น เนื่องจากกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเพลเทียร์ TEC12712 มากกว่า จึงทำให้พลังงานที่ปลดปล่อยและพลังงานที่ดูดซับของเพลเทียร์มีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองรูปแบบที่ 4, 5 และ 6 พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิที่นอนให้เย็นลงหรือร้อนขึ้นได้

**Project title** : Study of Temperature Control Mattress

**Name** : Ms. Chaiyaphorn Inthaya ID. 60361019  
: Ms. Thanitha Permboonma ID. 60362009  
: Ms. Yuphapon Thongchaona ID. 60363884

**Project Advisor** : Dr. Sumet Heamawatanachai

**Academic Year** : 2020

---

### Abstract

This study aims to develop a water temperature control system by using thermoelectric modules (peltier) to set the desired water temperature. The experiments were performed with 2 types of peltier, TEC12706 and TEC12712, which consisted of 6 scenarios. Scenario 1: one plate of TEC12706 peltier was used to make the water temperature of two water tanks, insulated hot water tank and insulated cold water tank. Scenario 2: one plate of TEC12712 peltier was used to control the water temperature of two water tanks, insulated hot water tank and insulated cold water tank. Scenario 3: two plates of TEC12712 peltier were used, the hot water tank was non-insulated and the cold water tank was insulated. Scenario 4 and 5: use two plates of TEC12712 peltier to set the water temperature then supply the water to the mattress. Scenario 6: two sheets of TEC12712 peltier are used to heat the water and supply hot water to the mattress. For all experiments, temperature of water at various locations were recorded to calculate the energy that the system could absorb and release using the peltier equations. The results showed that when supplying electricity to peltier, hot water heats up and cold water cools down. The change of the peltier type from TEC12706 to TEC12712 resulted in a reduction in the time required to achieve the desired temperature for hot and cold water. As more current and voltage are supplied to the TEC12712 peltier, the release energy and absorbed energy of the

peltier are increased. For the experiments of scenario 4, 5 and 6, the results show that the developed system was able to increase or decrease the temperature of the mattress.



## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปฏิญานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยคามอนุเคราะห์อย่างดีจาก ผศ.ดร.สุเมธ hmeะวัฒน์ชัย เป็นที่ปรึกษาในการจัดทำปฏิญานิพนธ์ครั้งนี้ ซึ่งได้ให้ทั้งความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา แนวทางในการศึกษาหาข้อมูล รวมถึงตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ และ ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์ ที่คอยชี้แนะและให้ความกรุณาเป็นกรรมการในครั้งนี้

ขอขอบคุณ นายธนา เสมารัมย์ ที่ช่วยแนะนำแนวทางสำหรับปัญหาต่างๆ ในการจัดทำปฏิญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมความเที่ยงตรงและการแพทย์ (PMET) ที่ได้ให้ใช้สถานที่ในการทำงาน อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำสำหรับการจัดทำปฏิญานิพนธ์ครั้งนี้ ทำให้ปฏิญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบิดา มารดาและทุกคนในครอบครัวที่คอยอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู และคอยสนับสนุนให้กำลังใจในการจัดทำปฏิญานิพนธ์ครั้งนี้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากปฏิญานิพนธ์นี้ แต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้ปฏิญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง หากเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากปฏิญานิพนธ์นี้ คณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ โอกาสนี้

นางสาวชัยญะพร อินทยา

นางสาวธนิดา เพิ่มบุญมา

นางสาวยุภาภรณ์ ทองชานา

## สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 ขอบเขตของงานที่ศึกษา.....	4
1.4 ขั้นตอนแผนการดำเนินงาน.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์ (Thermoelectric effect).....	6
2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect).....	7
2.1.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect).....	10
2.1.3 หลักการทำงานของ Thermoelectric module (TEM).....	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2 การถ่ายเทความร้อน.....	14
2.2.1 การนำความร้อน (Conduction).....	15
2.2.2 การพาความร้อน (Convection).....	17
2.3 กฎความร้อนของ Joule.....	17
2.4 ความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง.....	18
2.5 วรรณกรรมปริทัศน์.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	26
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน.....	26
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการจัดทำ.....	27
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล.....	31
4.1 ผลการทดลอง.....	31
4.2 คำแนะนำหาสมการทำนายผลอุณหภูมิ.....	48
บทที่ 5 สรุป.....	51
เอกสารอ้างอิง.....	54



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก.....	56
ภาคผนวก ข.....	62
ภาคผนวก ค.....	66
ภาคผนวก ง.....	107
ภาคผนวก จ.....	135
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	139



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ ค.1 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12706 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 1 .....	67
ตารางที่ ค.2 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12706 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 2 .....	68
ตารางที่ ค.3 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12706 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 3 .....	69
ตารางที่ ค.4 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12712 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 1 .....	70
ตารางที่ ค.5 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12712 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 2 .....	71
ตารางที่ ค.6 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12712 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 3 .....	72
ตารางที่ ค.7 อุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำร้อนและน้ำเย็นขณะเปิดเพลเทียร์ TEC12712 โดยใช้เวลาทดลอง 60 นาที.....	73
ตารางที่ ค.8 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ.....	76
ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ.....	76
ตารางที่ ค.10 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำร้อน 50°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ.....	101

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 การวางเพลเทียร์กับบล็อกน้ำ .....	2
รูปที่ 1.2 รูปแบบที่นอน (ก) ภาพฉาย 3 มิติ (ข) ภาพฉายด้านบน (ค) ภาพฉายด้านข้าง .....	3
รูปที่ 2.1 การเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอน และโฟนอนในแท่งโลหะ .....	7
รูปที่ 2.2 การเกิดปรากฏการณ์ซีเบคในวัสดุที่ต่างกันสองอย่าง .....	8
รูปที่ 2.3 Single P-type material และ Single N-type material.....	8
รูปที่ 2.4 วงจรที่รวมองค์ประกอบ P และ N เข้าด้วยกัน .....	9
รูปที่ 2.5 หน่วยรวม P-N ในแกนกลางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกส์ .....	9
รูปที่ 2.6 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ใน N-type 1 ยูนิต และ ใน P-type 1 ยูนิต .....	10
รูปที่ 2.7 กระบวนการทำงานในเพลเทียร์.....	13
รูปที่ 2.8 การถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ .....	15
รูปที่ 2.9 การนำความร้อนของสารที่สถานะแตกต่างกัน.....	16
รูปที่ 2.10 ช่วงสภาพของการนำความร้อนในสภาวะต่างๆ ของสารที่อุณหภูมิและความดันปกติ .....	16
รูปที่ 2.11 แผนผังการทำความร้อน - เย็น ของ TMS.....	20
รูปที่ 2.12 แผนผังการทำความร้อน - เย็น ของ CRS.....	20
รูปที่ 2.13 รายละเอียดของบล็อกน้ำที่ฝังตัวอยู่ในโครงสร้างครีบที่แตกต่างกัน .....	21
รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของ CRS, TMS I และ TMS II.....	22
รูปที่ 2.15 ผังอุปกรณ์การทดลองปัจจุบันของตู้ทำน้ำเย็นร้อนกับระบบโมดูลเทอร์โม (TMS II).....	22
รูปที่ 2.16 ประสิทธิภาพและกระแสไฟ .....	25
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน .....	26
รูปที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการ .....	28
รูปที่ 4.1 การทดลองรูปแบบที่ 1 และ 2 .....	31
รูปที่ 4.2 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 1 .....	32
รูปที่ 4.3 กราฟพลังงานเพลเทียร์ของการทดลองรูปแบบที่ 1 .....	33
รูปที่ 4.4 กราฟพลังงานในน้ำของการทดลองรูปแบบที่ 1.....	33
รูปที่ 4.5 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 2 .....	34

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 กราฟพลังงานเพลเทียร์ของการทดลองรูปแบบที่ 2.....	35
รูปที่ 4.7 กราฟพลังงานในน้ำของการทดลองรูปแบบที่ 2.....	35
รูปที่ 4.8 การทดลองรูปแบบที่ 3.....	36
รูปที่ 4.9 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 3.....	37
รูปที่ 4.10 กราฟพลังงานความร้อนในน้ำ และพลังงานเพลเทียร์ของการทดลองรูปแบบที่ 3.....	37
รูปที่ 4.11 การทดลองรูปแบบที่ 4.....	38
รูปที่ 4.12 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 4.....	39
รูปที่ 4.13 กราฟอุณหภูมิต่อน้ำของการทดลองรูปแบบที่ 4.....	40
รูปที่ 4.14 กราฟพลังงานของการทดลองรูปแบบที่ 4.....	41
รูปที่ 4.15 การทดลองรูปแบบที่ 5.....	42
รูปที่ 4.16 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 5.....	42
รูปที่ 4.17 กราฟอุณหภูมิต่อน้ำของการทดลองรูปแบบที่ 5.....	43
รูปที่ 4.18 กราฟพลังงานของการทดลองรูปแบบที่ 5.....	44
รูปที่ 4.19 การทดลองรูปแบบที่ 6.....	45
รูปที่ 4.20 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 6.....	46
รูปที่ 4.21 กราฟอุณหภูมิต่อน้ำของการทดลองรูปแบบที่ 6.....	46
รูปที่ 4.22 กราฟพลังงานของการทดลองรูปแบบที่ 6.....	47
รูปที่ ก.1 การทดลองศึกษาพฤติกรรมเพลเทียร์ TEC12706.....	57
รูปที่ ก.2 ฉนวนหุ้มท่อน้ำฝิ่งน้ำเย็นจากเพลเทียร์.....	57
รูปที่ ก.3 ฉนวนหุ้มท่อน้ำทั้งสองฝั่ง.....	58
รูปที่ ก.4 ต่อเพลเทียร์ TEC12706 2 แผ่น ทดสอบระดับน้ำ 0.5 - 1 ลิตร.....	58
รูปที่ ก.5 การทดลองต่อเพลเทียร์ TEC12706 2 แผ่น เพิ่มถึงเปิด.....	59
รูปที่ ก.6 ใช้แก้วยัดที่ด้านน้ำเย็น 0.9 ลิตร ด้านน้ำร้อนใช้ถึงเปิด 6 ลิตร ใช้เวลา 2 ชั่วโมง.....	59
รูปที่ ก.7 ใช้บล็อกน้ำประกบด้านเพลเทียร์ TEC12706 2 แผ่น (1) การประกอบระบบเพลเทียร์ (2) ทางออกน้ำร้อนและเย็นด้านเดียวกัน.....	60

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.8 ทดสอบการทำความร้อนและเย็นของเพลเทียร์ TEC12706 1 แผ่น โดยใช้ระบบปิด.....	60
รูปที่ ก.9 ทดสอบการทำความร้อนและเย็นของเพลเทียร์ TEC12712 1 แผ่น	
โดยเปลี่ยนถังเก็บน้ำเย็นเป็นกระบอกสุญญากาศ และใช้ระบบปิดเพียงด้านเย็นด้านเดียว .....	61
รูปที่ ก.10 การปิดฝากระบอกสุญญากาศ (1) ด้านข้าง (2) ด้านบน .....	61
รูปที่ ข.1 ที่นอนที่ใช้ในการทดลอง (1) ฉนวนด้านล่างท่อน้ำ (2) การวางท่อน้ำ (3) ด้านบนที่นอน..	63
รูปที่ ข.2 การติดตั้งระบบจ่ายน้ำให้แก่ที่นอน .....	64
รูปที่ ข.3 ทดลองใช้เบาะวางทับด้านบนที่นอน ขณะจ่ายให้ให้กับที่นอน .....	65
รูปที่ ง.1 การเก็บบันทึกข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์ .....	108
รูปที่ ง.2 จุดวัดอุณหภูมิในที่นอน .....	108
รูปที่ ง.3 ปรับปรุงโค้ดตัวอย่างในโปรแกรม Arduino .....	116
รูปที่ ง.4 แผนผังระบบควบคุมการทำอุณหภูมิ (1) ส่วนที่ 1 (2) ส่วนที่ 2 (3) ส่วนที่ 3 .....	117
รูปที่ ง.5 ทดสอบการทำงานระบบควบคุม .....	121
รูปที่ ง.6 ศึกษาการทำงานของฟังก์ชัน xlsread ในโปรแกรม MATLAB .....	122
รูปที่ ง.7 ผลการคำนวณและสร้างกราฟผ่าน MATLAB .....	123
รูปที่ จ.1 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ Type I .....	136
รูปที่ จ.2 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ Type II .....	137
รูปที่ จ.3 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ Type III .....	138

# บทที่ 1

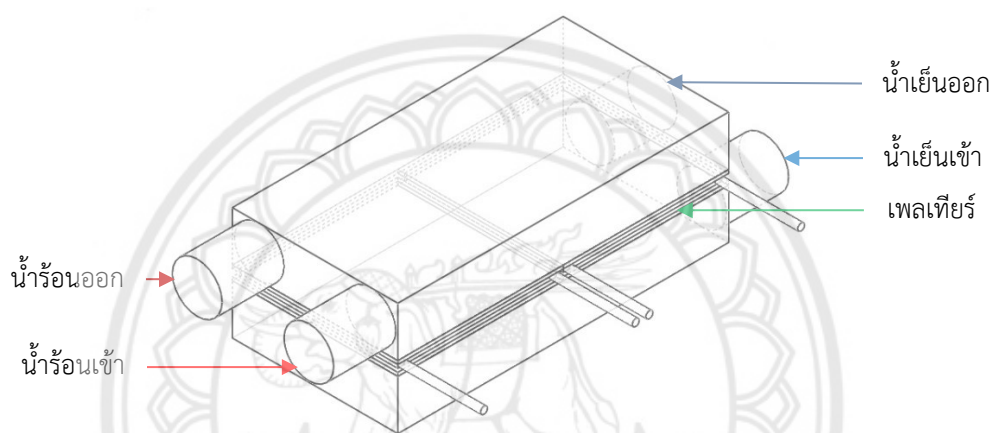
## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีในการอำนวยความสะดวกให้กับผู้ที่ต้องการมีสุขภาพที่ดี ซึ่งหนึ่งในเรื่องสำคัญก็คือการนอนหลับ คนเราใช้เวลาอย่างน้อยเกือบ 1 ใน 3 ของชีวิตหมดไปกับการนอน ร่างกายขณะนอนหลับมีความแตกต่างจากขณะร่างกายตื่นหลายประการ ในขณะที่คนเรานอนหลับ ร่างกายจะเกิดการซ่อมแซมร่างกายและสมองให้คืนสภาพหลังใช้งานให้กลับมาเป็นปกติ, เก็บรักษาหรือถนอมพลังงานในร่างกาย, ปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมภายนอก, ช่วยรวบรวมและบันทึกความทรงจำ, รักษาสุขภาพของสมองและประสาท, รักษาภูมิคุ้มกันของร่างกายให้แข็งแรงและทนทานต่อภัยจากภายนอก [3] จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาทำให้เห็นถึงความสำคัญอีกประการหนึ่งในการนอนหลับก็คือ ควรมีที่นอนที่ให้ความสบายขณะนอนหลับ ซึ่งอุณหภูมิของที่นอนเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญกับคุณภาพการนอน การพัฒนาที่นอนปรับอุณหภูมิให้สามารถทำความเย็นหรือความร้อนได้ เป็นหัวข้อที่น่าสนใจในการศึกษาด้านวิศวกรรมการแพทย์

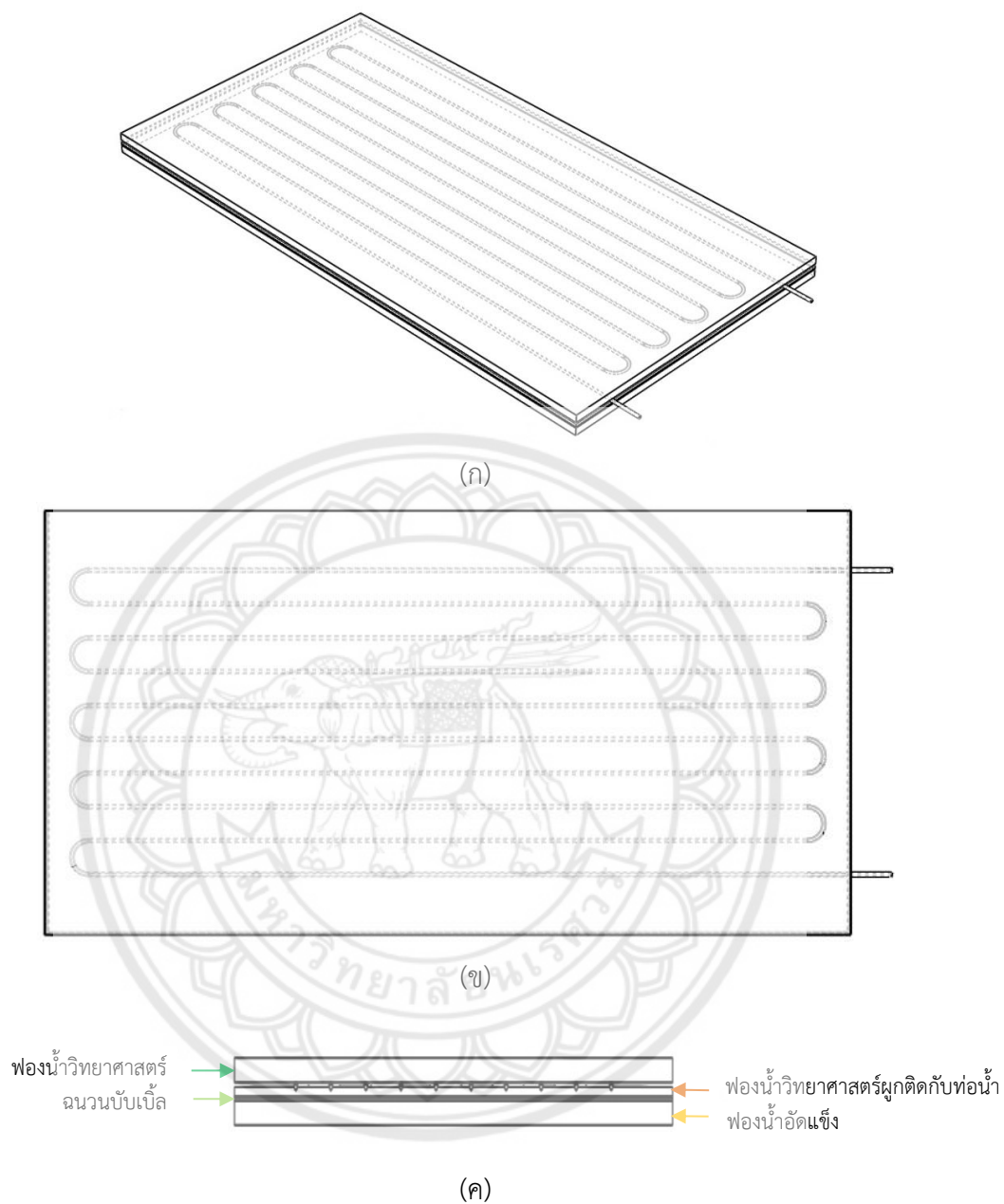
สำหรับระบบควบคุมอุณหภูมินี้มีหลายเทคโนโลยี โดยเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลหรือที่ทราบกันในชื่อแผ่นเพลเทียร์นั้น ก็เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจในการนำไปใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ เพราะการทำความร้อนและเย็นของแผ่นเพลเทียร์นั้น ไม่จำเป็นต้องใช้คอมเพรสเซอร์หรือส่วนที่เป็นกลไกขับเคลื่อนใดๆ และไม่ต้องใช้สารทำความเย็น เช่น สารทำความเย็นชนิด R32 R22 และ R410A เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากการทำความร้อนและเย็นที่เกิดขึ้นนั้น มาจากการให้ไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปเหนี่ยวนำให้อิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำให้เคลื่อนที่พร้อมกับแลกเปลี่ยนความร้อนไปด้วย ซึ่งเป็นข้อดีของการทำความเย็นประเภทนี้เพราะใช้เวลาทำความเย็นไม่นานก็จะสามารถได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ อีกทั้งแผ่นเพลเทียร์นี้ยังไปใช้งานได้หลากหลายอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของงานนี้ เป็นการศึกษาพัฒนาและทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำสำหรับจ่ายให้ที่นอนปรับอุณหภูมิ ดังรูปที่ 1.1 และ 1.2 โดยมีการหาสมการเพื่อทำนายและประมาณผลค่าอุณหภูมิความเย็นและความร้อนที่ได้จากการทำงานของแผ่นเพลเทียร์ เพื่อจะนำมาใช้ประโยชน์ในการควบคุมอุณหภูมิให้กับที่นอน และทดสอบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมอุณหภูมิในที่นอน โดยรูปแบบการวางแผ่นเพลเทียร์กับบล็อกน้ำเป็นดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การวางเพลเทียร์กับบล็อกน้ำ

จากรูปที่ 1.1 มีการใช้เพลเทียร์ จำนวน 2 แผ่น ประกบด้วยบล็อกน้ำขนาด 40x80 mm. จำนวน 2 บล็อก โดยด้านบนประกบด้วยบล็อกน้ำร้อน และทั้งด้านล่างประกบด้วยบล็อกน้ำเย็น และมีรูปแบบการวางที่นอนเป็นดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 รูปแบบที่นอน (ก) ภาพฉาย 3 มิติ (ข) ภาพฉายด้านบน (ค) ภาพฉายด้านข้าง

โดยรูปที่ 1.2 แสดงแบบจำลองที่นอนปรับอุณหภูมิขนาด 3.5 ฟุต ซึ่งด้านล่างสุดของที่นอนเป็นวัสดุพองน้ำอัดแข็ง ถัดขึ้นมาเป็นฉนวนบับเบิล แผ่นพองน้ำวิทยาศาสตร์หนา 1 เซนติเมตร ที่มีท่อน้ำผูกติดกับแผ่น และด้านบนสุดของที่นอนเป็นพองน้ำวิทยาศาสตร์หนา 2.54 เซนติเมตร



## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการสร้างพลังงานความร้อนในแผ่นเพลเทียร์

1.2.2 เพื่อออกแบบทดลองสมการเพลเทียร์เพื่อนำไปคำนวณหาอุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำร้อนที่ได้จากการทำงานของแผ่นเพลเทียร์

1.2.3 เพื่อทำการทดลองและศึกษาการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนของแผ่นเพลเทียร์ มาใช้ในการปรับอุณหภูมิให้กับที่นอนควบคุมอุณหภูมิ

## 1.3 ขอบเขตของงานที่ศึกษา

เป็นการศึกษาระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้แผ่นเพลเทียร์รุ่น TEC12706 และ TEC12712 และมีการทดสอบกับที่นอน 1 ชุด เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน และทำ ความเย็นที่เหมาะสม โดยใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิและการจ่ายน้ำให้กับที่นอน ทำการวิเคราะห์ พลังงานที่เพลเทียร์สามารถทำได้

## 1.4 ขั้นตอนแผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2563										2564			
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษาทฤษฎี รวมถึงข้อมูล รายละเอียด ต่างๆ ของงานวิจัยที่ เกี่ยวข้อง														
2.ทำการทดลอง														
3.คำนวณผล การทดลอง														
4.เปรียบเทียบ วิเคราะห์ผล การทดลองกับ ทฤษฎีและทดสอบ ที่นอน														
5.วิเคราะห์ผล ข้อมูล														
6.สรุปผลและ จัดทำรายงาน														

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ระบบควบคุมอุณหภูมิและปริมาณน้ำสำหรับการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนของน้ำกับเพลเทียร์ แล้วนำมาจ่ายให้กับที่นอน

1.5.2 ได้สมการทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระบบควบคุมอุณหภูมิให้กับที่นอน

## บทที่ 2

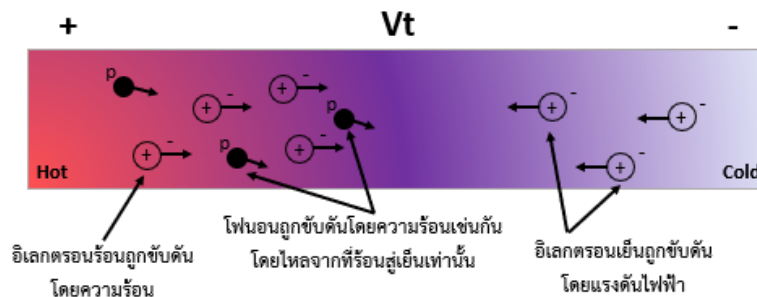
### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์ (Thermoelectric effect) [13]

พลังงานความร้อนในของแข็งจะมีการถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำโดยการสั่นสะเทือนของโครงสร้างภายในของของแข็ง ในเชิงควอนตัมฟิสิกส์ความสั่นสะเทือนนี้เรียกว่าโฟนอน (phonon) ในวัสดุหลายชนิดความร้อนจะถ่ายเทด้วยโฟนอน ซึ่งโทมัส โยฮานซีเบค (Thomas Johaan Seebeck) ได้ค้นพบปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์ (Thermoelectric effect หรือ TE) โดยในโลหะหลายชนิดความร้อนส่วนหนึ่งสามารถถ่ายเทได้ด้วยประจุไฟฟ้าที่เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ (free electrons)

กลไกการเกิดปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในโลหะดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าโฟนอนมีการเคลื่อนที่จากบริเวณร้อนไปสู่บริเวณที่เย็น แต่อิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้ในสองทิศทางโดยอิเล็กตรอนกลุ่มแรก หรือเรียกว่าอิเล็กตรอนร้อน จะเคลื่อนที่จากบริเวณร้อนไปสู่บริเวณที่เย็นเนื่องจากถูกขับเคลื่อนโดยพลังงานความร้อนที่ได้รับ ในทำนองเดียวกันกับอากาศที่ร้อนจะลอยตัวสูงกว่าอากาศที่เย็น

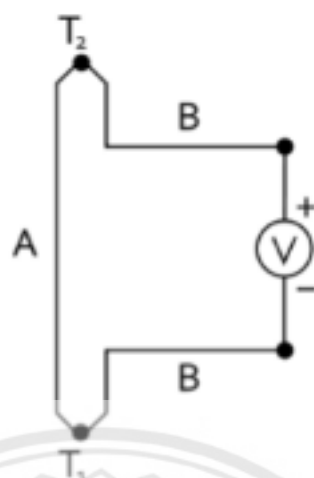
การสะสมของอิเล็กตรอนร้อนจะทำให้อุณหภูมิในเขตเย็นสูงขึ้นและก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้า ( $V_T$ ) ระหว่างเขตร้อนที่เป็นขั้วบวกและเขตเย็นที่เป็นขั้วลบแรงดันจะทำให้เกิดกระแสของอิเล็กตรอนเย็น ส่วนอีกกลุ่มที่ไหลเวียนกลับสู่เขตร้อนในกรณีนี้เห็นได้ว่าความไม่สมดุลของอุณหภูมินั้นเป็นเหตุให้เกิดแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอน และโฟนอนในแท่งโลหะ

ในทางกลับกันแรงดันไฟฟ้าสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดความไม่สมดุลของอุณหภูมิด้วย โดยสามารถใช้แหล่งไฟฟ้าจากภายนอก เช่น แบตเตอรี่ไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าภายในแท่งโลหะ ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะนำพาความร้อนและทำให้อุณหภูมิที่ขั้วลบของแท่งโลหะลดลงในขณะที่ขั้วบวกนั้นกลับสูงขึ้นทำให้ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์ประกอบไปด้วย 3 ปรากฏการณ์หลัก คือ ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) และปรากฏการณ์ทอมป์สัน (Thompson effect)

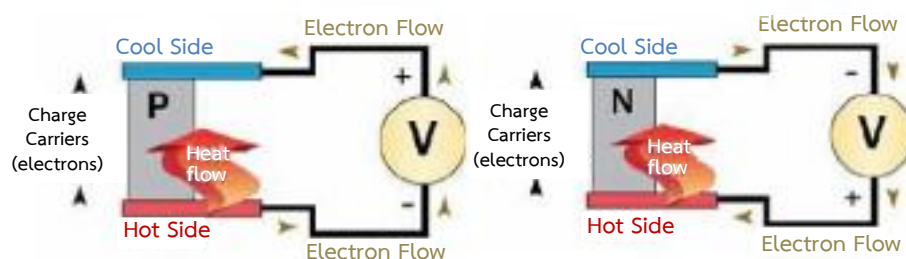
2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) เป็นปรากฏการณ์ซีเบคถูกค้นพบโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันที่ชื่อ โทมัสโยฮานซีเบค โดยประโยชน์หลักของปรากฏการณ์นี้ก็คือการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกส์ (Thermoelectric generators) ในปรากฏการณ์ซีเบคสามารถอธิบายได้ว่าทำไมเทอร์โมอิเล็กทริกส์ให้กำเนิดไฟฟ้าได้ เมื่อมีความต่างกันของอุณหภูมิ ในเซลล์ที่เปิดจะเกิดการสร้างประจุไฟฟ้าในเซลล์ที่ปิด ขยายความได้ว่าความต่างศักย์ของอุณหภูมิจะเกิดขึ้นได้ในช่องว่างระหว่างวัสดุสองชนิด ตัวอย่างเช่นวัสดุ A และวัสดุ B วัสดุที่ต่างกันจะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) ต่างกันและจะส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเกิดปรากฏการณ์ซีเบคในวัสดุที่ต่างกันสองอย่าง

เมื่อความต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างตัวนำทั้งสองชนิดจะเกิดการส่งผ่านของพลังงานความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นซึ่งพลังงานความร้อนจะเป็นตัวนำไฟฟ้า ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของประจุไฟฟ้า โดยจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับการถ่ายความร้อน จากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้านี้ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในระบบหากวงจรไฟฟ้าสมบูรณ์

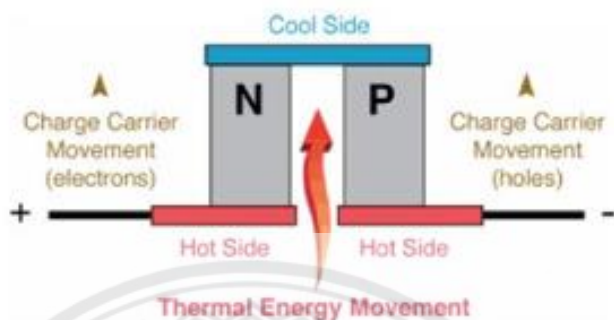
ตัวนำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกส์แบบ P-type จะเคลื่อนที่จากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็น ซึ่งการเคลื่อนที่นี้จะทำให้เกิดความต่างศักย์ซีเบค ส่วน N-type เหมือนกันกับ P-type แตกต่างที่ทิศของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ไป ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Single P-type material และ Single N-type material

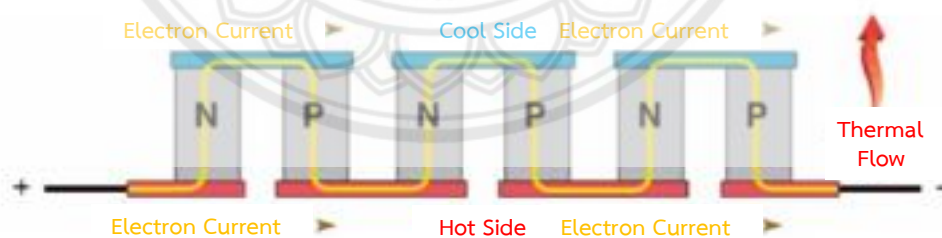
การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนถูกกำหนดให้เคลื่อนที่เป็นวงจรขั้ว เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกส์มักจะรวม P และ N ไว้ในส่วนแกนกลางของยูนิท ในการเคลื่อนที่ที่จะเคลื่อนผ่าน

ด้านร้อนสู่ด้านเย็น จากนั้นจึงเป็นด้านเย็นสู่ด้านร้อนแล้ววนกลับมาที่ด้านร้อนสู่ด้านเย็นอีกที จากการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรที่รวมองค์ประกอบ P และ N เข้าด้วยกัน

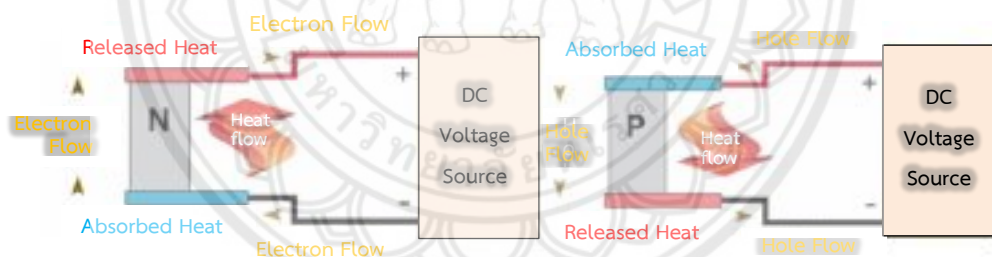
ในทางปฏิบัติหากว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด จะต้องประกอบด้วยเซลล์ P และ N เป็นคู่ จำนวนมากดังรูปที่ 2.5 ในหนึ่งหน่วยทั่วไปจะประกอบไปด้วย 127 หน่วยหรือมากกว่าสำหรับ P และ N thermocouple เพื่อช่วยให้ความต่างศักย์ซีเบคมากพอที่จะสามารถนำไปใช้งานได้



รูปที่ 2.5 หน่วยรวม P-N ในแกนกลางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก

2.1.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) เป็นปรากฏการณ์เพลเทียร์ถูกเรียกตามชื่อของนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสที่ชื่อ จีน ชาร์ล แอทานาส เพลเทียร์ (Jean Charles Athanase Peltier) ที่ค้นพบปรากฏการณ์นี้ หลักการของปรากฏการณ์เพลเทียร์คือ เมื่อวงจรไฟฟ้าที่ประกอบไปด้วยวัสดุสองชนิดและความต่างศักย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ด้านตรงข้ามวงจรไฟฟ้าหรือด้านที่ติดกับวัสดุทั้งสองชนิดจะดูดซับความร้อนและคายความร้อนขึ้น โดยศักยภาพของขั้ว N-P เป็นสิ่งที่กำหนดว่าด้านใดจะเป็นด้านที่ดูดซับ และด้านใดจะเป็นด้านที่ปลดปล่อยความร้อนหรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า ความต่างศักย์ที่จะเป็นตัวที่กำหนดการดูดซับความร้อน

ปรากฏการณ์เพลเทียร์และปรากฏการณ์ซีเบคมีความคล้ายคลึงกัน เนื่องจากปรากฏการณ์ทั้งสองปรากฏการณ์มีค่าคงที่ที่สามารถระบุความต่างของวัสดุได้ โดยผลลัพธ์ของปรากฏการณ์เพลเทียร์แสดงความร้อนที่ถูกถ่ายเทต่อยูนิตในวัสดุที่ถ่ายออก ดังรูปที่ 2.6 โดยการถ่ายเทต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอระหว่างช่องว่างของวัสดุ เมื่อความร้อนมาถ่ายเทรวมกันแล้วจะเริ่มพัฒนาความไม่ต่อเนื่อง ถ้าค่าของเพลเทียร์ในวัสดุ A และ B แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามปริมาณความร้อนทั้งสองวัสดุจะไม่ต่างกันมากนักในปรากฏการณ์นี้



รูปที่ 2.6 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ใน N-type 1 ยูนิต และ ใน P-type 1 ยูนิต

อย่างไรก็ตามการใช้งานหลักของปรากฏการณ์นี้เป็นการใช้งานสำหรับทำความเย็น (thermoelectric cooling) เช่น ตู้กดน้ำ ซึ่งระบบนี้จะมีขนาดเล็กเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้ระบบอื่นๆ เพื่อช่วยในการทำความเย็น

### 2.1.3 หลักการทำงานของ Thermoelectric module (TEM)

กระบวนการที่เกิดขึ้นใน TEM มี 5 กระบวนการ คือ [9]

(a) การนำความร้อน (Thermal conduction) เป็นปรากฏการณ์ที่อธิบายโดยค่าคงที่การนำความร้อน  $k$  (W/K·m) ซึ่งจะถูกกำหนดโดยการนำความร้อนและรูปทรงเรขาคณิตขนาดเล็กลง โดยที่  $\theta$  (1.95 K/W) [5] คือ ความต้านทานความร้อนทั้งสองฝั่งของ TEM

$$\theta = \frac{1}{kA} h \quad (1)$$

$$q_{cond} = \frac{\Delta T}{\theta} \quad (2)$$

เมื่อ

$\frac{h}{A}$  คือ สัดส่วนของความหนาเทียบกับพื้นที่

$h$  คือ ความหนาของแผ่นเพลเทียร์ (m)

$A$  คือ พื้นที่การระบายความร้อน (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  คือ ค่าความต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนกับด้านเย็น (K)

$q$  คือ พลังงานความร้อน (W)

(b) ความร้อนจูล (Joule heating) คือ กระบวนการทางฟิสิกส์ของการกระจายความร้อนบนองค์ประกอบที่มีความต้านทาน ความต้านทานไฟฟ้า ( $R$ ) ของทั้งสองฝั่งของ TEM คือ

$$R = \rho \frac{h}{A} \quad (3)$$

$$q_j = I^2 R \quad (4)$$

เมื่อ  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของวัสดุ ( $\Omega \cdot m$ )

$q_j$  คือ ความร้อนจากการเดินทางของกระแสไฟฟ้า (W)

$I$  คือ กระแสไฟฟ้า (A)



(c) Peltier cooling/heating เป็นปรากฏการณ์ของการดูดหรือปลดปล่อยของความร้อน ระหว่าง pellet เมื่อกระแสไหลผ่าน pellet ความร้อน  $q_p$  จะดูดซับและปลดปล่อยความร้อนโดยรอยเชื่อม คือ

$$q_p = \pi \cdot I \quad (5)$$

เมื่อ  $\pi$  คือ แรงดันไฟฟ้า ค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเพลเทียร์ที่สอดคล้องกับคูเฉพาะของวัสดุ (V)

(d) การผลิตพลังงานไฟฟ้า Seebeck เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อน หรือทำความเย็นของข้อต่อสองวัสดุที่ต่างกันจะสร้างศักย์ไฟฟ้าขึ้น

$$\pi = \alpha T \quad (6)$$

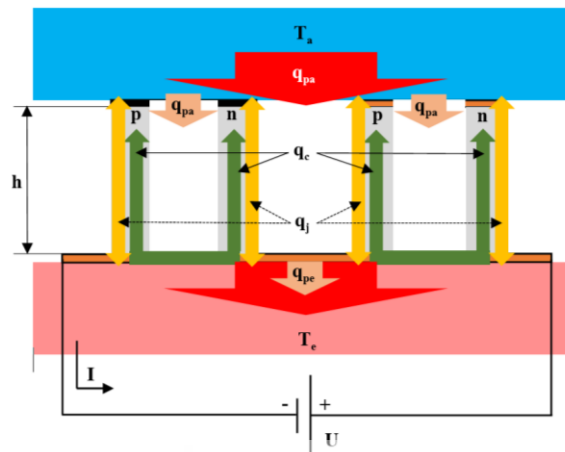
เมื่อ  $\alpha$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Seebeck (0.053 V/K) ซึ่งเป็นปัจจัยของแรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิ

ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการเชื่อมต่อระหว่างสอง pellet คือ

$$U = \alpha \Delta T \quad (7)$$

(e) ปรากฏการณ์ Thompson เป็นปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์เพิ่มเติมอธิบายโดยค่าสัมประสิทธิ์ของ Thompson  $\tau = \frac{d\alpha}{dT}$  (V/K<sup>2</sup>) ผลกระทบของปรากฏการณ์นี้มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นจึงถูกละทิ้งในงานนี้

จากหลักการที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กระบวนการทำงานในเพลเทียร์

เมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเพลเทียร์ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่าน P-Type และ N-Type ที่มีความต้านทานทำให้เกิดความร้อนจูล ( $q_j$ ), เกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์ที่เป็นส่วนกลับของปรากฏการณ์ seebeck ทำให้เพลเทียร์ด้านร้อน ( $q_{pe}$ ) ร้อนขึ้นและเพลเทียร์ด้านเย็น ( $q_{pa}$ ) เย็นลง เพลเทียร์ทั้งสองด้านจะมีความต่างของอุณหภูมิแล้วเกิดการ Conduction ( $q_c$ ) ระหว่างพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูง ( $T_e$ ) ไปยังพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำ ( $T_o$ )

ด้านของเพลเทียร์ที่มีการดูดซับความร้อน (ด้านเย็น) เกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์ของด้านเย็นที่เพลเทียร์ดูดซับทำให้อุณหภูมิต่ำเข้าสู่เพลเทียร์ และเกิดปรากฏการณ์เดียวกันในด้านร้อนจึงอุณหภูมิสูงขึ้น มีพลังงานความร้อนจากด้านร้อนถ่ายเทสู่ด้านเย็นออกจากเพลเทียร์ จากการที่กระแสไหลจะเกิดความร้อน และมีการกระจายพลังงานความร้อนจูลไปสู่ทั้งสองด้านของเพลเทียร์ จึงได้สมการพลังงานความร้อนที่แผ่นเพลเทียร์ดูดซับ คือ

$$q_o = \alpha T_o I - \frac{T_e - T_o}{\theta} - \frac{I^2 R}{2} \quad (8)$$

ด้านของเพลเทียร์ที่มีการปลดปล่อยความร้อน (ด้านร้อน) เกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์ของด้านร้อนที่เพลเทียร์ปลดปล่อยทำให้อุณหภูมิสูงเข้าสู่เพลเทียร์ และเกิดปรากฏการณ์เดียวกันในด้านเย็นจึงอุณหภูมิต่ำลง มีพลังงานความร้อนจากด้านร้อนถ่ายเทสู่ด้านเย็นออกจากเพลเทียร์ จากการที่

กระแสไหลจะเกิดความร้อน และมีการกระจายพลังงานความร้อนจูลไปสู่ทั้งสองด้านของเพลเทียร์ จึงได้สมการพลังงานความร้อนที่แผ่นเพลเทียร์ปลดปล่อย คือ

$$q_e = \alpha T_e I - \frac{T_e - T_a}{\theta} + \frac{I^2 R}{2} \quad (9)$$

ปริมาณพลังงานความร้อนที่ของเหลวสามารถกักเก็บความร้อนขึ้นอยู่กับความจุความร้อนจำเพาะของของเหลว มวลของน้ำ และความต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้าย ซึ่งในการทดลองนี้ของเหลวคือ น้ำ และมีตัวแปรของเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องจึงทำให้ปริมาณพลังงานความร้อนมีหน่วยคือ จูล (J) เปลี่ยนเป็นอัตราความร้อนมีหน่วยคือวัตต์ (W) จึงได้สมการอัตราความร้อนที่ทำให้ น้ำเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลา คือ

$$q = \frac{mc\Delta T}{\Delta t} \quad (10)$$

โดยที่	$q$	คือ อัตราความร้อนที่ใช้ในการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิ (W)
	$m$	คือ มวลของน้ำ (kg)
	$c$	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4,187 J/kg·K) [4]
	$\Delta T$	คือ ความต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นกับอุณหภูมิสุดท้าย
	$\Delta t$	คือ ความต่างระหว่างเวลาเริ่มต้นกับเวลาสุดท้าย

## 2.2 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนเป็นการส่งผ่านพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิโดยที่มีวัสดุสองชนิดหรือตัวกลางเกิดช่องว่างระหว่างอุณหภูมิขึ้น จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนมีรูปแบบต่างกันโดยจะขึ้นอยู่กับตัวกลางหรือสื่อความร้อนนั้นๆ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้น (Temperature gradient) ในตัวกลางที่อยู่นิ่ง เช่น ของแข็งหรือของไหล รูปแบบของการถ่ายเทความร้อนจะเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านโมเลกุลของตัวกลางจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็น กระบวนการนี้เรียกว่าการนำความร้อน (Conduction) เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นระหว่างผิว และการเคลื่อนที่ของของไหลเมื่ออุณหภูมิต่างกันจะเรียกการถ่ายเท

ความร้อนนี้ว่าการพาความร้อน (Convection) สุดท้ายสสารที่มีอุณหภูมิจะปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และแผ่ออกไปรอบๆ ทำให้เกิดพลังงานความร้อนแพร่กระจายออกจากสสารที่มีความร้อนไปสู่บริเวณโดยรอบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ [14]

2.2.1 การนำความร้อน (Conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลางที่บดแข็งสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการส่งความร้อนผ่านโมเลกุลตัวกลาง ทัวไปแล้วการนำความร้อนจะเกิดขึ้นในตัวกลางที่เป็นของแข็งมากกว่าของเหลว และแก๊ส เนื่องจากในของเหลวและแก๊สมีการหมุนเวียนของโมเลกุลตลอดเวลา

การนำความร้อนสามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$\text{Rate of conduction} \propto \frac{(\text{area})(\text{Temperature difference})}{\text{Thickness}}$$

$$q_{\text{cond}} \propto A \frac{dT}{dx} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (11)$$

เมื่อ	$q_{\text{cond}}$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (W)
	$A$	คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน ( $\text{m}^2$ )
	$T$	คือ อุณหภูมิ (K)
	$x$	คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (m)

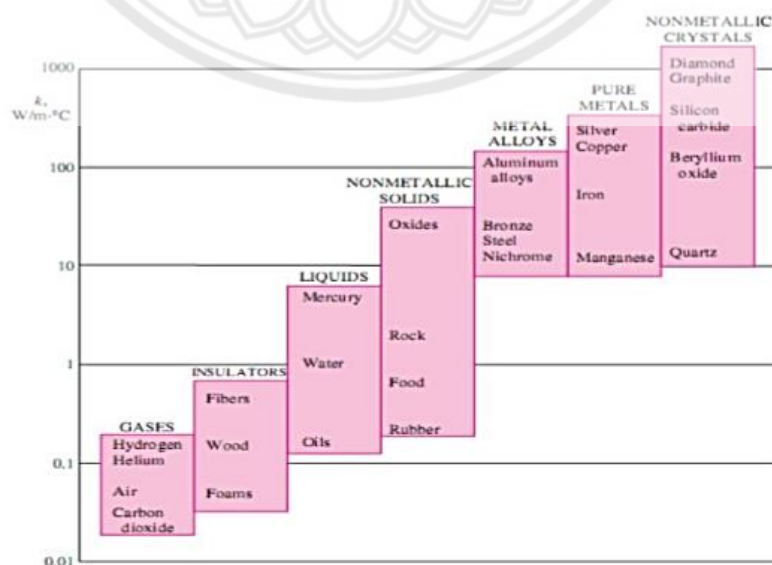
โดยที่ค่า  $k$  คือ คุณสมบัติในการนำความร้อนของวัตถุใดๆ มีหน่วยเป็น  $\text{W/m}\cdot\text{K}$  ซึ่งสมการการคำนวณค่าของการนำความร้อนมาจากกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's law of

Conduction) ได้อธิบายถึงเครื่องหมายลบเอาไว้ในกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกซึ่งระบุไว้ว่าความร้อนจะเคลื่อนที่จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่เนื่องจากความลาดชันของอุณหภูมิจะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ซึ่งหากต้องการให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไหลไปในทิศทางที่เป็นบวกจึงต้องเติมเครื่องหมายลบเข้าไปในสมการเพื่อหักล้างกัน

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยตัวอย่าง เช่น รูปทรงความหนา และวัสดุที่ใช้ในการทำตัวกลาง รวมทั้งความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลาง ค่าการนำความร้อนเองก็เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุโดยที่วัสดุที่มีค่า  $k$  หรือค่าการนำความร้อนสูง เช่น โลหะจะเรียกว่าสารตัวนำ (Conductor) และสารที่มีค่า  $k$  ต่ำ เช่น สารจำพวกอโลหะจะเรียกว่าฉนวน (insulator) ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.9 การนำความร้อนของสารที่สถานะแตกต่างกัน [8]



รูปที่ 2.10 ช่วงสภาพของการนำความร้อนในสถานะต่างๆ ของสารที่อุณหภูมิและความดันปกติ [8]

2.2.2 การพาความร้อน (Convection) ในการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนจะประกอบด้วยกลไกที่สำคัญสองแบบคือ การเกิดพลังงานจากการถ่ายเทความร้อนผ่านการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุล และการเคลื่อนที่ของอนุกรมแบบปกติคือ อนุกรมเปลี่ยนแปลงโดยเคลื่อนที่จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่ๆ มีอุณหภูมิต่ำกว่า เพราะฉะนั้นกลไกที่สำคัญทั้งสองแบบจะทำให้เกิดการพาความร้อน โดยลักษณะการพาความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

(a) การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) คือการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยโมเลกุลอิสระของของไหลถูกปัดจี้จากภายนอกต่างๆ บังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับของแข็งกระทั่งทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิซึ่งกันและกัน

(b) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) หรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural Convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนผ่านตัวกลางสองชนิดคือของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกหรือปัดจี้จากภายนอกมาบังคับการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนให้ถ่ายเทออกไป โดยการถ่ายเทที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากแรงลอยตัวอิสระของโมเลกุลของของไหล โดยที่แรงลอยตัวเกิดจากความหนาแน่นของของไหลเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในชั้นของของไหล

## 2.3 กฎความร้อนของ Joule [7]

ความร้อนที่เกิดจากการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลภายในลวดตัวนำ ถูกแสดงในหน่วยของพลังงาน โดยกฎนิยามของ joule มีลักษณะดังต่อไปนี้

2.3.1 ปริมาณของความร้อนที่เกิดในลวดตัวนำแปรผันตามกำลังสองของจำนวนกระแสที่ไหลผ่านลวดตัวนำเมื่อความต้านทานไฟฟ้าและเวลาคงที่ คือ

$$q_j \propto i^2$$

2.3.2 ปริมาณความร้อนที่เกิดในลวดตัวนำแปรผันตามกับความต้านทานไฟฟ้าของลวดตัวนำเมื่อมีความต้านทานไฟฟ้าและเวลาคงที่ คือ

$$q_j \propto R$$

2.3.3 ความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้าแปรผันตามเวลาการไหลของกระแสไฟฟ้า เมื่อความต้านทานไฟฟ้าและเวลาคงที่ คือ

$$q_j \propto t$$

เมื่อรวมลักษณะทั้งสามจะได้รูปแบบ คือ

$$q_j = \frac{1}{j} i^2$$

เมื่อ  $q_j$  คือ ความร้อนที่เกิดขึ้น (J)  
 $i$  คือ กระแสที่ไหลผ่านสายตัวนำ (A)  
 $t$  คือ เวลา (s)

มีการตัด I และ R ตามลำดับในการแสดงข้างต้นด้วยการใช้กฎของโอห์มในการปรับสมการจะได้

$$q_j = \frac{V^2}{R} = i^2 R \quad (12)$$

เมื่อ  $q_j$  คือ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น (W)  
 $R$  คือ ความต้านทานไฟฟ้าของลวดตัวนำ ( $\Omega$ )  
 $V$  คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

## 2.4 ความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง [2]

ลวดตัวนำเส้นตรงเส้นหนึ่งยาว  $l$  มีพื้นที่ภาคตัดขวาง  $A$  พบว่า

$$R \propto l$$

$$R \propto \frac{l}{A}$$

โดยที่  $R$  เป็นความต้านทานไฟฟ้าของลวดตัวนำนั้น จะเห็นว่า ความต้านทานของลวดตัวนำแปรผันตามกับความยาวและแปรผกผันกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยจะได้

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (13)$$

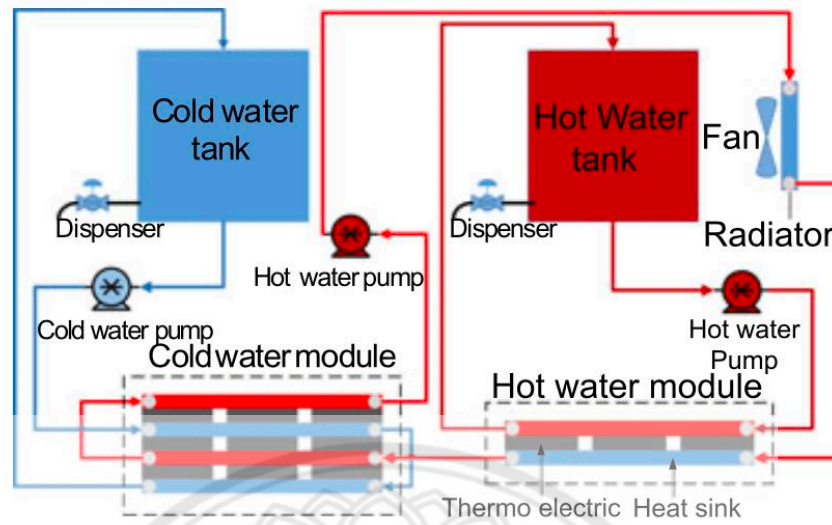
เมื่อ  $\rho$  คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) หรือที่เรียกว่า ความต้านทานจำเพาะ เป็นค่าคงที่สำหรับตัวนำชนิดหนึ่งขึ้นกับอุณหภูมิและสิ่งแวดล้อม มีหน่วยเป็นโอห์ม·เมตร ( $\Omega \cdot m$ ) หรืออีกลักษณะหนึ่งสามารถนิยามสภาพต้านทานไฟฟ้าว่า เป็นความต้านทานของตัวนำชนิดหนึ่งที่มีความยาว 1 เมตร และมีพื้นที่ตัดขวาง 1 ตารางเมตร

## 2.5 วรรณกรรมปริทรรศน์

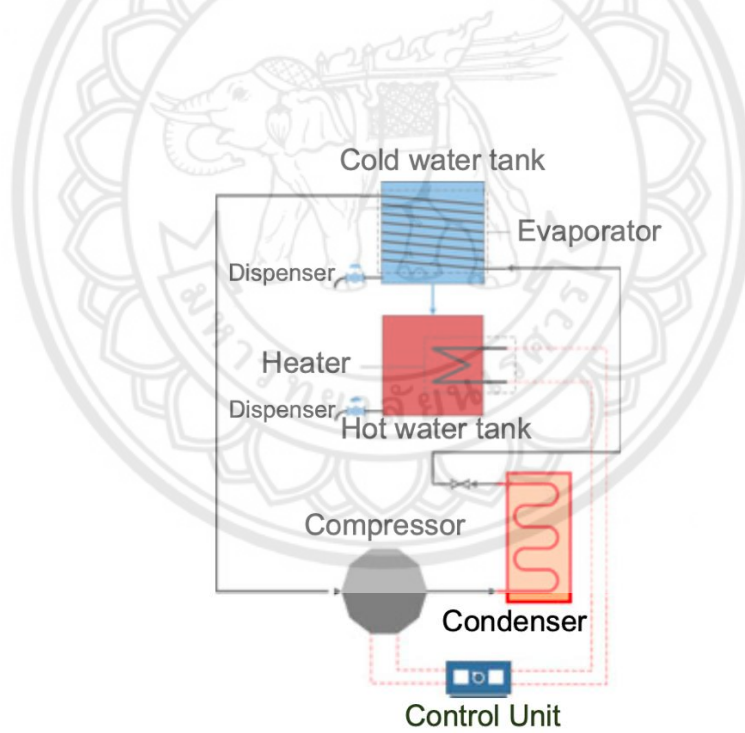
2.5.1 Development of cold-hot water dispenser with thermoelectric module systems (Hommalee C, et al.) [10]

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับตู้กึ่งน้ำร้อนและเย็นด้วย TMS ตู้กึ่งน้ำร้อนและเย็นด้วย TMS ประกอบด้วยวงจรน้ำเย็น วงจรน้ำร้อน วงจรหล่อเย็น และแผ่นเพลเทียร์ ในการทำความเย็นประกอบด้วย บล็อกน้ำ 4 บล็อก เพลเทียร์ 9 แผ่น ด้านการทำน้ำร้อนประกอบด้วย บล็อกน้ำ 2 บล็อก เพลเทียร์ 3 แผ่น ซึ่งการระบายความเย็นและความร้อนที่ได้รับจากตู้กึ่งน้ำด้วย TMS ดังรูปที่ 2.11 ถูกเปรียบเทียบกับตู้กึ่งน้ำแบบเดิมที่มีระบบทำความเย็นแบบบีบอัด (Compression refrigeration system, CRS) ดังรูปที่ 2.12 เมื่อเทียบกับตู้กึ่งน้ำธรรมดาที่มีระบบทำความเย็นแบบบีบอัด ตู้กึ่งน้ำที่มีระบบทำความเย็นด้วยแผ่นเพลเทียร์สามารถให้น้ำอุณหภูมิต่ำสุดที่ 10-13 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดที่ 65 องศาเซลเซียส ในการศึกษาครั้งนี้ได้แสดงผลลัพธ์ของการระบายความเย็นและความร้อนของตู้กึ่งน้ำด้วย TMS การเปรียบเทียบการระบายความเย็นและความร้อนที่ได้จากตู้กึ่งน้ำด้วย TMS กับ CRS ที่อุณหภูมิ 13 และ 65 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการระบายความร้อนและความเย็นของแผ่นเพลเทียร์มีค่าประมาณ 400 มิลลิลิตร ภายในระยะเวลา 5 นาที คาดหวังว่าผลลัพธ์ที่ได้ศึกษานี้ จะเป็นแนวทางที่จะช่วยในการออกแบบตู้กึ่งน้ำด้วย TMS ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ในการออกแบบตู้กึ่งน้ำด้วยระบบอย่างง่าย





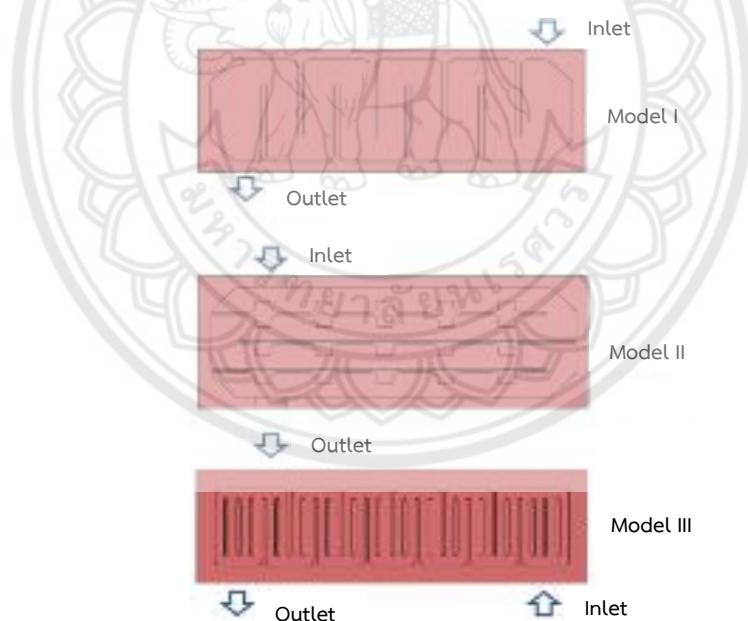
รูปที่ 2.11 แผนผังการทำความร้อน - เย็น ของ TMS [10]



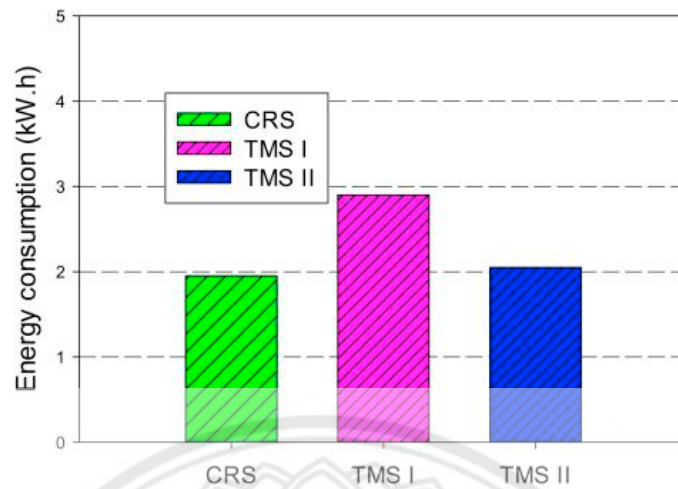
รูปที่ 2.12 แผนผังการทำความร้อน - เย็น ของ CRS [10]

## 2.5.2 Thermal efficiency enhancement of thermoelectric module system for cold-hot water dispenser; Phase II [11]

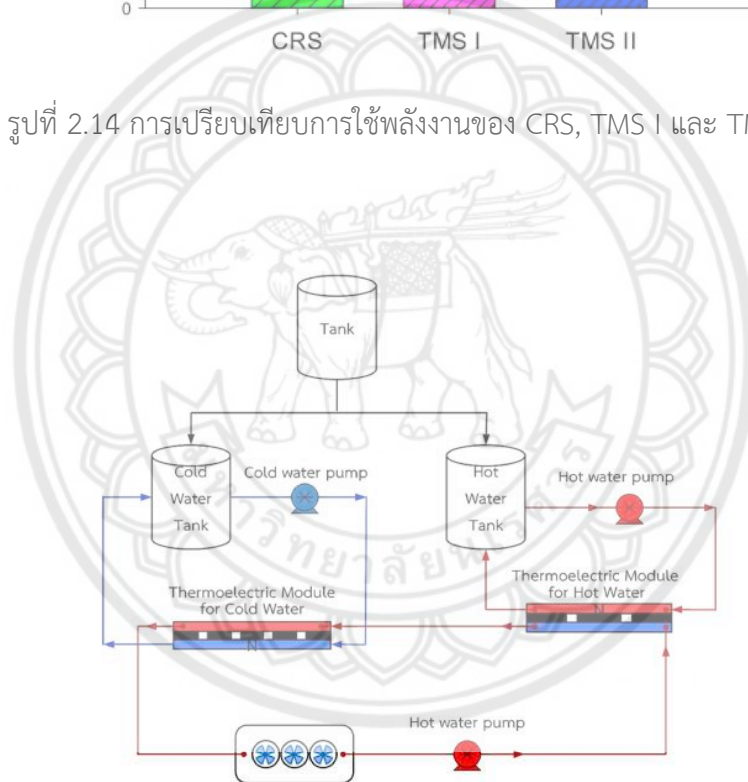
การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผ่นเพลเทียร์สำหรับระบบทำน้ำร้อนน้ำเย็นเป็นการดำเนินต่อจาก Phase I (2.5.1) ในการศึกษานี้บล็อกน้ำที่ติดอยู่กับแผงระบายความร้อนดังรูปที่ 2.13 ได้รับการออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น กำลังการทำงานเย็น-ความร้อนและการใช้พลังงานของตู้เย็นน้ำร้อนที่มีแผ่นเพลเทียร์ (TMS II) เมื่อเทียบตู้ทำน้ำเย็นน้ำร้อนธรรมดา กับระบบการบีบอัดเครื่องทำความเย็น (CRS) และจากต้นแบบของตู้เย็น-น้ำร้อนที่มีระบบแผ่นเพลเทียร์ (TMS I) ดังรูปที่ 2.14 จากการทำงานก่อนหน้า พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุดของน้ำเย็นและร้อนจาก TMS II คือ 8°C, 64 °C ตามลำดับซึ่งในช่วงที่ใช้อุณหภูมิของเครื่องจ่ายน้ำเย็นก่อนร้อน การใช้พลังงานของ TMS II ต่ำกว่าของต้นแบบ (TMS I) และระดับเดียวกันกับ CRS ดังนั้นผลที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการออกแบบแผ่นเพลเทียร์ของระบบทำน้ำร้อนน้ำเย็นดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.13 รายละเอียดของบล็อกน้ำที่ฝังตัวอยู่ในโครงสร้างครีบที่แตกต่างกัน [11]



รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของ CRS, TMS I และ TMS II [11]



รูปที่ 2.15 ผังอุปกรณ์การทดลองปัจจุบันของตู้ทำน้ำเย็นร้อนกับระบบโมดูลเทอร์โม (TMS II) [11]

### 2.5.3 Performance of Thermoelectric Module as a Water Cooler and Water Heater (Mohamad Asmidzam Ahamat, et al.) [6]

เป็นการศึกษาค่ารวมสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ (COP) ของเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลในการทำความร้อนและเย็น ที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุณหพลศาสตร์

เทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลเป็นปั๊มความร้อนในสถานะของแข็ง ซึ่งปั๊มความร้อนมีแรงดันไฟฟ้า 100 W หรือต่ำกว่า พื้นผิวด้านหนึ่งของโมดูลจะทำหน้าที่กักเก็บความร้อน ในขณะที่อีกด้านจะระบายความร้อน ทั้งสองด้านของโมดูลจึงถูกนำมาใช้ในการทำความร้อนและเย็น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือการหาค่า COP ของเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล เมื่อโมดูลถูกใช้ทำความร้อนและเย็น ค่ารวม COP ของการปรับอุณหภูมิของน้ำเย็นและน้ำร้อน ที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบความร้อนและความเย็น มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดระหว่างน้ำร้อนและความเย็นคือ 40 เคลวิน ค่า error ที่ได้จากการคำนวณคือ 2 เคลวิน เมื่อทำการคำนวณแล้วจะได้ค่ารวม COP ที่สามารถทำได้สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลที่ให้พลังงานความร้อนและความเย็น เป็น 4.5 อย่างไรก็ตาม ที่ค่ารวม COP ทั้งหมดจะลดลงเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนและเย็นเพิ่มขึ้น จึงสรุปได้ว่าการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลในการทำความร้อนและทำความเย็น มีความสอดคล้องกับ COP ซึ่งมีส่วนช่วยในการประหยัดการใช้ไฟฟ้าโดยโมดูล ค่ารวม COP เป็น 4.5 ของเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลที่ถูกใช้ในการทำความร้อนและทำความเย็นให้กับน้ำ ได้มาจากการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลประยุกต์ใช้ทำความร้อนและเย็น เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวโมดูลสูงขึ้น ค่ารวม COP อาจน้อยกว่า 1 ซึ่งถือว่าต่ำมาก อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากการสูญเสียความร้อนไปยังสภาพแวดล้อมมากเกินไป หรือการนำความร้อนระหว่างผิวโมดูลจะถูกควบคุม โดยการไหลของความร้อนผ่านโมดูลจะจำกัดการใช้งานของเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของโมดูลสูงมาก ซึ่งการทำงานในอนาคตอาจมุ่งเน้นไปที่วิธีการควบคุมความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวโมดูลเพื่อให้แน่ใจว่าค่ารวมของ COP ในเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูลที่ใช้ทำความร้อนและความเย็นทั้งหมดจะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

#### 2.5.4 Using Cold Therapy to Mitigate Thermogenesis during Sleep (Tara Youn -gblood) [12]

อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยทั่วไปสำหรับการไหลเวียนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั้งกลางวันและกลางคืน การควบคุมความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญในชีวิตเพราะมันมีผลต่อปฏิกิริยาทางชีวเคมีมากที่สุด การควบคุมความร้อนแบบพาสซีฟโดยใช้เงา, พัดลม, การดูดความชื้น ไม่เพียงพอที่จะมีผลต่อการกระตุ้นความร้อนในร่างกาย มนุษย์ต้องการความสะดวกสบายในการนอน โดยให้สภาพแวดล้อมมี

การควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการ และในกรณีที่มีภาวะนอนไม่หลับ ซึ่งเกิดจากความผิดปกติของร่างกาย เมื่ออุณหภูมิระหว่างนอนสูงหรือต่ำเกินไป เนื่องจากโรคหรือฮอร์โมนที่ผิดปกติ อายุ กระบวนการเมตาบอลิซึมมีการเผาผลาญมากเกินไปจะทำให้อุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้น ผู้คนที่ประสบปัญหาเหล่านี้มักจะใช้สารเสพติดและยานอนหลับในการแก้ปัญหา ซึ่งภาวะนอนไม่หลับจะไม่เกิดเมื่อใช้การบำบัดด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนอน จะช่วยรักษาโรคที่เกิดจากความผิดปกติจากการนอนหลับและช่วยให้ร่างกายรักษาตนเองให้การนอนหลับเป็นไปตามกลไกธรรมชาติ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในร่างกายสามารถกระตุ้นและเพิ่มช่วงของจังหวะการนอนหลับ และการรักษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสร้างวงจรการนอนหลับที่สอดคล้องกัน โดยให้ร่างกายรับรู้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและยังช่วยให้ร่างกายรับรู้การลดลงของอุณหภูมิที่จำเป็นสำหรับการเริ่มต้นของการนอนหลับ

#### 2.5.5 การศึกษาคุณลักษณะของการทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกส์ Study on Characteristics of Thermoelectric Cooling. (จิรายุสวัฑฒ ประสม และคณะ) [1]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทดสอบหาคุณลักษณะการใช้งานของแผ่นเพลเทียร์ด้วยวิธีการใช้สมดุลพลังงานการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำจากการให้พลังงานไฟฟ้า โดยจุดประสงค์หลักเพื่อที่จะมีวิธีการตรวจสอบแผ่นเพลเทียร์ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันและนำแผ่นเพลเทียร์ชนิดนี้ไปใช้งานให้เหมาะสม พบว่าค่าที่นำมาวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละแผ่นเพลเทียร์ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพและกระแสไฟ จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กระแสไฟเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการทำความเย็นก็จะลดลง ซึ่งอัตราการทำความเย็นของแผ่นเพลเทียร์แต่ละแผ่นนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นผู้ที่นำเพลเทียร์ไปใช้งานในด้านการทำความเย็นควรจะคำนึงถึงการเลือกใช้ช่วงของกระแสไฟให้เหมาะสม ซึ่งจากแผ่นเพลเทียร์ที่ทดลองนี้คาดว่าช่วงการใช้งานที่เหมาะสมจะไม่เกิน 2 แอมแปร์ ซึ่งประสิทธิภาพมากกว่า 60% เหมาะสมกับการนำไปใช้งานมากที่สุด ถ้าให้กระแสไฟมากกว่านี้ผลต่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นมากขึ้น จะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นมากขึ้นด้วยและทำให้ ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลง



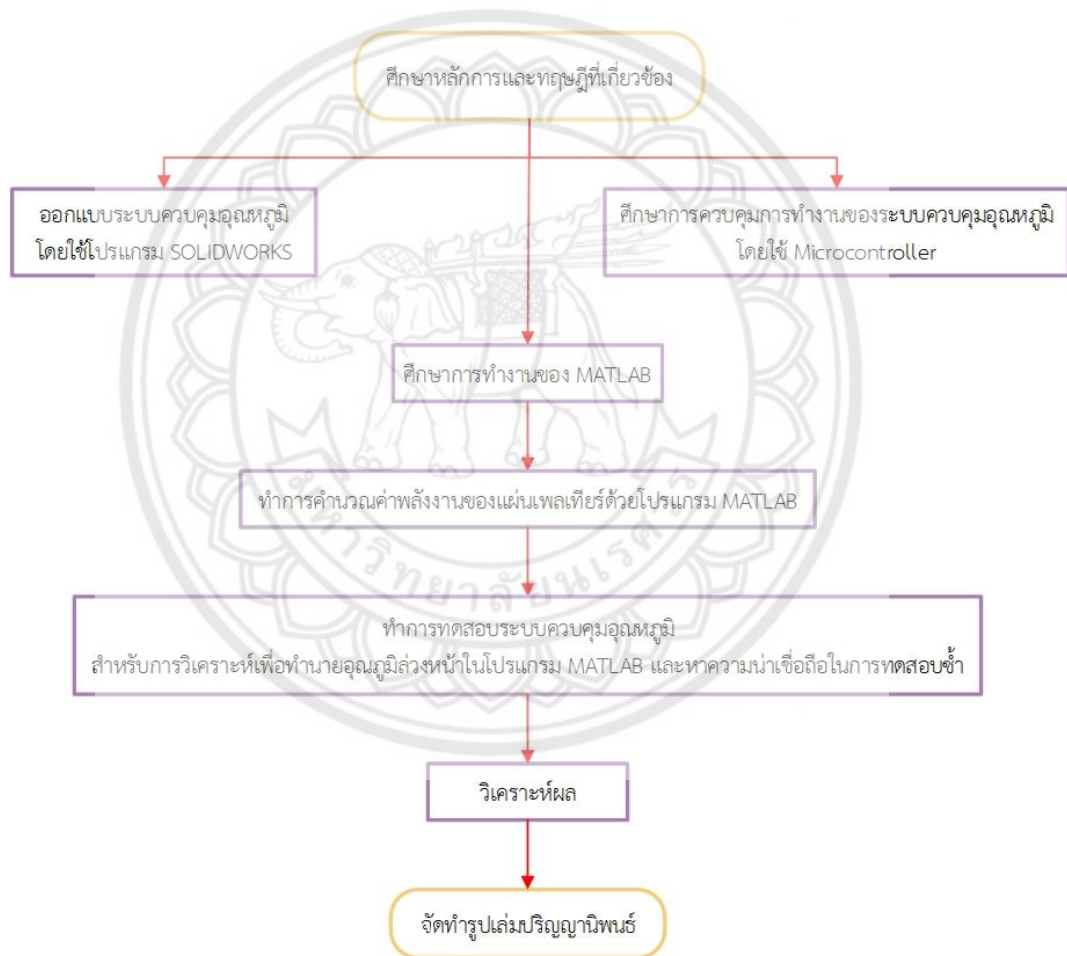
รูปที่ 2.16 ประสิทธิภาพและกระแสไฟ



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการจัดทำ

1) TEC12712 12V 12A 40x40 mm. จำนวน 2 ชิ้น และ TEC12706 12V 6A 40x40 mm. จำนวน 2 ชิ้น (รูปที่ 3.2 ก.)

2) แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ (Switching Power Supply) AC110V / 220V เป็น DC12V 40A 480W พร้อมพัดลมขนาด 215x115x50 mm. (รูปที่ 3.2 ข.)

3) Laptop ยี่ห้อ Lenovo รุ่น Legion Intel Core I7 9th Gen RAM 24 GB (รูปที่ 3.2 ค.)  
ที่ติดตั้งโปรแกรม MATLAB R2019a

4) 16 Channel 12V Low Trigger Relay Module With Optocoupler (รูปที่ 3.2 ง.)

5) กระจกบอกรักษาสุญญากาศสแตนเลส กระจกเก็บน้ำร้อน ขนาด 4 ลิตร จำนวน 2 กระจกบอกร (รูปที่ 3.2 จ.)

6) ถังอเนกประสงค์ขนาด 10 ลิตร จำนวน 1 ถัง (รูปที่ 3.2 ฉ.)

7) ปั๊มน้ำ ขนาด 12V DC กินไฟ 4.2 W ปริมาณน้ำ 4 L/min จำนวน 9 ตัว (รูปที่ 3.2 ช.)

8) ฉนวนยางหุ้มท่อแอร์ ขนาด หนา 1/2 นิ้ว (รูปที่ 3.2 ซ.)

9) สายน้ำ RO ขนาด 3 หุน (รูปที่ 3.2 ฅ.)

10) ฟิตติ้งข้อต่อ สายขนาด 3 หุน 2 ด้าน (รูปที่ 3.2 ฉ.)

11) บอร์ด Arduino DUE (รูปที่ 3.2 ฎ.)

12) เซนเซอร์วัดระดับน้ำ (รูปที่ 3.2 ฏ.)

13) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (รูปที่ 3.2 ฐ.)

14) ฟองน้ำอัด ขนาด 3.5 ฟุต หนา 1 นิ้ว (รูปที่ 3.2 ท.)

15) ฟองน้ำวิทยาศาสตร์ ขนาด 3.5 ฟุต หนา 1 นิ้ว (รูปที่ 3.2 ธ.)

16) ฟองน้ำวิทยาศาสตร์ ขนาด 3.5 ฟุต หนา 1 เซนติเมตร (รูปที่ 3.2 ฒ.)

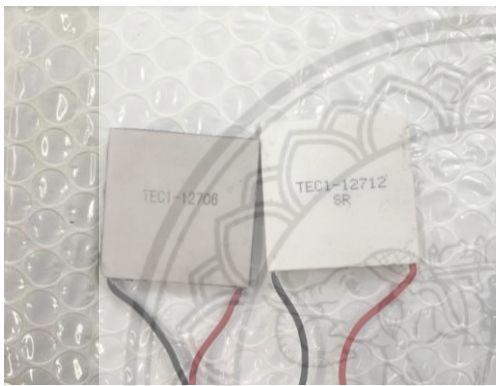


17) ฉนวนกันความร้อนแอร์บับเบิล (Air Bubble) ขนาด 3.5 ฟุต (รูปที่ 3.2 ด.)

18) Water cooling block ขนาด 40x80 mm. (รูปที่ 3.2 ต.)

19) ถังน้ำขนาด 75 ลิตร (รูปที่ 3.2 ถ.)

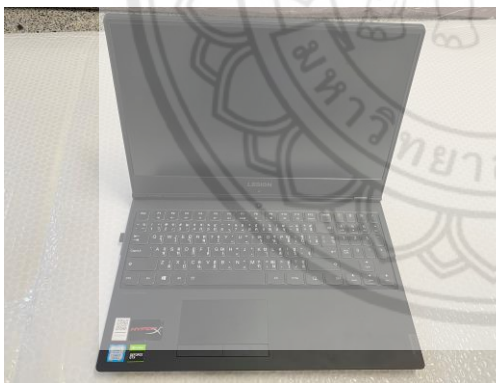
20) เครื่องปรีนสามมิติ (รูปที่ 3.2 ท.)



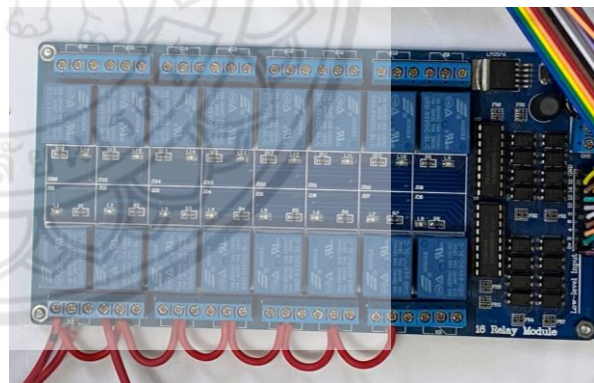
ก. TEC12712-TEC12706



ข. แหล่งจ่ายไฟ



ค. Laptop



ง. Relay Module



จ. กระบอกน้ำสุญญากาศสแตนเลส



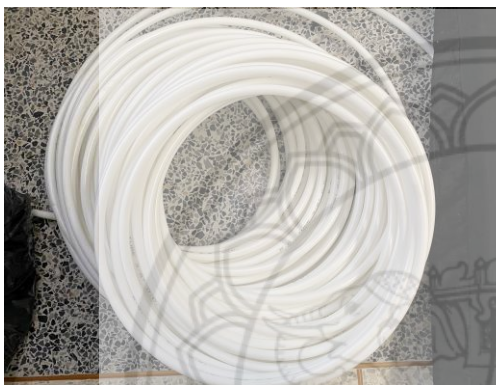
ฉ. กล่องอเนกประสงค์



ข. ปั๊มน้ำ



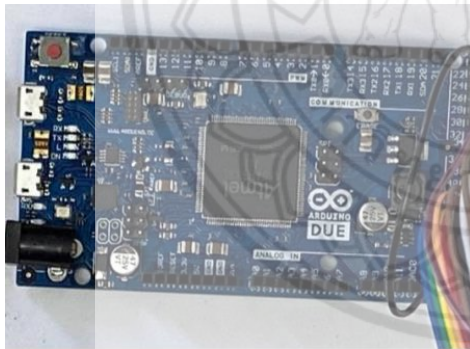
ช. ฉนวนยางหุ้มท่อแอร์



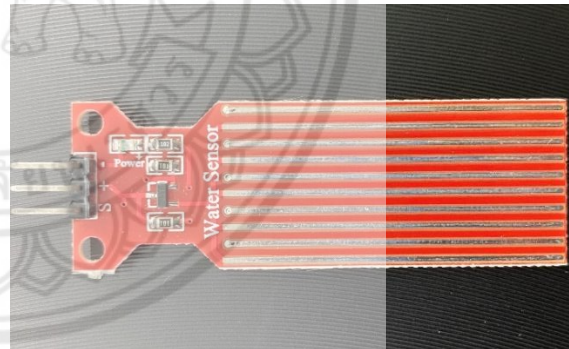
ฉ. สายน้ำ RO



ญ. ฟิตติ้งข้องอ



ฎ. บอร์ด Arduino DUE



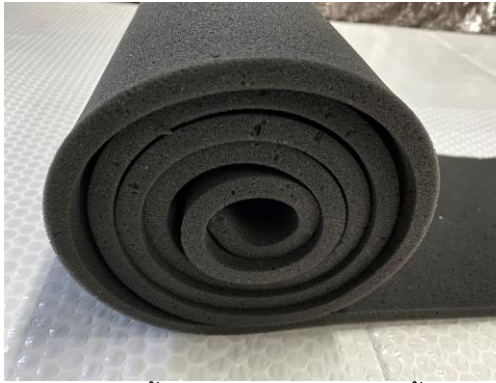
ฏ. เซนเซอร์วัดระดับน้ำ



ฐ. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ



ฑ. ฟองน้ำอัด



ฅ. ฟองน้ำวิทยาศาสตร์ หนา 1 นิ้ว



ณ. ฟองน้ำวิทยาศาสตร์ หนา 1 เซนติเมตร



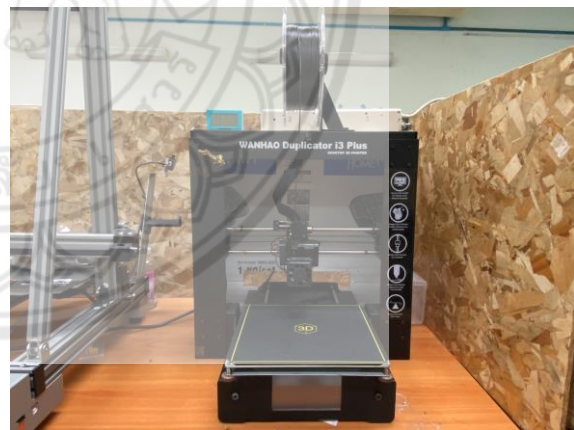
ด. ฉนวนกันความร้อนแอร์บับเบิล



ต. Water cooling block



ถ. ถังน้ำ



ท. เครื่องปริ้นสามมิติ

รูปที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงงาน

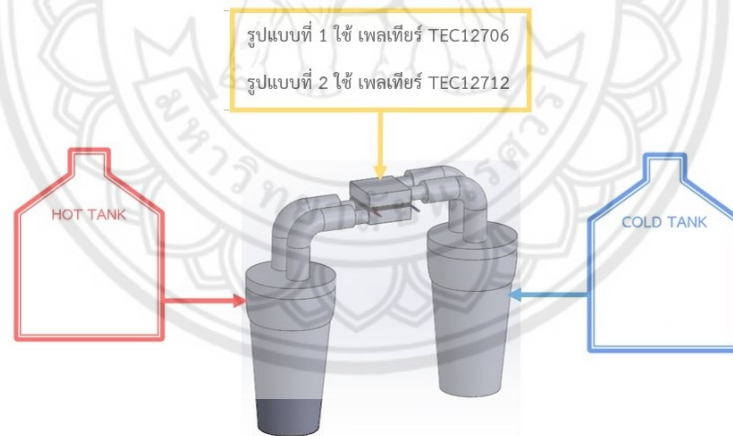
## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการทดลอง

การทดลองจะใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำทั้งสองด้าน โดยการเก็บค่าอุณหภูมิทั้งหมดใน excel แล้วนำไปคำนวณค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิจากน้ำ โดยใช้สมการที่ 8, 9 และ 10 และแสดงผลโดยกราฟโดยใช้ MATLAB ในการพล็อตกราฟทั้งหมด

ในการทดสอบเพลเทียร์เพื่อให้อุณหภูมิกับที่นอน เริ่มจากการทดลองให้อุณหภูมิน้ำรูปแบบที่ 1 โดยใช้เพลเทียร์ชนิด TEC12706 และ รูปแบบที่ 2 ใช้ TEC12712 แสดงดังรูปที่ 4.1

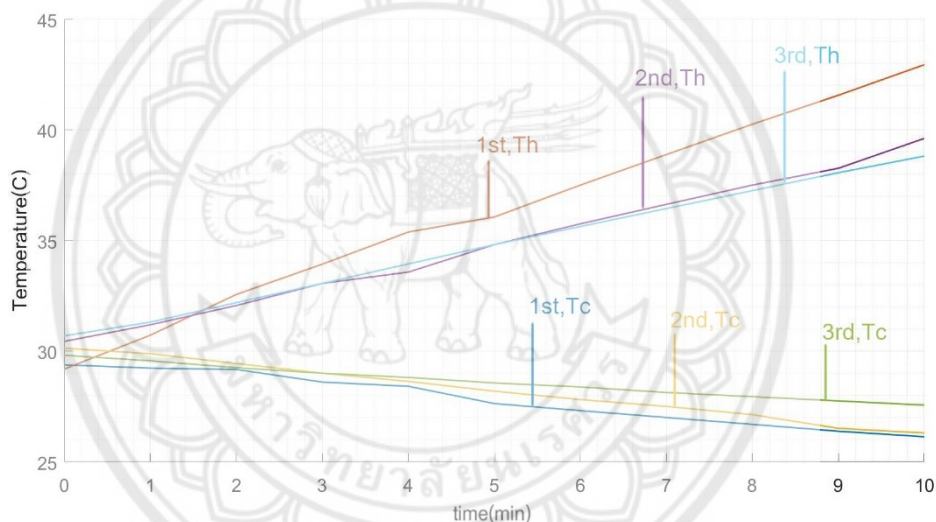


รูปที่ 4.1 การทดลองรูปแบบที่ 1 และ 2

จากรูปที่ 4.1 เป็นการทดลองโดยใช้เพลเทียร์สองชนิดคือ รูปแบบที่ 1 ใช้ TEC12706 และ รูปแบบที่ 2 ใช้ TEC12712 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเพลเทียร์ TEC12706 ให้กระแสไฟฟ้า 2.75 แอมแปร์ และแรงดันไฟฟ้า 11.2 โวลต์ มีแก้วเก็บอุณหภูมิทั้งหมด 2 แก้ว โดยแก้วมีความจุน้ำสูงสุดที่

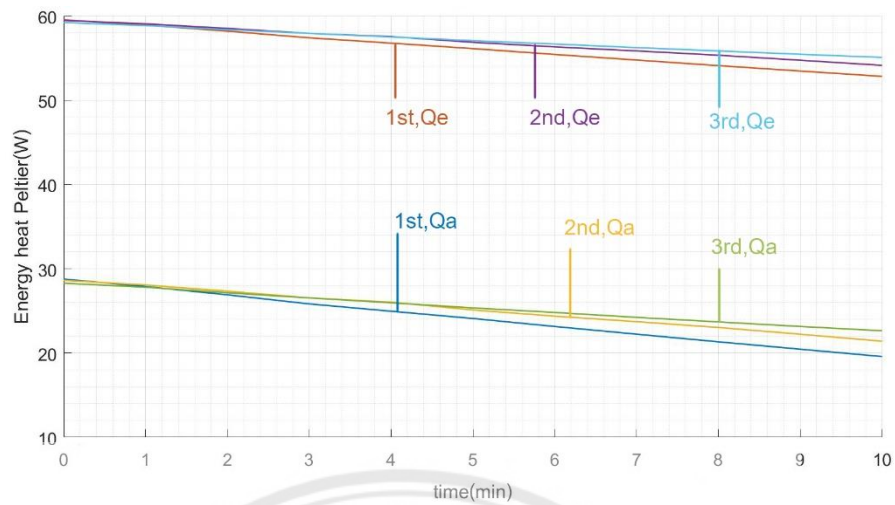
0.9 ลิตร แบ่งฝั่งแก้วด้านร้อน และด้านเย็นเย็น ใช้ปั๊ม 2 ตัว ในการแลกเปลี่ยนน้ำจากเพลเทียร์ ทำการทดลองเป็นเวลา 10 นาที เปลี่ยนปริมาณน้ำในแก้ว ในแต่ละรูปแบบมีการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใช้น้ำด้านร้อน และด้านเย็น 0.5 ลิตรทั้งสองด้าน ครั้งที่ 2 ใช้น้ำด้านร้อน 0.9 ลิตร ด้านเย็น 0.5 ลิตร ครั้งที่ 3 ใช้น้ำด้านร้อน 0.9 ลิตร ด้านเย็น 0.9 ลิตร

เมื่อทำการทดลองรูปแบบที่ 1 โดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเพลเทียร์ TEC12706 จ่ายกระแสไฟฟ้า 2.75 แอมแปร์ และแรงดันไฟฟ้า 11.2 โวลต์ และเก็บข้อมูลจะได้ผลดังรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 โดย Th คืออุณหภูมิน้ำร้อน Tc คืออุณหภูมิน้ำเย็น Qe คือ พลังงานความร้อนด้านร้อน และ Qa คือ พลังงานความร้อนด้านเย็น ซึ่งในกราฟได้แสดงการทดลองครั้งที่ 1 ถึง 3



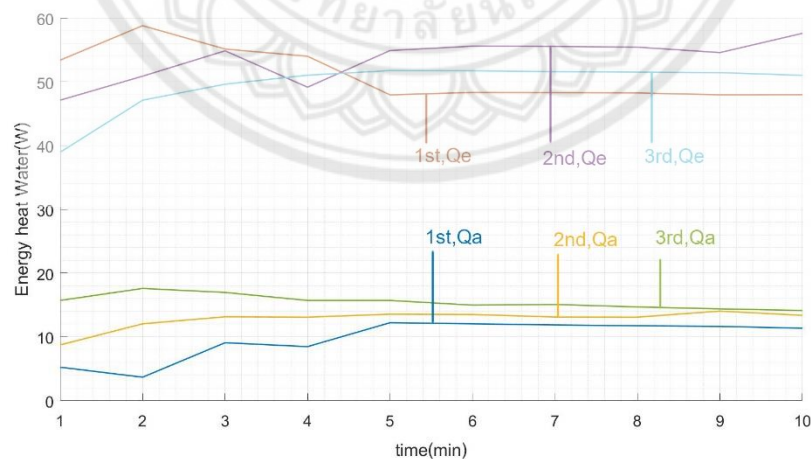
รูปที่ 4.2 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 1

จากรูปที่ 4.2 การทดลองรูปแบบที่ 1 จะได้ว่าอุณหภูมิของน้ำในแก้วเก็บอุณหภูมิ เพิ่มขึ้น และลดลงอย่างคงที่ และเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน และมีอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำร้อนประมาณ 30 องศาเซลเซียส เหมือนกันของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง อุณหภูมิสุดท้ายของการทดลองด้านร้อนแต่ละครั้งคือ 43, 39.5 และ 39 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิสุดท้ายของด้านเย็นของแต่ละครั้ง 26, 26 และ 27 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สิ่งที่ทำให้ค่าของอุณหภูมิไม่เท่ากันนั้นคือปริมาณน้ำที่อยู่ในแก้ว และความแตกต่างของปริมาณน้ำที่อยู่ในแก้วเก็บอุณหภูมิ



รูปที่ 4.3 กราฟพลังงานเพลเทียร์ของการทดลองรูปแบบที่ 1

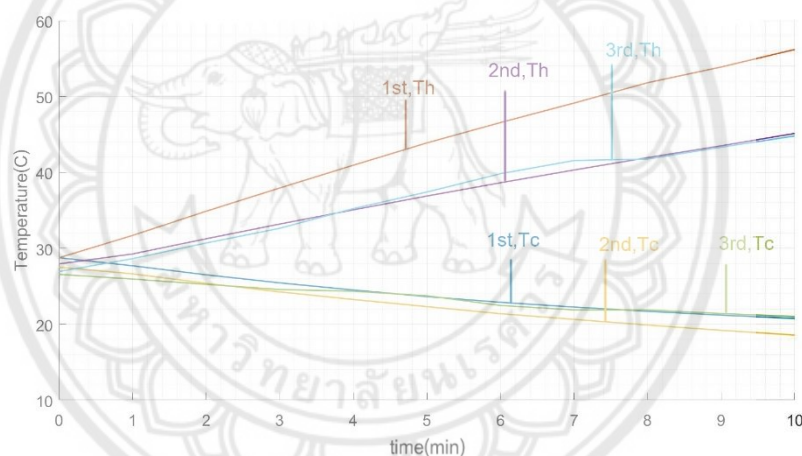
จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าพลังงานที่เพลเทียร์ด้านร้อนและด้านเย็นของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีค่าที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากเพลเทียร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าเท่ากัน โดยมีค่าพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยจากการคำนวณประมาณ 55 วัตต์ และมีค่าพลังงานความร้อนที่ดูดซับประมาณ 23 วัตต์ ซึ่งค่าพลังงานที่คำนวณของการทดลองแต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.4 กราฟพลังงานในน้ำของการทดลองรูปแบบที่ 1

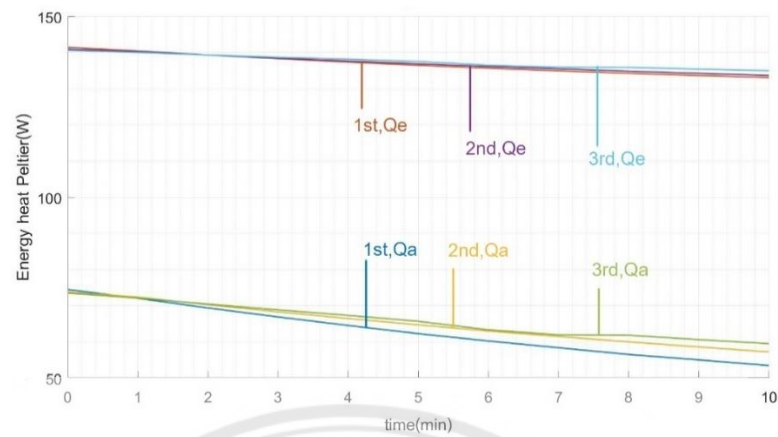
จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณพลังงานในน้ำ นั้นมีรูปแบบเดียวกันซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิ พลังงานปริมาณความร้อนของด้านร้อนของทั้งสามครั้งมีค่าประมาณ 50 วัตต์ และมีพลังงานความร้อนของด้านเย็นของทั้งสามครั้งมีค่าประมาณ 15 วัตต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าพลังงานของเพลเทียร์จากรูปที่ 4.3 ซึ่งสอดคล้องกันเนื่องพลังงานความร้อนจากเพลเทียร์จะต้องมีค่ามากกว่าพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับ

หลังจากที่ได้ทำการทดลองรูปแบบที่ 1 ได้มีการทดสอบรูปแบบที่ 2 ที่เปลี่ยนชนิดของเพลเทียร์เป็น TEC12712 จ่ายกระแสไฟฟ้า 6.75 แอมแปร์ และแรงดันไฟฟ้า 9.92 โวลต์ จะได้ดังรูปดังรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 โดย Th คืออุณหภูมิน้ำร้อน Tc คืออุณหภูมิน้ำเย็น Qe คือ พลังงานความร้อนด้านร้อน และ Qa คือ พลังงานความร้อนด้านเย็น



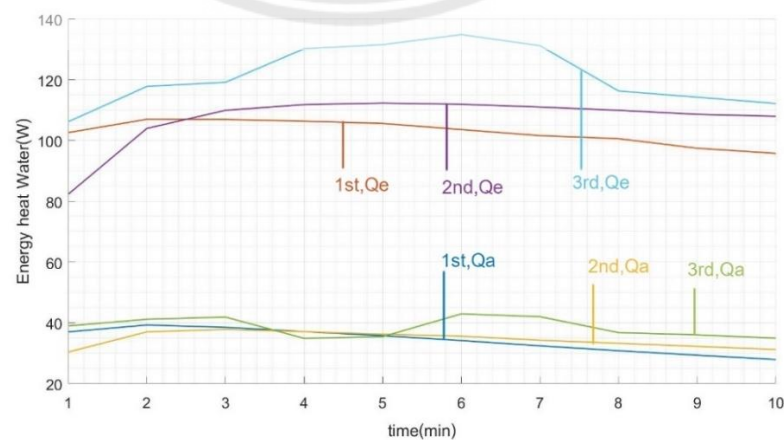
รูปที่ 4.5 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 4.5 พบว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำเย็นในแก้วเก็บอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างคงที่ มีค่าความต่างของอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับปริมาตรของน้ำที่อยู่ในแก้วเก็บอุณหภูมิ มีค่าอุณหภูมิด้านร้อนของแต่ละครั้งเท่ากับ 56, 45 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีค่าอุณหภูมิด้านเย็นเท่ากับ 21, 21 และ 19 ตามลำดับ และพบว่าความชันและอุณหภูมิของแต่ละครั้งนั้นต่างกับทดลองรูปแบบที่ 1



รูปที่ 4.6 กราฟพลังงานเพลเทียร์ของการทดลองรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าการทำงานของเพลเทียร์นั้นมีค่ากระจายเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิส่งผลต่อค่าพลังงานความร้อนของเพลเทียร์น้อยลง พบว่าเพลเทียร์เกิดพลังงานด้านร้อนและพลังงานด้านเย็นไม่คงที่ และมีความชันของกราฟลดลง มีค่าพลังงานความร้อนของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง โดยที่พลังงานความร้อนด้านร้อนอยู่ประมาณ 135 วัตต์ และมีค่าพลังงานความร้อนด้านเย็นประมาณ 65 วัตต์ ซึ่งเมื่อเทียบกับการทดลองรูปแบบที่ 1 จะมีค่าพลังงานมากกว่า เนื่องจากได้รับกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 2.75 แอมป์ เป็น 6.75 แอมป์ ทำให้ค่าพลังงานความร้อนจากเพลเทียร์เพิ่มขึ้นตามจากการคำนวณจากสมการ



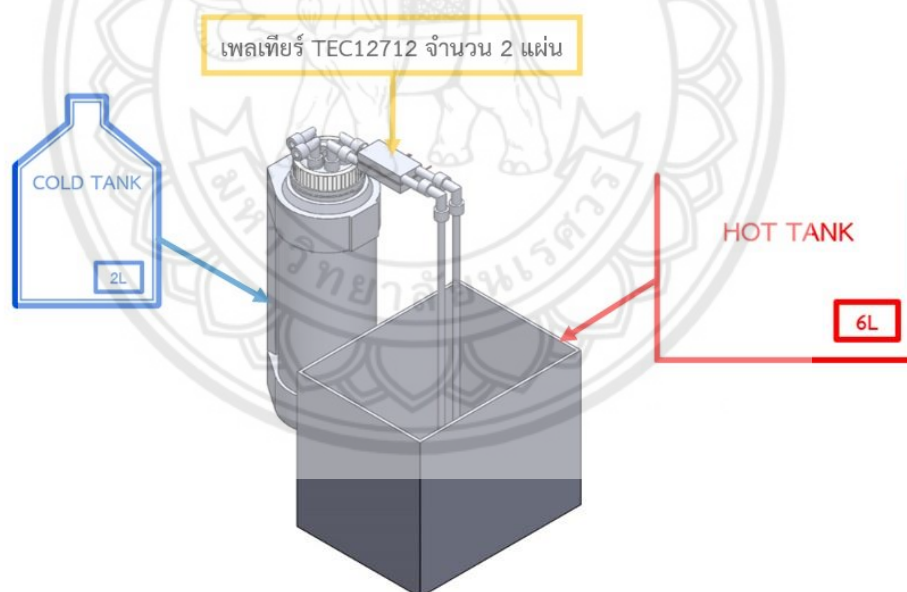
รูปที่ 4.7 กราฟพลังงานในน้ำของการทดลองรูปแบบที่ 2



จากรูปที่ 4.7 พบว่าพลังงานความร้อนของน้ำมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเป็นผลมาจากค่าของ อุณหภูมิ มีค่าพลังงานความร้อนด้านร้อนประมาณ 110 วัตต์ และมีพลังงานความร้อนด้านเย็น 40 วัตต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าการทดลองรูปแบบที่ 1 ตามรูปแบบของพลังงานเพลเทียร์ที่เพิ่มขึ้น

จากการทดลองรูปแบบที่ 1 และ 2 ทำให้ทราบว่าควรใช้เพลเทียร์ชนิด TEC12712 เนื่องจาก มีพลังงานความร้อนของเพลเทียร์ด้านร้อนและด้านเย็นสูงกว่าเพลเทียร์ชนิด TEC12706 เพราะเพล- เทียร์สามารถได้รับพลังงานไฟฟ้าสูงกว่า และผลจากการทดลองอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่เพลเทียร์ สามารถทำได้นั้นคือการทดลองรูปแบบที่ 2 ของเพลเทียร์ TEC12712

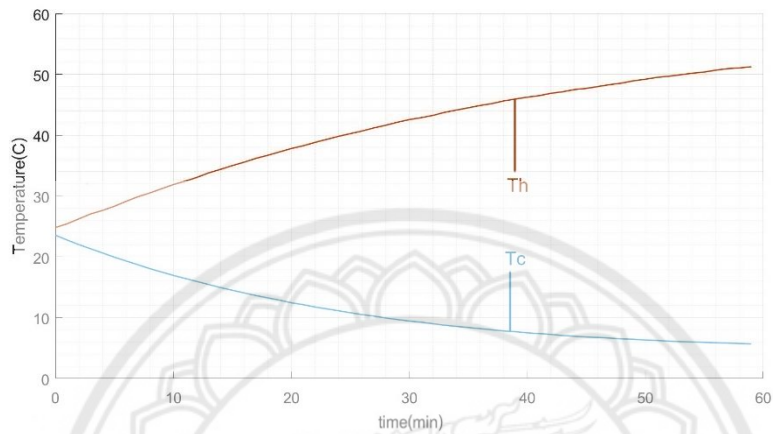
การทดลองรูปแบบ 3 เป็นการทดลองที่เปิดเพลเทียร์ TEC12712 จำนวน 2 แผ่น ต่อแบบ ขนาน จ่ายแรงดันไฟ 11.7 โวลต์ จ่ายกระแสไฟ 7.67 แอมแปร์ ปริมาณน้ำด้านร้อนปริมาณ 6 ลิตร น้ำด้านเย็นปริมาณ 2 ลิตร ให้ระบบทำงานเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ลักษณะการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การทดลองรูปแบบที่ 3

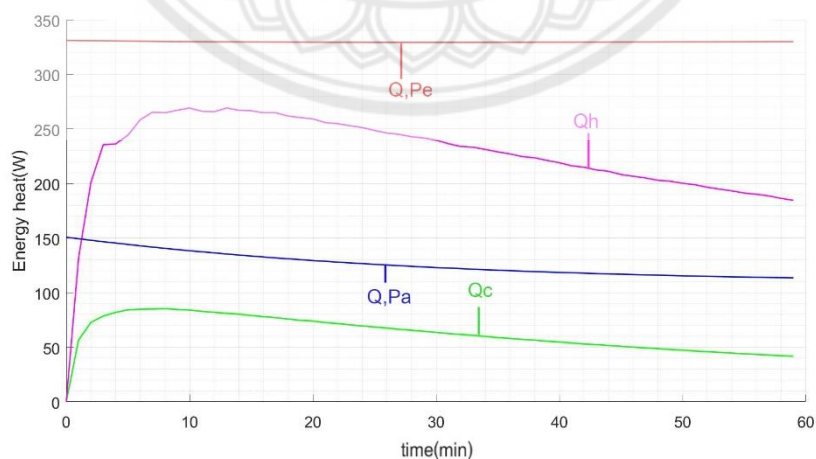
ด้านร้อนเป็นแบบไม่หุ้มฉนวนเพื่อระบายอากาศสู่ภายนอก น้ำเย็นเป็นแบบหุ้มฉนวนเพื่อกัน อุณหภูมิถ่ายเทกับอากาศแวดล้อม เมื่อทำการทดลองเก็บข้อมูลการทำคามเย็นของเพลเทียร์แล้ว

ได้ผลดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 โดย  $T_h$  คือ อุณหภูมิน้ำร้อน  $T_c$  คือ อุณหภูมิน้ำเย็น  $Q_h$  คือ พลังงานความร้อนที่น้ำร้อนได้รับ  $Q_c$  คือ พลังงานความร้อนที่น้ำเย็นถูกดูดซับ  $Q, P_e$  คือ พลังงานความร้อนในเพลเทียร์ปลดปล่อย และ  $Q, P_a$  คือ พลังงานความร้อนในเพลเทียร์ดูดซับ



รูปที่ 4.9 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 3

จากรูปที่ 4.9 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและลดลงนั้นเป็นไปอย่างคงที่และต่อเนื่อง จนมีอุณหภูมิความร้อนสูงสุด 51 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำสุด 5 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 60 นาที ซึ่งน้ำของทั้งสองฝั่งเริ่มต้นที่ 24 องศาเซลเซียสเท่ากัน

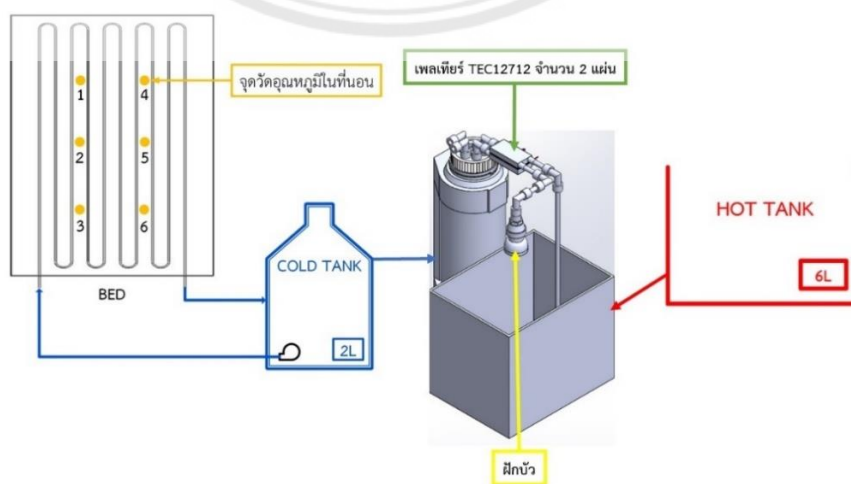


รูปที่ 4.10 กราฟพลังงานความร้อนในน้ำ และพลังงานเพลเทียร์ของการทดลองรูปแบบที่ 3

จากรูปที่ 4.10 พลังงานที่ดูดซับและปลดปล่อยของเพลเทียร์มีค่าคงที่เล็กน้อย เมื่อเวลาผ่านไปพลังงานที่ดูดซับและปลดปล่อยของเพลเทียร์จะลดลง กราฟที่แสดงค่าพลังงานที่ดูดซับของเพลเทียร์จะมีค่าลดลงมากกว่าพลังงานความร้อนของเพลเทียร์ที่ปลดปล่อย เนื่องจากอุณหภูมิของด้านเย็นลดลง และมีความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนพลังงานความร้อนของเพลเทียร์ที่ปลดปล่อยนั้นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น พลังงานปริมาณความร้อนของน้ำด้านร้อนและน้ำด้านเย็นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงเวลาเริ่มต้นของการทดลอง จนถึงเวลา 10 นาที กราฟทั้งสองมีความชันลดลงเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นในด้านร้อนและลดลงในด้านเย็นจนทำให้การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากบล็อกน้ำกับน้ำลดลง โดยที่พลังงานความร้อนสุดท้ายของเพลเทียร์และน้ำด้านเย็นมีค่าแตกต่างกัน น้อยกว่าพลังงานความร้อนของเพลเทียร์และน้ำด้านร้อน เนื่องจากด้านเย็นมีการหุ้มฉนวน และด้านร้อนไม่หุ้มฉนวน

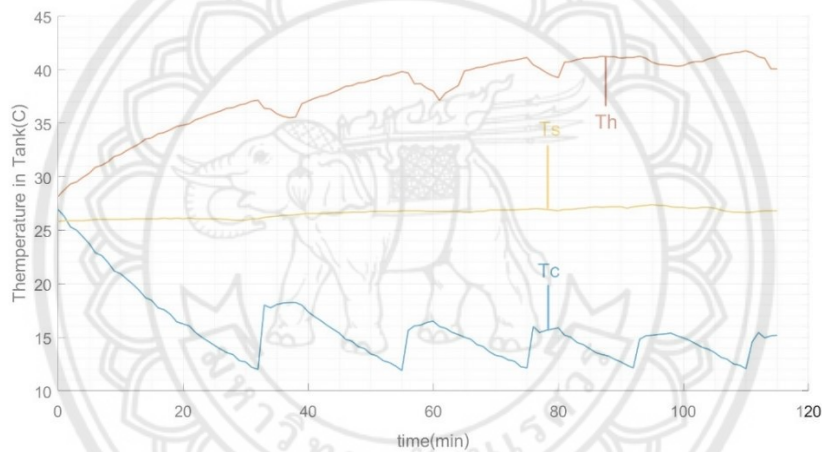
จากการทดลองรูปแบบที่ 3 ทำให้ทราบถึงการทำงานของเพลเทียร์ตลอด 1 ชั่วโมง ทราบถึงพลังงานของเพลเทียร์ที่ปลดปล่อยมีค่าคงที่มากกว่าพลังงานของเพลเทียร์ที่ดูดซับ จากอุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำเย็นนั้นที่มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน

ในการทดลองรูปแบบที่ 4 การทดลองจ่ายน้ำจากถังน้ำด้านเย็นเข้าสู่ที่นอน เมื่ออุณหภูมิที่เพลเทียร์ทำได้ 12 องศาเซลเซียส โดยใช้เพลเทียร์ชนิด TEC12712 เพราะเพลเทียร์ชนิดนี้ ใช้เวลาในการทำความเย็นได้อย่างรวดเร็ว จ่ายแรงดันไฟ 11.7 โวลต์ จ่ายกระแสไฟ 7.67 แอมแปร์ ใช้น้ำด้านเย็น 2 ลิตร และน้ำด้านร้อนมีปริมาณน้ำ 6 ลิตร ดังรูปที่ 4.11



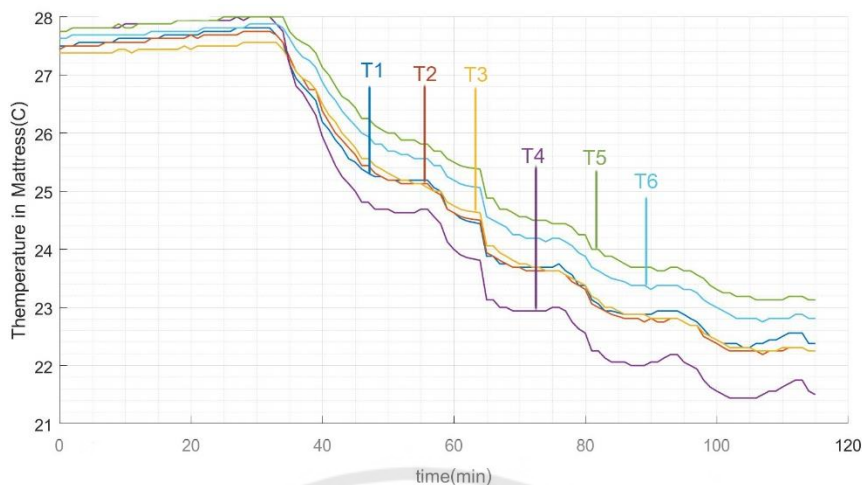
รูปที่ 4.11 การทดลองรูปแบบที่ 4

ด้านที่นอนทำการติดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจำนวน 6 จุด เพื่อวัดค่าอุณหภูมิในที่นอนเมื่อจ่ายน้ำให้กับที่นอน ดังรูปที่ 4.11 ด้านที่นอนมีขนาด 3.5 ฟุต ประกอบไปด้วย 5 ชั้นคือ ฟองน้ำอัดแข็ง, ฉนวนบับเบิล, ฟองน้ำวิทยาศาสตร์หนา 1 เซนติเมตร, ท่อน้ำ, ฟองน้ำวิทยาศาสตร์หนา 2.5 เซนติเมตร ตามลำดับจากด้านล่างขึ้นด้านบน เมื่อทำการทดลองแล้วแสดงผล ดังรูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14 โดย T1-T6 คือ อุณหภูมิที่วัดจากเซนเซอร์ในที่นอน Th คือ อุณหภูมิน้ำร้อน Tc คือ อุณหภูมิน้ำเย็น Ts คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (อุณหภูมิห้อง) Qh คือ พลังงานปริมาณความร้อนในน้ำด้านร้อน Qc คือ พลังงานปริมาณความร้อนในน้ำด้านเย็น Q, Pe คือ พลังงานปริมาณความร้อนในเพลเทียร์ปลดปล่อย และ Q, Pa คือ พลังงานปริมาณความร้อนในเพลเทียร์ดูดซับ



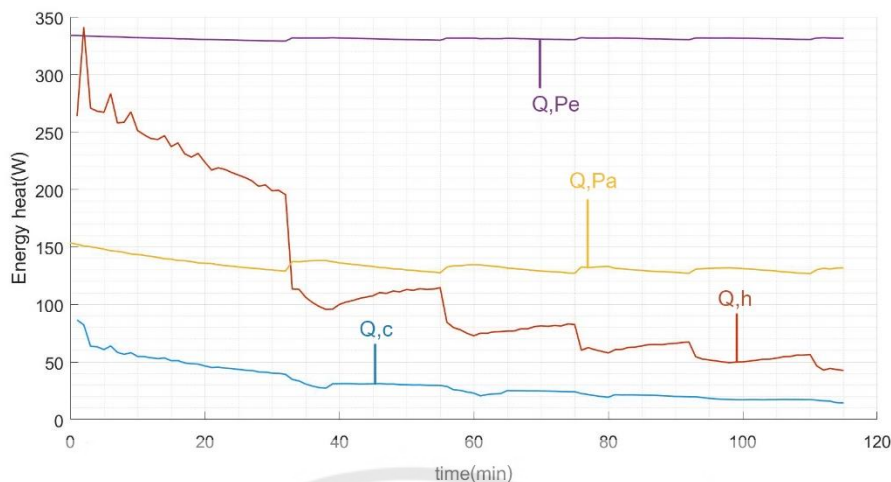
รูปที่ 4.12 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 4

จากรูปที่ 4.12 เมื่อเปิดการทำงานของเพลเทียร์จนน้ำด้านเย็นมีอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส แล้วเปิดปั๊มน้ำเข้าที่นอนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นปิดปั๊มน้ำเข้าที่นอนและเปิดการทำงานของเพลเทียร์ โดยทำรูปแบบเดิม จำนวน 5 ครั้ง การทดลองรูปแบบที่ 4 ใช้เวลา 116 นาที พบว่าเมื่อเปิดการทำงานของเพลเทียร์ 5 นาที ด้านร้อนมีอุณหภูมิลดลงประมาณ 2 องศาเซลเซียส ในทุกครั้งที่มีการปิดการทำงานของเพลเทียร์ เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก อุณหภูมิน้ำด้านเย็นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในแต่ละครั้ง 6, 5, 4, 4 และ 3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะเห็นว่าอุณหภูมิน้ำเย็นที่เพิ่มขึ้นในครั้งแรกมีค่ามากกว่า เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับที่นอนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิน้ำในท่อน้ำ และในครั้งต่อไปมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากอุณหภูมิกายในที่นอนลดลงจากการเปิดปั๊มน้ำเข้าที่นอนในครั้งก่อน



รูปที่ 4.13 กราฟอุณหภูมิในที่นอนของการทดลองรูปแบบที่ 4

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิภายในที่นอนของแต่ละจุด ซึ่งจุดที่ต่ำที่สุดคือจุดที่ 4 และมากที่สุดคือจุดที่ 5 จากกราฟจะแสดงถึงอุณหภูมิที่คงที่ในช่วงเวลาที่ 0 ถึง 37 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ให้เพลเทียร์ทำงานจนอุณหภูมิน้ำเย็นลดลงถึง 12 องศาเซลเซียส และเมื่อเปิดปั๊มให้กับที่นอนในช่วงเวลา 37 – 46 นาที เป็นช่วงที่อุณหภูมิในที่นอนมีค่าลดลง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ที่นอนแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นภายในท่อ ซึ่งเป็นเวลา 9 นาที จากการเปิดปั๊ม 5 นาที ซึ่งจากรูปที่ 4.12 ปิดปั๊มน้ำเข้าที่นอนตั้งแต่วันที่ 39 จะเห็นว่าอุณหภูมิภายในที่นอนลดลงจากอุณหภูมิของน้ำที่อยู่ในที่นอน และจากรูปที่ 4.13 เริ่มคงที่ในช่วงเวลาที่ 46 – 56 นาที เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปิดปั๊มน้ำเข้าที่นอนจนกระทั่งเปิดปั๊มอีกครั้งอุณหภูมิถึงจะลดลง และมีรูปแบบเดิมในอีก 4 ครั้ง ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิภายในที่นอนยังสามารถลดลงได้อีกหากทำการทดลองเพิ่มเติม

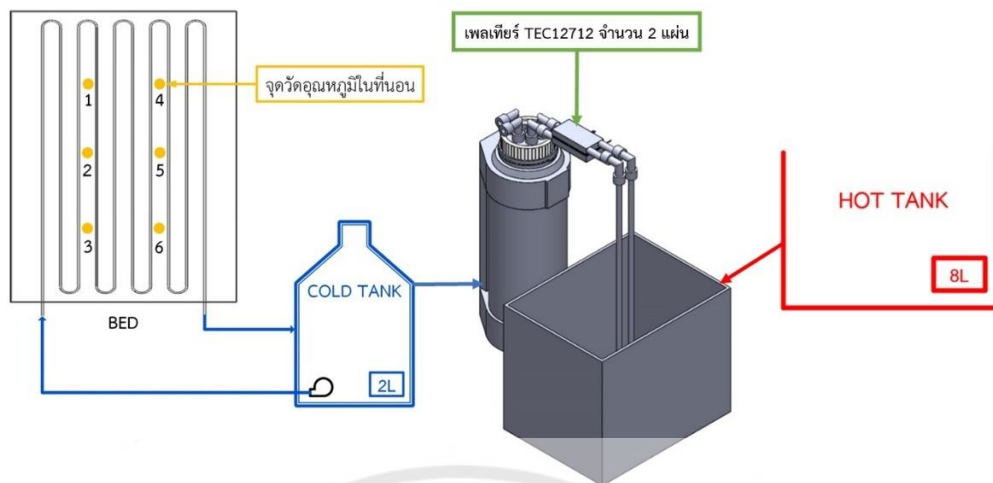


รูปที่ 4.14 กราฟพลังงานของการทดลองรูปแบบที่ 4

จากรูปที่ 4.14 พลังงานเพลเทียร์นั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ปิดการทำงานของเพลเทียร์ ทั้งด้านดูดซับและปลดปล่อย จากกราฟเห็นว่าช่วงเวลาที่ปิดเพลเทียร์พลังงานความร้อนของเพลเทียร์มีค่าเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้พลังงานความร้อนในน้ำทั้งด้านร้อนและด้านเย็นลดลง เห็นได้ชัดในพลังงานความร้อนในน้ำด้านร้อนเมื่อมีการปิดเพลเทียร์พลังงานความร้อนลดลงเนื่องจากไม่ได้รับพลังงาน และเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปิดการทำงานของเพลเทียร์อีกครั้ง แต่ในพลังงานความร้อนด้านเย็นที่มีเปลี่ยนแปลงน้อยเนื่องจากปริมาณของน้ำเย็นนั้นมีค่าน้อย

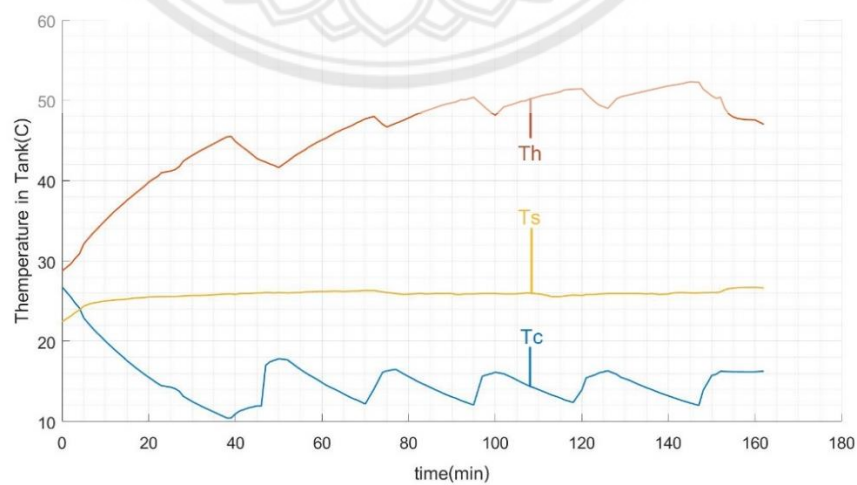
จากการทดลองที่ผ่านมาทราบว่าการทำงานความเย็นของเพลเทียร์นั้นสามารถทำให้อุณหภูมิของที่นอนต่ำสุดคือ 21.6 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการทำงานความเย็น 116 นาที และรูปแบบของการทดลองนี้ ได้ใช้ฝักบัวในการเพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศแวดล้อมทำให้อุณหภูมิน้ำด้านร้อนมีอุณหภูมิสูงสุด 42 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับกรทดลองรูปแบบที่ 3 ความแตกต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นกับ ณ เวลาที่ 32 นาที โดยที่อุณหภูมิน้ำด้านร้อนการทดลองรูปแบบที่ 3 คือ 17 องศาเซลเซียส และการทดลองรูปแบบที่ 4 คือ 9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำด้านเย็นของการทดลองรูปแบบที่ 3 คือ 16 องศาเซลเซียส และการทดลองรูปแบบที่ 4 คือ 16 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่าอุณหภูมิน้ำด้านร้อนของรูปแบบที่ 4 เพิ่มขึ้นน้อยกว่ารูปแบบที่ 3 จากการที่เพิ่มการระบายความร้อนด้วยฝักบัว

การทดลองรูปแบบที่ 5 จ่ายแรงดันไฟ 11.7 โวลต์ จ่ายกระแสไฟ 7.67 แอมแปร์ ใช้ปริมาณน้ำด้านร้อน 8 ลิตร น้ำด้านเย็น 2 ลิตร จ่ายน้ำด้านเย็นให้กับที่นอน ดังรูป 4.15



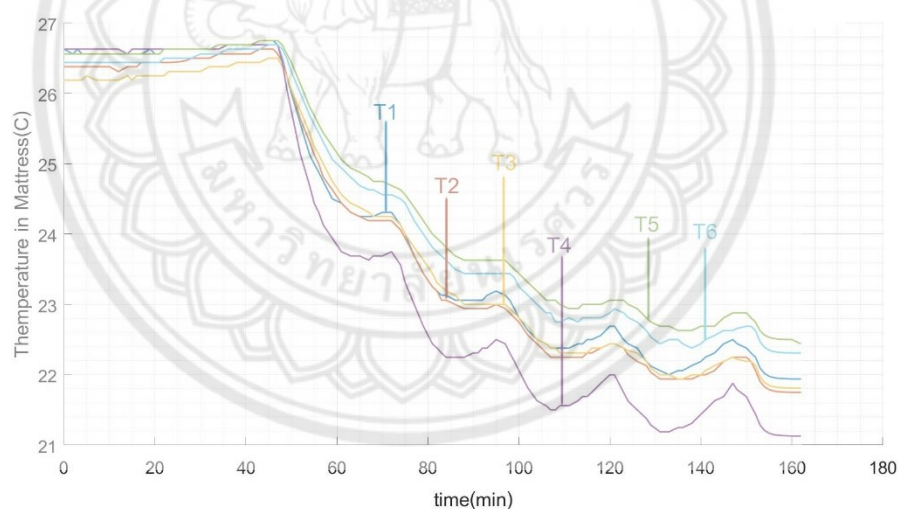
รูปที่ 4.15 การทดลองรูปแบบที่ 5

จากรูปที่ 4.15 มีการใช้รูปแบบการทดลองเหมือนกันกับการทดลองรูปแบบที่ 4 เมื่อทำการทดลองได้พล็อตกราฟและคำนวณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบ แสดงผลในรูปที่ 4.16, 4.17 และ 4.18 โดย T1-T6 คือ อุณหภูมิที่วัดจากเซนเซอร์ในที่นอน  $T_h$  คือ อุณหภูมิน้ำด้านร้อน  $T_c$  คือ อุณหภูมิน้ำด้านเย็น  $T_s$  คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (อุณหภูมิห้อง)  $Q_h$  คือ พลังงานปริมาณความร้อนในน้ำด้านร้อน  $Q_c$  คือ พลังงานปริมาณความร้อนในน้ำด้านเย็น  $Q$ ,  $P_e$  คือ พลังงานปริมาณความร้อนในเพลเทียร์ปลดปล่อย และ  $Q$ ,  $P_a$  คือ พลังงานปริมาณความร้อนในเพลเทียร์ดูดซับ



รูปที่ 4.16 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 5

จากรูปที่ 4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำด้านร้อนที่อยู่ในถังระบายอากาศ อุณหภูมิของน้ำด้านเย็นที่อยู่ในถังเก็บอุณหภูมิ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เมื่อเพลเทียร์ทำงานจนได้อุณหภูมิของน้ำเย็นลดต่ำถึง 12 องศาเซลเซียส ทำการหยุดการทำงานของเพลเทียร์และเปิดปั๊มน้ำเข้าสู่ที่นอน เห็นว่าอุณหภูมิของน้ำด้านเย็นเพิ่มขึ้นจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับที่นอน เมื่อครบ 5 นาที ปิดปั๊มน้ำที่เข้าสู่ที่นอนและเปิดระบบเพลเทียร์อุณหภูมิลดลงอีกครั้ง มีค่าอุณหภูมิน้ำด้านร้อนที่ลดลงในแต่ละครั้ง 5, 1, 2, 2 และ 2 องศาเซลเซียส ในด้านของน้ำด้านเย็นนั้นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในแต่ละครั้ง 8, 4, 4, 3 และ 3 องศาเซลเซียส ซึ่งในครั้งแรกนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับที่นอนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าในท่อ ระยะเวลาการทำความเย็นจนถึง 12 องศาเซลเซียส นั้นมีเวลาที่ใกล้เคียงกัน น้ำร้อนนั้นมีอุณหภูมิสูงถึง 51 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 162 นาที เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 4 เห็นว่าใช้เวลามากกว่าเนื่องจากน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงกว่าทำให้ทำความเย็นได้ช้ากว่า

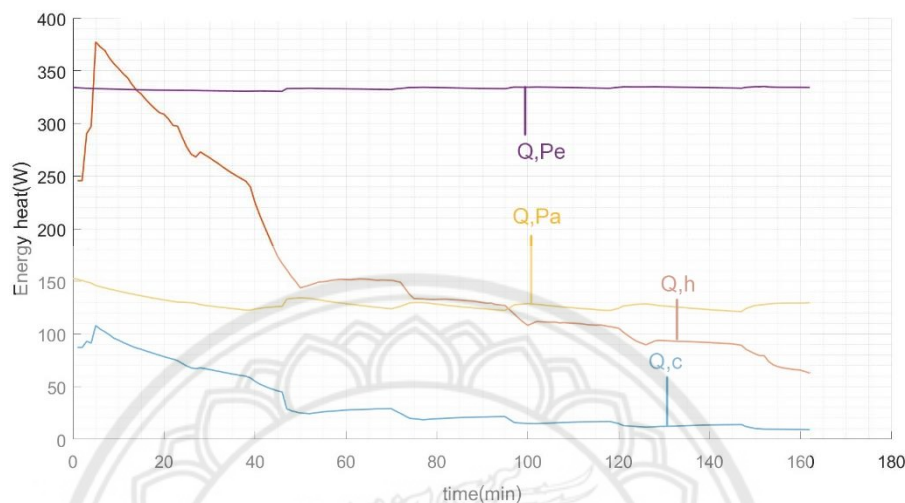


รูปที่ 4.17 กราฟอุณหภูมิที่นอนของการทดลองรูปแบบที่ 5

จากรูปที่ 4.17 แสดงถึงอุณหภูมิของที่นอนลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเปิดปั๊มน้ำเข้าสู่ที่นอน เมื่อน้ำเย็นอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เพื่อแลกเปลี่ยนอุณหภูมิภายในเตียง เมื่อหยุดปั๊มน้ำแล้วอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงช้าลง หากเปิดปั๊มน้ำอีกครั้งอุณหภูมิลดลง และลดต่ำสุด 21.6 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 162 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกรทดลองรูปแบบที่ 4 ที่มีอุณหภูมิต่ำสุดคือ 21.4 องศาเซลเซียส ใช้



เวลาทำการทดลอง 116 นาที ซึ่งมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันแม้ว่าการทดลองรูปแบบที่ 4 ใช้เวลาทำการทดลองมากกว่า 46 นาที



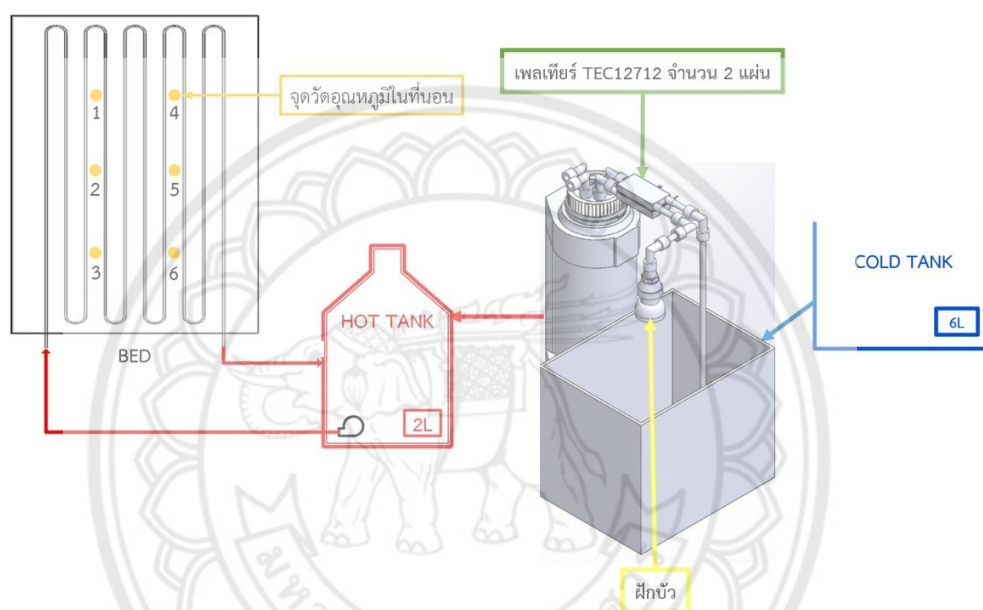
รูปที่ 4.18 กราฟพลังงานของการทดลองรูปแบบที่ 5

จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าปริมาณพลังงานความร้อนของน้ำมีค่าแตกต่างกับพลังงานความร้อนของเพลเทียร์ ซึ่งพลังงานความร้อนของเพลเทียร์นั้นยังอยู่ในช่วงเดิม แต่ปริมาณพลังงานความร้อนของน้ำด้านร้อนนั้นในช่วงแรกมีค่าสูงมากเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว และปริมาณของน้ำมี 8 ลิตร ทำให้ค่าพลังงานความร้อนขึ้นสูง แต่ปริมาณพลังงานความร้อนในน้ำด้านเย็นนั้นไม่ได้มีค่าสูงมากเนื่องจากมีปริมาณน้ำ 2 ลิตร แต่เมื่อเทียบกับการทดลองรูปแบบที่ 4 ค่าของพลังงานปริมาณความร้อนในน้ำเย็นมีค่าสูงกว่าในช่วงเริ่มต้น และช่วงสุดท้ายของการทดลองนั้นพลังงานปริมาณความร้อนในน้ำเย็นของการทดลองรูปแบบที่ 5 นั้นมีค่าต่ำกว่าการทดลองรูปแบบที่ 4

ในการทดลองรูปแบบที่ 5 ใช้เวลาทำอุณหภูมิ 162 นาที สามารถทำให้อุณหภูมิของที่นอนต่ำสุดคือ 21.4 องศาเซลเซียส และรูปแบบของการทดลองนี้เพิ่มปริมาณน้ำเป็น 8 ลิตร ทำให้อุณหภูมิ น้ำด้านร้อนมีอุณหภูมิสูงสุด 52 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองรูปแบบที่ 3 และ 4 ความแตกต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นกับเวลาที่ 32 นาที ในการทดลองรูปแบบที่ 3, 4 และ 5 มีความแตกต่างของอุณหภูมิ น้ำด้านร้อนของแต่ละรูปแบบ คือ 17, 9 และ 16 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำด้านเย็นของแต่ละรูปแบบคือ 16 องศาเซลเซียสเหมือนกัน เห็นได้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำด้านร้อนที่ต่ำที่สุด คือ การทดลองรูปแบบที่ 4 เป็นการใช้ฝักบัวในการระบาย

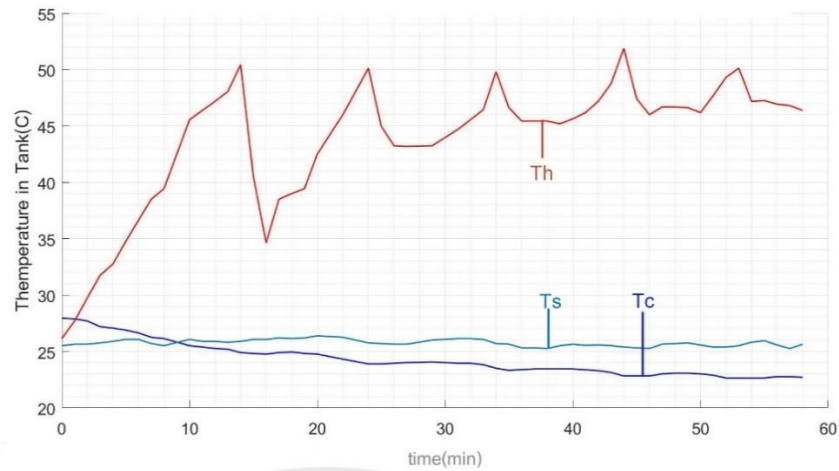
ความร้อน ส่วนการเพิ่มปริมาณน้ำในการทดลองรูปแบบที่ 5 สามารถลดความแตกต่างของอุณหภูมิได้เช่นกัน แต่ความต่างอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 5 น้อยกว่าความแตกต่างอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 4

การทดลองรูปแบบที่ 6 จ่ายแรงดันไฟ 11.7 โวลต์ จ่ายกระแสไฟ 7.67 แอมแปร์ ใช้ปริมาณน้ำด้านร้อน 2 ลิตร และใช้ปริมาณน้ำด้านเย็น 6 ลิตร ดังรูปที่ 4.19



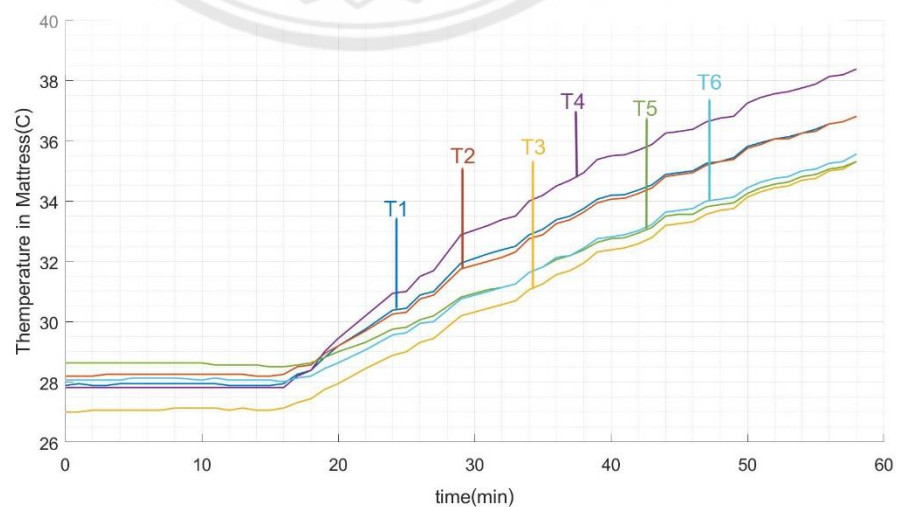
รูปที่ 4.19 การทดลองรูปแบบที่ 6

ทำการสลับด้านเพลเทียร์ ด้านร้อนอยู่ในถังสุญญากาศ ส่วนน้ำเย็นสลับเป็นถังเปิดสู่อากาศ ทำการทดลองวัดค่าอุณหภูมิแล้วนำมาคำนวณ ผลดังรูปที่ 4.20, 4.21 และ 4.22 โดย T1-T6 คือ อุณหภูมิที่วัดจากเซนเซอร์ในที่นอน  $T_h$  คือ อุณหภูมิน้ำด้านร้อน  $T_c$  คือ อุณหภูมิน้ำด้านเย็น  $T_s$  คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (อุณหภูมิห้อง)  $Q_h$  คือ พลังงานปริมาณความร้อนในน้ำด้านร้อน  $Q_c$  คือ พลังงานปริมาณความร้อนในน้ำด้านเย็น  $Q$ ,  $Pe$  คือ พลังงานปริมาณความร้อนในเพลเทียร์ปลดปล่อย และ  $Q$ ,  $Pa$  คือ พลังงานปริมาณความร้อนในเพลเทียร์ดูดซับ



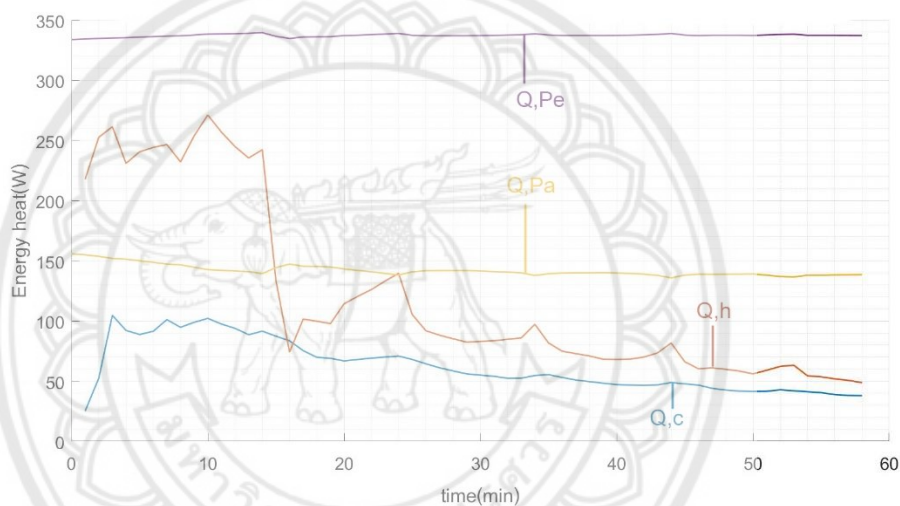
รูปที่ 4.20 กราฟอุณหภูมิของการทดลองรูปแบบที่ 6

จากรูปที่ 4.20 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำด้านร้อนที่อยู่ในถังน้ำเก็บอุณหภูมิอย่างชัดเจน และอุณหภูมิของน้ำด้านเย็นที่เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ และมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศภายนอก เนื่องจากน้ำมีปริมาณมากขึ้นเป็น 6 ลิตร และมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนกับอุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิของน้ำร้อนนั้นมีอุณหภูมิลดลงเมื่อปิดการทำงานของเพลเทียร์มีอุณหภูมิลดลง 15, 6, 5, 5 และ 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิน้ำเย็นมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก และมีค่าลดลงจากอุณหภูมิเริ่มต้นเล็กน้อย ซึ่งลดลงจากอุณหภูมิเริ่มเพียง 5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำร้อนนั้นมีอุณหภูมิสูงจากเริ่มต้น 20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.21 กราฟอุณหภูมิในที่นอนของการทดลองรูปแบบที่ 6

จากรูปที่ 4.21 ที่แสดงถึงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปิดปั๊มน้ำร้อนเข้าสู่เตียง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟทดลองรูปแบบที่ 4 และ 5 แล้ว เห็นว่าความชันของน้ำร้อนที่เข้าที่นอนนั้นสูงกว่าความชันของกราฟน้ำเย็นที่เข้าสู่ที่นอน เห็นว่าความต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนเริ่มต้นกับสุดท้าย 10 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 58 นาที จากกราฟแสดงค่าความชันที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และอุณหภูมิที่เปิดปั๊มน้ำเข้าเตียงนั้นมีค่า 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นในเตียงกับอุณหภูมิในท่อที่ปั๊มน้ำเข้าที่นอน-นั้นมีความต่างกันมากถึง 22 องศาเซลเซียสจึงทำให้กราฟของอุณหภูมิภายในที่นอนนั้นเพิ่มขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.22 กราฟพลังงานของการทดลองรูปแบบที่ 6

จากรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าปริมาณพลังงานความร้อนของน้ำด้านร้อนนั้นมีค่าสูงในช่วงเริ่มต้นของการทำงาน เมื่อปิดการทำงานของเพลเทียร์แล้วทำให้พลังงานความร้อนของน้ำด้านร้อนลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่ได้รับพลังงานความร้อนจากเพลเทียร์ และพลังงานความร้อนของเพลเทียร์มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองรูปแบบที่ 4 และ 5 เนื่องจากต่อระบบเพลเทียร์รูปแบบเดียวกัน และให้พลังงานไฟฟ้าเท่ากัน

ในการทดลองรูปแบบที่ 6 เป็นการทดลองเพื่อดูการทำอุณหภูมิความร้อนให้กับที่นอนของเพลเทียร์ เวลาที่ใช้ทำอุณหภูมิ และอุณหภูมิที่สามารถทำได้ ผลที่ได้ คือ ใช้เวลาทำอุณหภูมิ 58 นาที อุณหภูมิในที่นอนสูงสุด คือ 38.5 องศาเซลเซียส เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณหาพลังงานเพลเทียร์แล้วพบว่า เพลเทียร์มีความสามารถในการทำอุณหภูมิน้ำด้านร้อนให้กับที่นอนเป็นอย่างดี

## 4.2 คำนวณหาสมการทำนายผลอุณหภูมิ

หาสมการประมาณค่าพลังงานของเพลเทียร์ที่ดูดซับ ( $Q_e$ ) และพลังงานที่เพลเทียร์ปลดปล่อย ( $Q_a$ ) โดยขึ้นอยู่กับเวลา ( $t$ ) จากสมการประมาณค่า 3<sup>rd</sup> order Newton Polynomial Interpolation โดยใช้ค่าจากการทดลองรูปแบบที่ 3 ดังรูปที่ 4.10 ในการคำนวณ

$$Q_e(t) = (-4.3064 \times 10^{-10})t^3 + (5.1697 \times 10^{-6})t^2 + (-0.0237)t + 151.9312 \quad (14)$$

$$Q_a(t) = (-1.2123)t^3 + (1.0882 \times 10^{-6})t^2 + (-0.0027)t + 331.4092 \quad (15)$$

เมื่อได้สมการประมาณค่าพลังงานของเพลเทียร์ที่ขึ้นอยู่กับเวลา โดยค่ามีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ให้หาค่าประมาณความต่างของอุณหภูมิ ( $\Delta T$ ) ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อน ( $T_{e,water}$ ) และอุณหภูมิของน้ำเย็น ( $T_{a,water}$ ) จากสมการการหาปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นกับน้ำทั้งสองฝั่ง โดยขึ้นอยู่กับเวลาเนื่องจากหน่วยของพลังงานของเพลเทียร์ทั้งสองเป็นค่าวัตต์ (W) จากสมการที่ 10 นำมาเปลี่ยนรูปได้ดังนี้

$$\Delta T = T_e - T_a \quad (16)$$

$$T_{e,water} = \frac{Q_e \cdot t}{m_e \cdot c} + T_{ei} \quad (17)$$

$$T_{a,water} = \frac{-Q_a \cdot t}{m_a \cdot c} + T_{ai} \quad (18)$$

โดยที่

$t$  คือ เวลา (s)

$c$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg·K)

$m_e$  คือ มวลของน้ำด้านร้อน (kg)

$m_a$  คือ มวลของน้ำด้านเย็น (kg)

$T_{ei}$  คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำด้านร้อน (K)

$T_{ai}$  คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำด้านเย็น (K)

คำนวณหาอุณหภูมิที่เพลเทียร์ สามารถทำได้โดยขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของเพลเทียร์ และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้า โดยใช้ความต่างของอุณหภูมิ ( $\Delta T$ ) ที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ 17 และ สมการที่ 18 พลังงานความร้อนของเพลเทียร์จากสมการที่ 19 และสมการที่ 20 จากนั้นได้ค่าของอุณหภูมิ

เพลเทียร์ที่ปลดปล่อย ( $T_{a,peltier}$ ) และค่าของอุณหภูมิเพลเทียร์ที่ดูดซับ ( $T_{e,peltier}$ ) จากสมการที่ 8 และ 9 นำมาเปลี่ยนรูปได้ดังนี้

$$T_{a,peltier} = \frac{Q_a + \frac{\Delta T}{\theta} + \left(\frac{I^2 R}{2}\right)}{\alpha \cdot I} \quad (19)$$

$$T_{e,peltier} = \frac{Q_e + \frac{\Delta T}{\theta} - \left(\frac{I^2 R}{2}\right)}{\alpha \cdot I} \quad (20)$$

จากอุณหภูมิที่ได้นั้นเป็นค่าอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับเวลา ปริมาณน้ำที่ใช้ในด้านร้อนและด้านเย็น อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำด้านร้อนและด้านเย็น ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเพลเทียร์ และค่าคงที่ของเพลเทียร์

ค่าที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนปริมาตรของน้ำที่ต่างกว่า ต้นแบบการทดลองที่นำมาคำนวณ โดยที่สมการทำนายผลนี้มีความผิดพลาดน้อยเมื่อรูปแบบของการทดลองที่ทำนายนั้นมีความใกล้เคียงกับการทดลองต้นแบบ

เมื่อเปรียบเทียบจากการทดลองรูปแบบที่ 3 จากการใช้สมการที่ 14 – 20 โดยคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำเย็นเมื่อเวลาผ่านไป 20, 40 และ 60 นาที คำนวณทั้งหมด 3 ครั้ง โดยใช้ค่าที่คำนวณ คือ

$$T_{ei} = 25 \text{ C}, T_{ai} = 25 \text{ C}, m_e = 6 \text{ kg}, m_a = 2 \text{ kg}, I = 15.34 \text{ A}, V = 11.7 \text{ V}$$

จากสมการที่ 14 และ 15 เมื่อแทนค่าของเวลาลงในสมการค่าที่คำนวณได้ คือ

$$\text{ครั้งที่ 1 ; } t = 1200 \text{ s}, Q_a = 30.1765 \text{ W}, Q_e = 329.41 \text{ W}$$

$$\text{ครั้งที่ 2 ; } t = 2400 \text{ s}, Q_a = 118.8459 \text{ W}, Q_e = 329.4286 \text{ W}$$

$$\text{ครั้งที่ 3 ; } t = 3600 \text{ s}, Q_a = 113.4742 \text{ W}, Q_e = 329.9969 \text{ W}$$

จากสมการที่ 16 ที่คำนวณได้จากสมการที่ 17 และ 18 เมื่อแทนค่าที่ได้จากการคำนวณ สมการ 14 และ 15 ลงในสมการค่าที่คำนวณได้ คือ

$$\text{ครั้งที่ 1 ; } \Delta T = 34.3893$$

$$\text{ครั้งที่ 2 ; } \Delta T = 47.4102$$

$$\text{ครั้งที่ 3 ; } \Delta T = 48.51$$

จากสมการที่ 19 และ 20 เมื่อแทนค่าที่ได้จากการคำนวณสมการที่ 16 และค่าคงที่ของเพลเทียร์ ลงในสมการค่าที่คำนวณได้ คือ

$$\text{ครั้งที่ 1 ; } T_{a,\text{peltier}} = 292.1835 \text{ K, } T_{e,\text{peltier}} = 316.4816 \text{ K}$$

$$\text{ครั้งที่ 2 ; } T_{a,\text{peltier}} = 286.4601 \text{ K, } T_{e,\text{peltier}} = 324.7184 \text{ K}$$

$$\text{ครั้งที่ 3 ; } T_{a,\text{peltier}} = 280.54 \text{ K, } T_{e,\text{peltier}} = 326.12 \text{ K}$$

โดยค่าอุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำเย็นจากการทดลองรูปแบบที่ 3 ตามเวลาที่ 1200, 2400 และ 3600 คือ น้ำร้อนจากการวัดมีค่า 310.2500, 318.9400 และ 324.2500 น้ำเย็นจากการวัดมีค่า 285.8800, 280.6900 และ 278.6900 ตามลำดับ โดยค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 2%



## บทที่ 5

### สรุป

จากการศึกษากระบวนการสร้างพลังงานความร้อนในแผ่นเพลเทียร์ ปริมาณพลังงานความร้อนในน้ำ ทดลองหาลักษณะการทำงานของแผ่นเพลเทียร์เพื่อนำไปสร้างสมการคำนวณหาอุณหภูมิ น้ำเย็นและน้ำร้อนที่ได้ รวมถึงทดลองและศึกษาการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนของแผ่นเพลเทียร์ มาใช้ในการปรับอุณหภูมิให้กับที่นอน ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองทั้งหมด 6 รูปแบบ โดยทำการทดลองกับแผ่นเพลเทียร์ชนิด TEC12706 1 แผ่น ในการทดลองรูปแบบที่ 1 ใช้แผ่นเพลเทียร์ชนิด TEC12712 1 แผ่น ในการทดลองรูปแบบที่ 2 และใช้แผ่นเพลเทียร์ 2 แผ่น สำหรับการทดลองรูปแบบที่ 3, 4, 5 และ 6 ซึ่งมีการทดลอง คือ รูปแบบที่ 1 ใช้ถึงน้ำจำนวน 2 ถัง คือ ถังน้ำร้อนและถังน้ำเย็นแบบหุ้มฉนวน รูปแบบที่ 2 ใช้ถึงน้ำจำนวน 2 ถัง คือ ถังน้ำร้อนและถังน้ำเย็นแบบหุ้มฉนวน รูปแบบที่ 3 ใช้ถึงน้ำร้อนเป็นแบบไม่หุ้มฉนวน และถังน้ำเย็นแบบหุ้มฉนวน รูปแบบที่ 4 มีการใช้ฝักบัวระบายความร้อน ทำอุณหภูมิแล้วจ่ายน้ำเย็นให้กับที่นอน และรูปแบบที่ 5 ทำอุณหภูมิโดยไม่ใช้ฝักบัวจ่ายน้ำเย็นให้กับที่นอน รูปแบบที่ 6 ใช้แผ่นเพลเทียร์ทำอุณหภูมิแล้วจ่ายน้ำร้อนให้กับที่นอน โดยการทดลองทั้งหมดมีการบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่จุดต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าพลังงานที่ระบบทำได้ทั้งการดูดซับและปลดปล่อยโดยใช้สมการเพลเทียร์

ผลการศึกษา พบว่าความสามารถในการทำอุณหภูมิให้กับน้ำที่มีปริมาณเท่ากัน ของแผ่นเพลเทียร์ชนิด TEC12712 ดีกว่า เนื่องจากมีพลังงานความร้อนของแผ่นเพลเทียร์ด้านร้อนและด้านเย็นสูงกว่าแผ่นเพลเทียร์ชนิด TEC12706 เพราะเพลเทียร์สามารถได้รับพลังงานไฟฟ้าสูงกว่า และผลจากการทดลองอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่เพลเทียร์สามารถทำได้นั้นคือการทดลองรูปแบบที่ 2 ของเพลเทียร์ TEC12712 จากการศึกษาลักษณะการทำงานของแผ่นเพลเทียร์ของทดลองรูปแบบที่ 3 ทำให้ทราบถึงการทำงาน 1 ชั่วโมง พบว่าพลังงานของแผ่นเพลเทียร์ที่ปลดปล่อยมีค่าคงที่มากกว่าพลังงานของแผ่นเพลเทียร์ที่ดูดซับ เมื่อสร้างสมการจากค่าพลังงานความร้อนของแผ่นเพลเทียร์ เพื่อคำนวณ



อุณหภูมิที่เป็นไปได้ของการทดลองในเวลาต่างๆ ซึ่งเกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ ในการทดลองรูปแบบที่ 4 และ 5 เป็นการศึกษาผลความสามารถในการทำความเย็นให้กับที่นอน การทดลองรูปแบบที่ 4 ใช้เวลาทำอุณหภูมิ 116 นาที อุณหภูมิต่ำสุดในที่นอนคือ 21.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดในน้ำด้านร้อนคือ 42 องศาเซลเซียส และการทดลองรูปแบบที่ 5 ใช้เวลาทำอุณหภูมิ 162 นาที อุณหภูมิต่ำสุดในที่นอนคือ 21.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในน้ำด้านร้อนสูงสุดคือ 52 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่าอุณหภูมิ น้ำด้านร้อนของการทดลองรูปแบบที่ 4 ต่ำกว่าการทดลองรูปแบบที่ 5 เนื่องจากมีฝักบัวช่วยระบายความร้อนในน้ำด้านร้อน ทำให้น้ำด้านร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่มาก ส่งผลให้ทำน้ำเย็นได้ดี และใช้เวลาทำการทดลองน้อยลง การทดลองรูปแบบที่ 6 เป็นการศึกษาผลความสามารถในการทำความร้อนให้กับที่นอน ใช้เวลาทำการทดลอง 58 นาที ได้ อุณหภูมิในที่นอน 38.5 องศาเซลเซียส จากการทดลองนี้ แผ่นเพลเทียร์มีความสามารถในการทำ อุณหภูมิ น้ำด้านร้อนให้กับที่นอนเป็นอย่างดี เพราะพลังงานความร้อนของแผ่นเพลเทียร์ด้าน ปลดปล่อย (ด้านร้อน) มีค่าสูงกว่าด้านดูดซับ (ด้านเย็น)

ซึ่งจากการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมานั้นสามารถนำไปใช้งานในระบบควบคุมอุณหภูมิได้ และ อาจจะมีการพัฒนารูปแบบการทดลองอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น เปลี่ยนรูปแบบการวาง Tank ไว้ด้านนอก อาคาร หรือ เปลี่ยนด้าน Tank ให้เป็นการทำงานในรูปแบบ Radiator เมื่อพัฒนารูปแบบการทดลอง แล้วอาจจะพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของเพลเทียร์ให้เป็นรูปแบบของระบบควบคุมอุณหภูมิในที่ นอนที่สามารถทำงานอัตโนมัติและทำอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ

### ข้อจำกัดของงานวิจัย

- การจ่ายไฟให้เพลเทียร์ไม่เต็มประสิทธิภาพ
- ไม่สามารถทราบความร้อนสูญเสียในระบบ
- ท่อที่ใช้ระบายอุณหภูมิให้กับที่นอนมีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ ทำให้อุณหภูมิที่นอนเปลี่ยนแปลงได้ช้า

### ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

- ปรับปรุงวัสดุที่ใช้ทำการทดลอง เพื่อให้มีค่าการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด
- เพิ่มเวลาที่ใช้ทดลองในแต่ละรอบเพื่อที่จะทำให้ค่าของอุณหภูมิกลายเคลื่อนน้อยที่สุด
- ควรศึกษาวัสดุของเพลเทียร์ให้ชัดเจน กรณีที่ใช้ TEC12712 ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณอาจคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เนื่องจากข้อมูลของวัสดุเพลเทียร์ไม่แน่ชัด



## เอกสารอ้างอิง

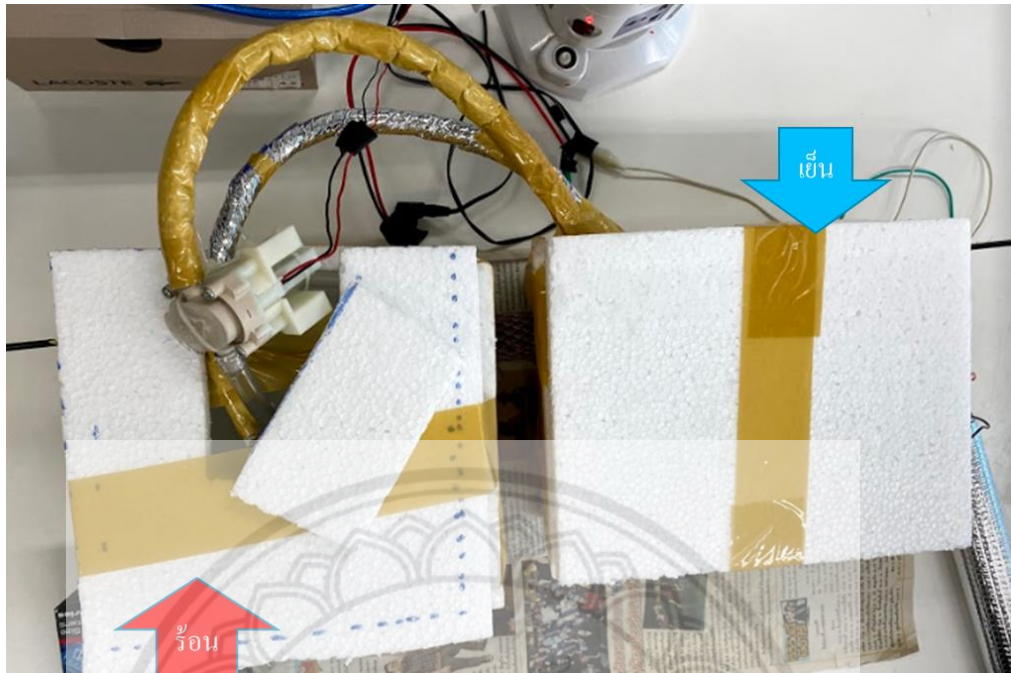
- [1] จิรายุสวัฑฒ ประสม, สิทธิโชค สืบแต่ตระกูล และ ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์. (2562). การศึกษาคุณลักษณะของการทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก. **การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย**. 33(3), 1-8. สืบค้นจาก <http://www.tsme.org/me-nett/me-nett2019/fullpaper/TSF/TSF003.pdf>
- [2] มานัส มงคลสุข. (มปป.) **สภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้า**. สืบค้น 26 เมษายน 2563, จาก <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electric%20current1/index/index12-6.htm>
- [3] วิชญ์ บรรณศิริภู. (มกราคม 2563). การนอนหลับสำคัญอย่างไรทำไมคนต้องนอนหลับ. **ศูนย์รวมการรักษาอนกรนและโรคการหลับ โดยทีมแพทย์และทันตแพทย์วิชาชีพ**. สืบค้นเมื่อ 28 มกราคม 2563, จาก [professionsleepclinic.com/content/21999/การนอนหลับสำคัญอย่างไรทำไมคนต้องนอนหลับ](http://professionsleepclinic.com/content/21999/การนอนหลับสำคัญอย่างไรทำไมคนต้องนอนหลับ)
- [4] Incropera, Frank P. (2007). **Fundamentals of heat and mass transfer / Frank P. Incropera . . . [et.al.]**. (6th ed). Hoboken, NJ. : John wiley&sons.
- [5] Kubov V.I., Dymyrov Y.Y. (2017). Simple method of thermoelectric cooler (Peltier device) parameters determination based on datasheet and modeling results. Version 2. **Method of determination**, n.d., 1-2.
- [6] Mohamad Asmidzam Ahamat, Razali Abidin, Siti Muzahidah Abdullah. (2016). Performance of Thermoelectric Module as a Water Cooler and Water Heater. **International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology**, 6(4), 524-528
- [7] Riverglennapts. (มปป). **กฎแห่งความร้อนของ Joule**. สืบค้น 26 เมษายน 2563, จาก <https://riverglennapts.com/th/joule-law/486-joule8217s-law-of-heating.html>
- [8] Satori Zen. (มปป). **การถ่ายเทความร้อน**. สืบค้น 28 มกราคม 2563, จาก [https://www.academia.edu/5382088/รฎ\\_ายเทความร้อน](https://www.academia.edu/5382088/รฎ_ายเทความร้อน)

- [9] Simon Lineykin, Sam Ben-Yaakov. (2005). Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules. **Power Electronics Research Laboratory**, n.d., 2019-2023
- [10] S.Wiriyasarta, C.Hommaleea, P.Naphona. (2018). Development of cold-hot water dispenser with thermoelectric module systems. **Heat Transfer - Asian Res**, 48(3), 1-10. doi:10.1002/htj.21409
- [11] S.Wiriyasarta, C.Hommaleea, R.Pruraparkb, A.Srichatc, P.Naphona. (2019). Thermal efficiency enhancement of thermoelectric module system for cold-hot water dispenser; Phase II. **Heat Transfer - Asian Res**, (15);1-8. doi:10.1016/j.csite.2019.100520
- [12] Tara Youngblood. (April 11,2018). **Using Cold Therapy to Mitigate Thermogenesis during Sleep**. Retrieved April 27, 2020, from <https://www.chilisleep.com/blogs/newsroom/using-cold-therapy-to-mitigate-thermogenesis-during-sleep>
- [13] Varittha Russamee. (2557). **Cooling Performance of passive cooled ceiling equipped with thermoelectric panels cooled by natural heat sinks**. Master thesis. B.Arch., Chulalongkorn University, Bangkok.
- [14] Yupaprn Namkrajai. (มปป). **การถ่ายโอนความร้อน**. สืบค้น 28 มกราคม 2563, จาก <https://sites.google.com/site/yoncsyonyanggg/>

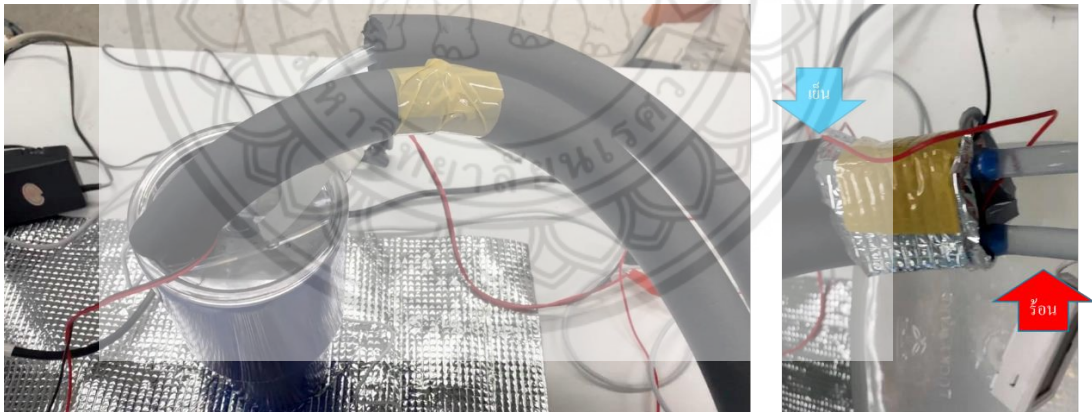


ภาคผนวก ก

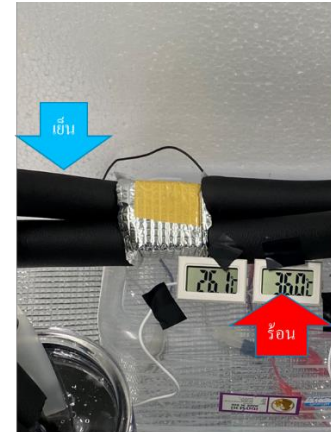
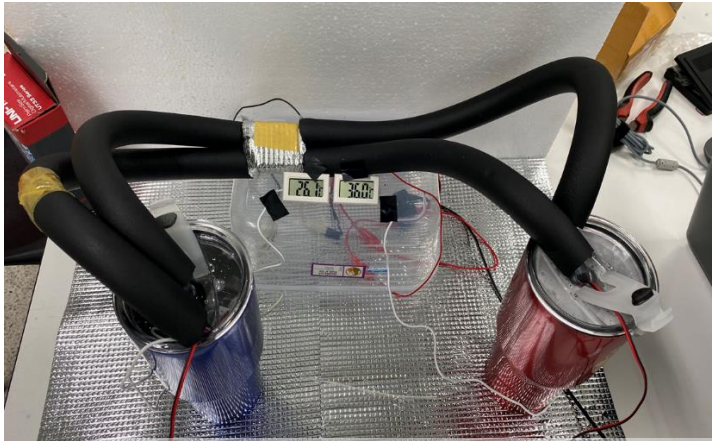
รูปการศึกษาอนุภูมิภาคเอเชีย



รูปที่ ก.1 การทดลองศึกษาพฤติกรรมเพลเทียร์ TEC12706



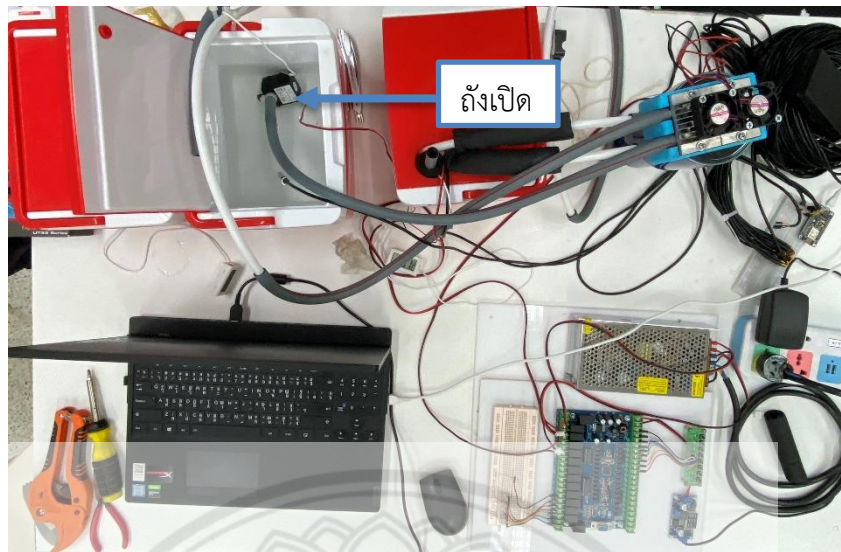
รูปที่ ก.2 ฉนวนหุ้มท่อน้ำฝั่งน้ำเย็นจากเพลเทียร์



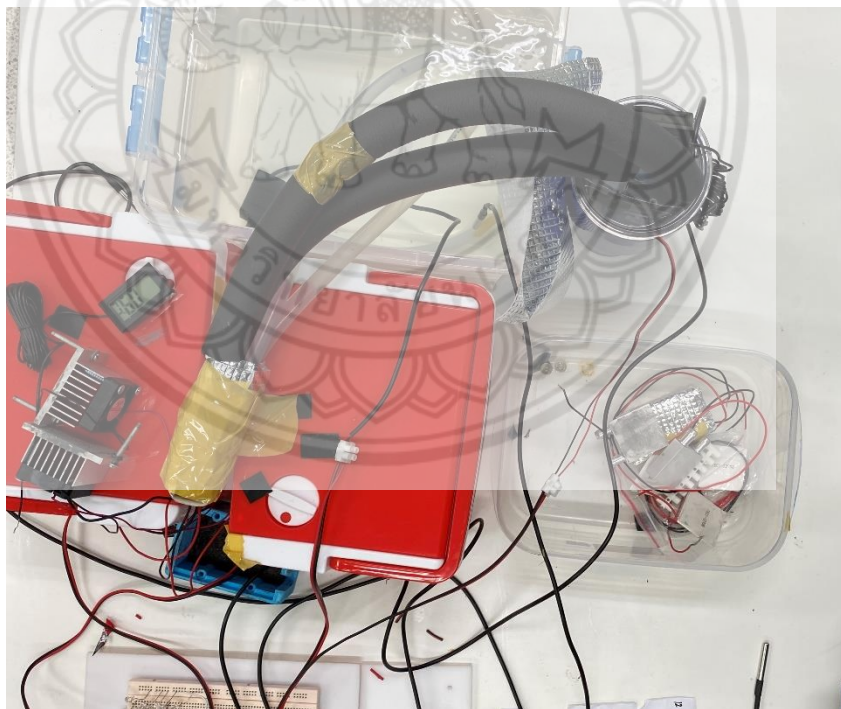
รูปที่ ก.3 ฉนวนหุ้มท่อน้ำทั้งสองฝั่ง



รูปที่ ก.4 ต่อเพลเทียร์ TEC12706 2 แผ่น ทดสอบระดับน้ำ 0.5-1ลิตร

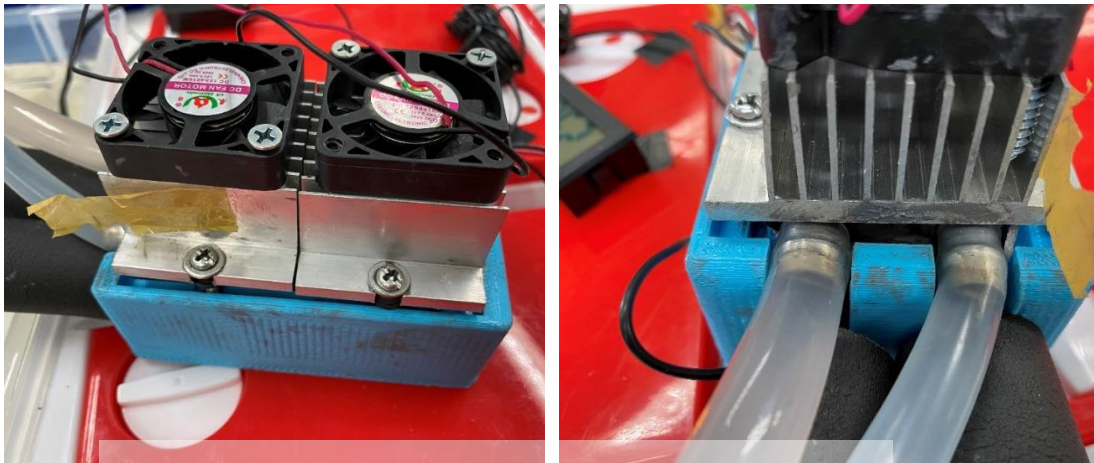


รูปที่ ก.5 การทดลองต่อเพลทีเยอร์ TEC12706 2 แผ่น เพิ่มถังเปิด



รูปที่ ก.6 ใช้แก้วเยติที่ด้านน้ำเย็น 0.9 ลิตร ด้านน้ำร้อนใช้ถังเปิด 6 ลิตร ใช้เวลา 2 ชั่วโมง

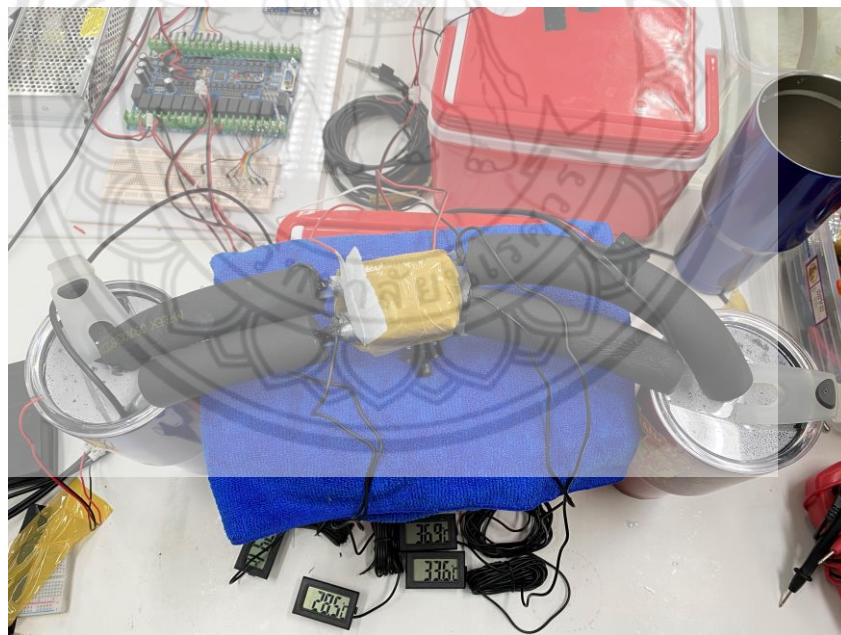




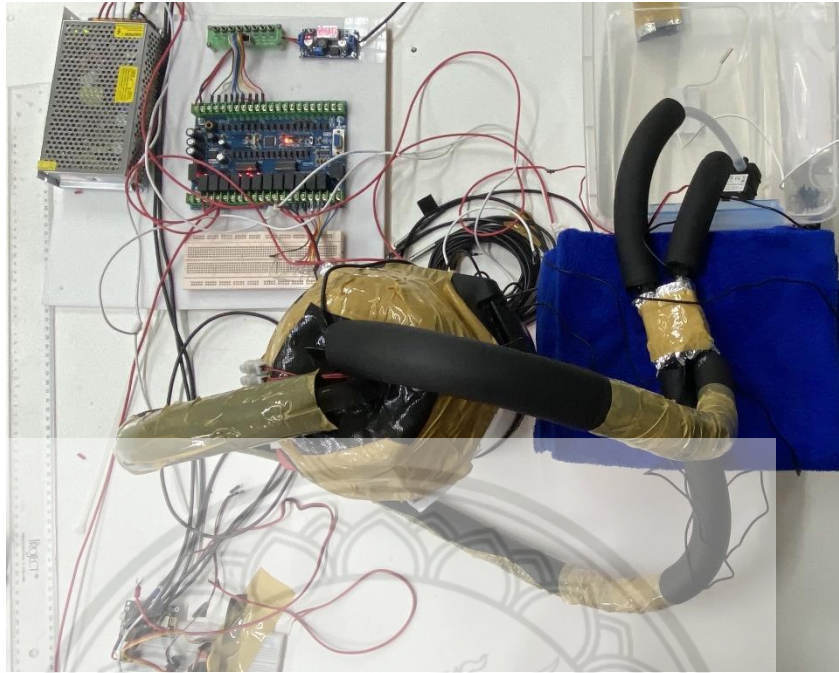
(1)

(2)

รูปที่ ก.7 ใช้ล้อค้ำน้ำประกบด้านเพลเทียร์ TEC12706 2 แผ่น (1) การประกอบระบบเพลเทียร์  
(2) ทางออกน้ำร้อนและเย็นด้านเดียวกัน



รูปที่ ก.8 ทดสอบการทำความร้อนและเย็นของเพลเทียร์ TEC12706 1 แผ่น โดยใช้ระบบปิด



รูปที่ ก.9 ทดสอบการทำความร้อนและเย็นของเพลเทียร์ TEC12712 1 แผ่น โดยเปลี่ยนถึงเก็บน้ำเย็นเป็นกระบอกสุญญากาศ และใช้ระบบปิดเพียงด้านเย็นด้านเดียว



(1)



(2)

รูปที่ ก.10 การปิดฝากระบอกสุญญากาศ (1) ด้านข้าง (2) ด้านบน

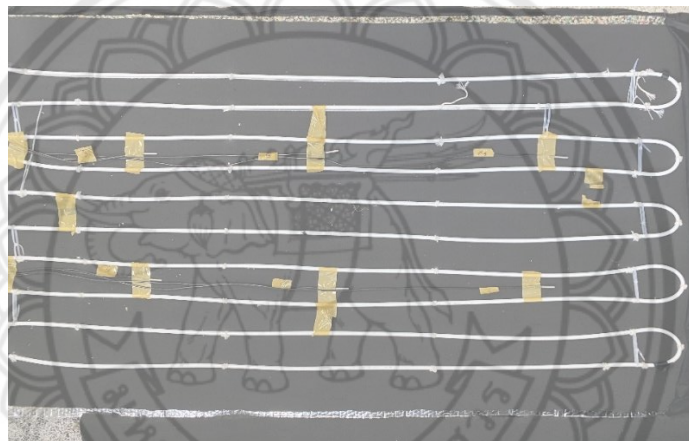


ภาคผนวก ข

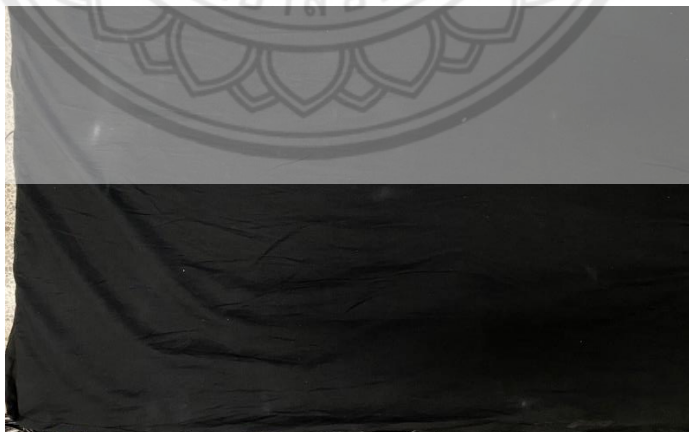
รูปการทดลองจ่ายน้ำเข้าที่นอน



(1)

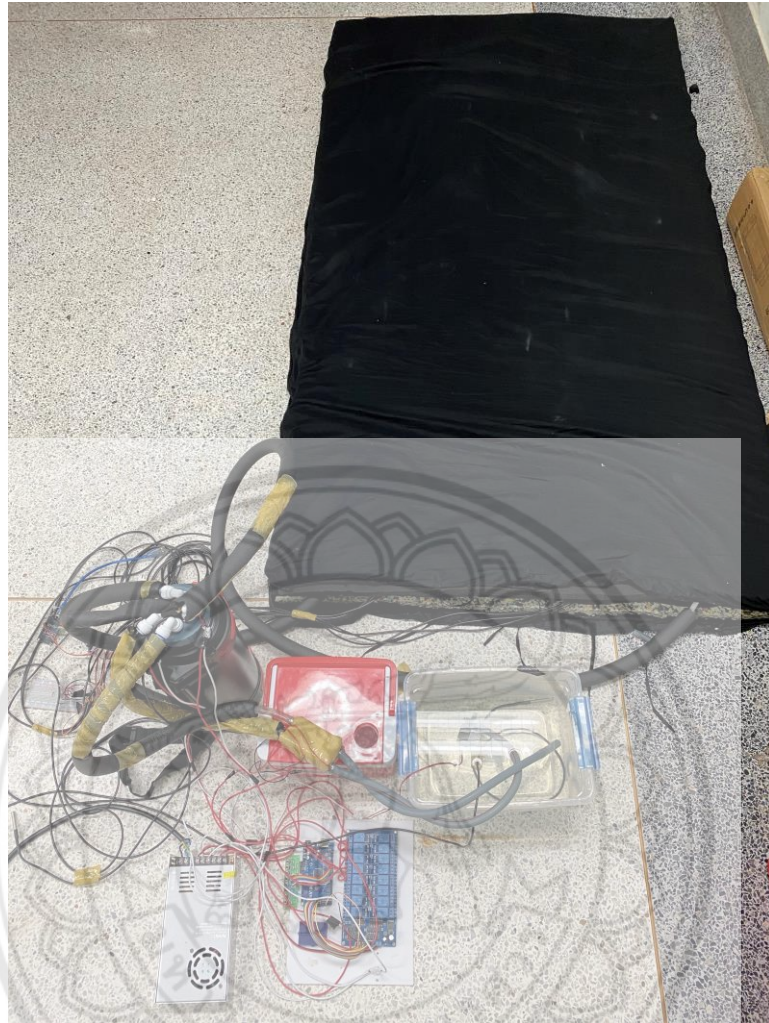


(2)



(3)

รูปที่ ข.1 ที่นอนที่ใช้ในการทดลอง (1) ฉนวนด้านล่างท่อน้ำ (2) การวางท่อน้ำ (3) ด้านบนที่นอน



รูปที่ ข.2 การติดตั้งระบบจ่ายน้ำให้แก่ที่นอน



รูปที่ ข.3 ทดลองใช้เบาะวางทับด้านบนที่นอน ขณะถ่ายให้ให้กับที่นอน



ภาคผนวก ค

ตารางข้อมูลการทดลองศึกษาเพลเทียร์รูปแบบที่ 1-6

ตารางที่ ค.1 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12706 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิน้ำร้อนเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อนออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)
0	29.90	29.90	30.10	29.90	29.38	29.19
1	30.90	31.40	30.10	29.70	29.23	30.72
2	32.60	33.10	29.60	29.20	29.17	32.56
3	33.80	34.30	29.20	28.90	28.60	33.93
4	35.40	35.90	28.90	28.60	28.41	35.38
5	36.90	37.30	28.60	28.20	27.63	36.06
6	38.40	38.90	28.20	27.80	27.31	37.50
7	39.70	40.20	27.90	27.60	27.00	38.88
8	41.00	41.30	27.60	27.20	26.69	40.25
9	42.30	42.80	27.30	27.10	26.38	41.56
10	43.60	44.00	27.10	26.80	26.13	42.94



ตารางที่ ค.2 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12706 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิน้ำร้อนเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อนออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)
0	31.80	32.20	30.90	30.60	30.13	30.44
1	32.30	32.80	30.60	30.20	29.88	31.19
2	33.50	33.90	30.00	29.70	29.44	32.06
3	34.20	34.60	29.70	29.30	29.00	33.06
4	35.20	35.60	29.30	29.00	28.63	33.57
5	36.00	36.40	28.90	28.60	28.19	34.81
6	36.80	37.20	28.60	28.30	27.81	35.75
7	37.70	38.10	28.30	27.90	27.50	36.63
8	38.60	39.00	27.90	27.60	27.13	37.50
9	39.30	39.80	27.60	27.30	26.51	38.26
10	40.20	40.80	27.30	27.00	26.30	39.61

ตารางที่ ค.3 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12706 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิน้ำร้อนเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อนออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)
0	31.30	30.60	30.60	29.81	30.69	31.30
1	33.00	30.30	30.10	29.56	31.31	33.00
2	33.40	30.10	29.80	29.25	32.19	33.40
3	34.8	29.90	29.60	29.00	33.06	34.80
4	35.60	29.60	29.30	28.81	33.94	35.60
5	36.50	29.40	29.10	28.56	34.81	36.50
6	37.30	29.20	28.90	28.38	35.63	37.30
7	38.10	29.10	28.80	28.13	36.44	38.10
8	38.90	28.90	28.50	27.94	37.25	38.90
9	39.60	28.70	28.30	27.75	38.06	39.60
10	40.30	28.50	28.20	27.56	38.81	40.30

ตารางที่ ค.4 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12712 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิน้ำร้อนเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อนออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)
0	29.60	29.50	29.70	29.50	28.75	28.75
1	33.10	34.30	28.40	27.80	27.69	31.69
2	36.30	37.60	27.20	26.70	26.50	34.88
3	39.60	40.80	26.20	25.60	25.44	37.94
4	42.60	43.70	25.30	24.80	24.50	40.94
5	45.30	46.40	24.60	24.10	23.63	43.88
6	48.10	49.10	23.90	23.30	22.88	46.56
7	50.70	51.70	23.20	22.80	22.25	49.13
8	53.20	54.20	22.60	22.20	21.69	51.81
9	55.40	56.45	22.20	21.80	21.19	53.88
10	57.80	58.70	21.80	21.40	20.75	56.19

ตารางที่ ค.5 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12712 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิน้ำร้อนเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อนออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)
0	28.80	28.60	28.30	28.30	27.50	27.94
1	30.80	32.10	27.30	26.60	26.63	29.25
2	33.20	34.50	25.90	25.20	25.38	31.25
3	34.60	35.90	25.10	24.50	24.25	33.19
4	36.30	37.60	24.10	23.60	23.25	35.06
5	38.20	39.30	23.20	22.70	22.31	36.88
6	39.90	41.10	22.30	21.80	21.38	38.63
7	42.10	43.20	21.40	20.90	20.63	40.31
8	43.30	44.40	20.90	20.30	19.88	41.94
9	44.80	46.00	20.20	19.80	19.19	43.50
10	46.40	47.40	19.60	19.20	18.56	45.13

ตารางที่ ค.6 การทดสอบเพลเทียร์ระบบเปิด TEC12712 ในเวลา 10 นาที ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิน้ำร้อนเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อนออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นเข้า เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นออก เพลเทียร์ (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)
0	27.30	27.20	27.20	27.00	26.56	26.94
1	29.90	31.10	26.80	26.00	25.94	28.63
2	31.80	33.00	26.10	25.40	25.25	30.69
3	33.90	35.00	25.30	24.80	24.56	32.63
4	36.70	37.80	24.50	23.90	24.34	35.23
5	37.60	38.80	24.20	23.60	23.74	37.41
6	39.40	40.40	23.80	23.20	22.46	39.82
7	41.10	42.00	23.30	22.80	21.88	41.56
8	42.90	43.90	22.80	22.30	21.88	41.75
9	44.20	45.30	22.50	22.00	21.40	43.31
10	45.90	46.90	22.10	21.60	21.00	44.80

ตารางที่ ค.7 อุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำร้อนและน้ำเย็นขณะเปิดเพลเทียร์ TEC12712 โดยใช้เวลาดทดลอง 60 นาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)
1	23.56	24.81
2	22.75	25.44
3	22.00	26.25
4	21.31	27.06
5	20.63	27.63
6	19.94	28.31
7	19.31	29.13
8	18.69	29.88
9	18.06	30.50
10	17.50	31.19
11	16.94	31.88
12	16.44	32.44
13	15.94	33.06
14	15.44	33.81
15	14.94	34.38
16	14.50	35.00
17	14.06	35.56
18	13.63	36.19
19	13.25	36.69
20	12.88	37.25
21	12.44	37.81

ตารางที่ ค.8 อุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำร้อนและน้ำเย็นขณะเปิดเพลเทียร์ TEC12712 โดยใช้เวลาดทดลอง 60 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)
22	12.13	38.25
23	11.75	38.81
24	11.44	39.31
25	11.13	39.81
26	10.81	40.25
27	10.50	40.69
28	10.25	41.19
29	9.94	41.63
30	9.69	42.13
31	9.44	42.56
32	9.25	42.88
33	9.00	43.25
34	8.75	43.75
35	8.56	44.13
36	8.38	44.50
37	8.19	44.88
38	8.00	45.19
39	7.81	45.63
40	7.69	45.94
41	7.50	46.25
42	7.38	46.50

ตารางที่ ค.9 อุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำร้อนและน้ำเย็นขณะเปิดเพลเทียร์ TEC12712 โดยใช้เวลาดทดลอง 60 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)
43	7.25	46.88
44	7.06	47.13
45	6.94	47.50
46	6.81	47.69
47	6.75	48.00
48	6.63	48.31
49	6.50	48.56
50	6.44	48.94
51	6.31	49.19
52	6.25	49.50
53	6.13	49.69
54	6.06	49.94
55	6.00	50.19
56	5.94	50.38
57	5.88	50.69
58	5.81	50.94
59	5.75	51.06
60	5.69	51.25



ตารางที่ ค.10 การทดสอบเพลทีเยอร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
1	26.94	28.13	25.81	27.50	27.44	27.38	27.75	27.75	27.63
2	26.31	28.75	25.88	27.50	27.50	27.38	27.75	27.75	27.63
3	25.31	29.31	25.88	27.50	27.50	27.38	27.81	27.81	27.69
4	25.00	29.50	25.88	27.56	27.50	27.38	27.81	27.81	27.69
5	24.38	29.94	25.88	27.56	27.50	27.38	27.81	27.81	27.69
6	23.75	30.31	25.94	27.56	27.50	27.38	27.81	27.81	27.69
7	22.88	30.88	26.00	27.56	27.50	27.38	27.81	27.81	27.69
8	22.63	31.06	26.00	27.56	27.56	27.38	27.81	27.81	27.69
9	22.00	31.38	26.00	27.56	27.56	27.38	27.81	27.81	27.69
10	21.19	31.88	26.00	27.63	27.56	27.44	27.81	27.88	27.69
11	20.94	32.06	26.00	27.63	27.56	27.44	27.88	27.81	27.69
12	20.44	32.44	26.00	27.63	27.56	27.38	27.88	27.81	27.69

ตารางที่ ค.11 การทดสอบเพลทีเยอร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
13	19.94	32.75	26.06	27.63	27.56	27.44	27.88	27.88	27.69
14	19.38	33.06	26.06	27.63	27.56	27.44	27.88	27.88	27.69
15	18.69	33.50	26.06	27.63	27.63	27.44	27.88	27.88	27.75
16	18.44	33.63	26.06	27.63	27.63	27.44	27.88	27.88	27.75
17	17.75	34.00	26.06	27.69	27.63	27.44	27.88	27.88	27.75
18	17.56	34.13	26.13	27.69	27.63	27.44	27.88	27.88	27.75
19	17.13	34.38	26.06	27.69	27.63	27.44	27.94	27.94	27.75
20	16.44	34.69	26.13	27.69	27.63	27.50	27.94	27.94	27.75
21	16.25	34.81	26.06	27.69	27.69	27.44	27.94	27.94	27.75
22	16.06	34.94	26.13	27.69	27.63	27.50	27.94	27.94	27.75
23	15.44	35.31	26.06	27.75	27.69	27.50	27.94	27.94	27.81
24	15.00	35.50	26.06	27.75	27.69	27.50	27.94	27.94	27.81

ตารางที่ ค.12 การทดสอบเพลทีเยอร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
25	14.63	35.75	26.06	27.75	27.69	27.50	27.94	27.94	27.81
26	14.25	35.94	26.06	27.75	27.69	27.50	27.94	28.00	27.81
27	13.88	36.13	26.06	27.75	27.69	27.50	27.94	28.00	27.81
28	13.56	36.38	26.00	27.81	27.69	27.50	28.00	28.00	27.81
29	13.38	36.44	25.94	27.81	27.75	27.56	27.94	28.00	27.81
30	12.81	36.69	25.94	27.81	27.75	27.56	28.00	28.00	27.88
31	12.69	36.81	25.94	27.81	27.75	27.56	28.00	28.00	27.88
32	12.19	37.06	26.06	27.81	27.75	27.56	28.00	28.00	27.88
33	12.00	37.13	26.06	27.81	27.75	27.56	28.00	28.00	27.88
34	18.00	36.38	26.19	27.69	27.69	27.56	27.88	28.00	27.88
35	17.75	36.31	26.25	27.56	27.56	27.44	27.75	28.00	27.81

ตารางที่ ค.13 การทดสอบเพลทีเยอร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
36	18.06	35.88	26.31	27.19	27.31	27.25	27.19	27.75	27.63
37	18.19	35.63	26.38	26.94	27.06	27.06	26.81	27.63	27.44
38	18.25	35.50	26.38	26.81	26.94	26.94	26.69	27.56	27.31
39	18.25	35.56	26.44	26.69	26.75	26.88	26.50	27.50	27.25
40	18.00	36.81	26.50	26.56	26.75	26.75	26.31	27.38	27.13
41	17.38	37.06	26.56	26.19	26.38	26.50	25.94	27.13	26.88
42	16.94	37.31	26.56	26.06	26.19	26.31	25.69	27.00	26.69
43	16.56	37.50	26.56	25.88	26.00	26.19	25.44	26.81	26.56
44	16.13	37.63	26.56	25.75	25.88	26.00	25.25	26.63	26.38
45	15.75	37.88	26.63	25.56	25.75	25.88	25.13	26.56	26.25
46	15.38	38.13	26.63	25.50	25.63	25.75	25.00	26.44	26.13

ตารางที่ ค.14 การทดสอบเพลทีเยร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
47	14.81	38.44	26.63	25.38	25.44	25.56	24.81	26.25	26.00
48	14.63	38.50	26.69	25.31	25.44	25.56	24.81	26.25	25.94
49	14.13	38.75	26.69	25.25	25.31	25.44	24.69	26.13	25.81
50	13.94	38.81	26.69	25.25	25.25	25.38	24.69	26.06	25.81
51	13.44	39.00	26.75	25.19	25.19	25.31	24.69	26.00	25.69
52	13.25	39.13	26.75	25.19	25.19	25.25	24.63	26.00	25.69
53	12.81	39.38	26.75	25.19	25.13	25.19	24.63	25.88	25.63
54	12.63	39.44	26.75	25.19	25.13	25.19	24.63	25.88	25.63
55	12.31	39.63	26.75	25.19	25.13	25.13	24.63	25.88	25.56
56	11.88	39.81	26.81	25.19	25.13	25.13	24.69	25.81	25.56
57	15.63	39.69	26.81	25.19	25.13	25.06	24.69	25.81	25.56

ตารางที่ ค.15 การทดสอบเพลทีเยอร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
58	16.06	38.69	26.81	25.06	25.00	25.00	24.56	25.69	25.44
59	16.13	38.69	26.81	25.00	24.94	25.00	24.44	25.69	25.44
60	16.38	38.25	26.75	24.69	24.69	24.81	24.13	25.56	25.25
61	16.50	38.00	26.75	24.63	24.63	24.75	24.00	25.50	25.19
62	16.00	37.13	26.75	24.54	24.57	24.69	23.91	25.44	25.13
63	15.83	37.82	26.75	24.49	24.53	24.66	23.86	25.41	25.09
64	15.46	38.16	26.75	24.46	24.52	24.65	23.83	25.40	25.08
65	15.25	38.50	26.75	24.44	24.50	24.63	23.81	25.38	25.06
66	15.00	39.88	26.69	23.88	23.94	24.06	23.13	24.88	24.56
67	14.81	40.00	26.69	23.88	23.88	24.06	23.13	24.88	24.50
68	14.31	40.19	26.75	23.75	23.81	23.94	23.00	24.69	24.44

ตารางที่ ค.16 การทดสอบเพลทีเยอร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
69	14.13	40.25	26.75	23.75	23.75	23.88	23.00	24.69	24.38
70	13.63	40.44	26.88	23.69	23.69	23.81	22.94	24.63	24.25
71	13.31	40.56	26.88	23.69	23.69	23.75	22.94	24.56	24.25
72	13.19	40.69	26.88	23.69	23.63	23.75	22.94	24.56	24.19
73	12.88	40.81	26.88	23.69	23.63	23.69	22.94	24.50	24.19
74	12.75	40.88	26.88	23.69	23.63	23.69	22.94	24.50	24.19
75	12.25	41.00	26.94	23.69	23.63	23.63	22.94	24.50	24.13
76	12.13	41.13	26.94	23.69	23.63	23.63	23.00	24.44	24.19
77	16.00	40.44	27.00	23.75	23.63	23.63	23.00	24.44	24.19
78	15.44	40.13	27.00	23.63	23.56	23.56	22.94	24.44	24.13
79	15.63	39.75	26.94	23.56	23.44	23.50	22.75	24.38	24.06

ตารางที่ ค.17 การทดสอบเพลทีเยอร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
80	15.75	39.44	26.88	23.38	23.38	23.44	22.63	24.25	23.94
81	15.88	39.25	26.81	23.38	23.31	23.38	22.56	24.25	23.88
82	15.19	40.69	26.94	23.13	23.06	23.19	22.25	24.00	23.69
83	15.00	40.75	26.94	23.06	23.00	23.13	22.25	24.00	23.63
84	14.50	40.94	27.00	22.94	22.94	23.00	22.13	23.88	23.56
85	14.31	41.06	27.06	22.94	22.88	23.00	22.06	23.88	23.50
86	13.94	41.10	27.13	22.91	22.85	22.94	22.06	23.82	23.47
87	13.56	41.13	27.19	22.88	22.81	22.88	22.06	23.75	23.44
88	13.38	41.25	27.13	22.88	22.81	22.88	22.00	23.69	23.38
89	13.25	41.19	27.19	22.88	22.81	22.88	22.00	23.69	23.38
90	12.94	41.19	27.19	22.88	22.75	22.88	22.00	23.69	23.38



ตารางที่ ค.18 การทดสอบเพลทีเยอร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
91	12.69	41.06	27.19	22.88	22.81	22.81	22.06	23.69	23.31
92	12.38	41.13	27.06	22.94	22.75	22.81	22.06	23.63	23.38
93	12.13	41.13	27.19	22.94	22.75	22.81	22.13	23.63	23.38
94	14.81	41.25	27.25	22.94	22.81	22.81	22.19	23.69	23.38
95	15.13	41.06	27.31	22.94	22.81	22.81	22.19	23.69	23.38
96	15.19	40.69	27.38	22.88	22.75	22.75	22.06	23.63	23.31
97	15.25	40.50	27.31	22.81	22.69	22.69	22.00	23.63	23.31
98	15.31	40.44	27.31	22.75	22.69	22.69	21.94	23.56	23.25
99	15.38	40.39	27.19	22.63	22.50	22.56	21.75	23.50	23.13
100	15.13	40.31	27.13	22.50	22.44	22.50	21.63	23.38	23.06
101	14.94	40.38	27.13	22.44	22.38	22.44	21.56	23.31	23.00

ตารางที่ ค.19 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
102	14.69	40.63	27.06	22.38	22.31	22.38	21.50	23.25	22.94
103	14.38	40.75	27.06	22.38	22.25	22.31	21.44	23.25	22.88
104	14.06	40.75	27.13	22.38	22.25	22.31	21.44	23.19	22.81
105	13.88	41.00	27.13	22.31	22.25	22.31	21.44	23.19	22.81
106	13.56	41.13	27.06	22.31	22.25	22.31	21.44	23.19	22.81
107	13.13	41.38	26.88	22.38	22.25	22.25	21.44	23.13	22.81
108	12.94	41.44	26.75	22.38	22.19	22.25	21.50	23.13	22.75
109	12.50	41.56	26.69	22.44	22.25	22.25	21.56	23.13	22.81
110	12.38	41.63	26.69	22.44	22.25	22.25	21.56	23.13	22.81
111	12.06	41.75	26.63	22.50	22.25	22.31	21.63	23.13	22.81
112	14.56	41.56	26.69	22.56	22.31	22.31	21.69	23.19	22.81

ตารางที่ ค.20 การทดสอบเพลทีเยอร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
113	15.44	41.19	26.75	22.56	22.31	22.31	21.75	23.19	22.88
114	14.94	41.06	26.81	22.56	22.31	22.31	21.75	23.19	22.88
115	15.13	40.06	26.81	22.38	22.25	22.25	21.56	23.13	22.81
116	15.19	40.06	26.81	22.38	22.25	22.25	21.50	23.13	22.81

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
1	26.75	28.75	22.44	26.63	26.38	26.19	26.63	26.56	26.44
2	26.13	29.19	22.79	26.60	26.38	26.19	26.63	26.56	26.44
3	25.50	29.63	23.13	26.56	26.38	26.19	26.63	26.56	26.44
4	24.75	30.31	23.56	26.63	26.38	26.19	26.63	26.56	26.44
5	24.13	30.88	23.88	26.56	26.38	26.19	26.63	26.56	26.44
6	22.88	32.13	24.38	26.56	26.38	26.25	26.63	26.56	26.44
7	22.26	32.76	24.57	26.56	26.38	26.22	26.63	26.56	26.44
8	21.63	33.38	24.75	26.56	26.38	26.19	26.63	26.56	26.44
9	21.06	33.94	24.81	26.56	26.38	26.19	26.63	26.56	26.44
10	20.56	34.50	24.94	26.56	26.38	26.19	26.63	26.56	26.44
11	20.00	35.06	25.00	26.56	26.38	26.19	26.63	26.56	26.44
12	19.50	35.60	25.07	26.56	26.35	26.19	26.63	26.56	26.44

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
13	19.00	36.13	25.13	26.56	26.31	26.19	26.63	26.56	26.44
14	18.53	36.60	25.16	26.56	26.35	26.22	26.60	26.56	26.44
15	18.06	37.06	25.19	26.56	26.38	26.25	26.56	26.56	26.44
16	17.56	37.56	25.25	26.56	26.38	26.19	26.63	26.56	26.44
17	17.13	38.00	25.31	26.56	26.38	26.25	26.63	26.56	26.44
18	16.69	38.44	25.38	26.56	26.44	26.25	26.63	26.56	26.44
19	16.29	38.88	25.41	26.60	26.44	26.25	26.63	26.56	26.44
20	15.88	39.31	25.44	26.63	26.44	26.25	26.63	26.56	26.44
21	15.50	39.81	25.50	26.56	26.44	26.25	26.63	26.56	26.44
22	15.13	40.19	25.50	26.56	26.44	26.25	26.63	26.56	26.44
23	14.75	40.50	25.56	26.63	26.44	26.25	26.63	26.63	26.50
24	14.44	41.00	25.56	26.63	26.44	26.31	26.63	26.63	26.50

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
25	14.36	41.09	25.56	26.63	26.44	26.31	26.63	26.63	26.50
26	14.28	41.18	25.57	26.63	26.45	26.31	26.63	26.63	26.50
27	14.11	41.36	25.58	26.63	26.46	26.31	26.63	26.63	26.50
28	13.79	41.72	25.60	26.63	26.47	26.31	26.63	26.63	26.50
29	13.13	42.44	25.63	26.63	26.50	26.31	26.63	26.63	26.50
30	12.82	42.79	25.66	26.63	26.50	26.31	26.63	26.63	26.53
31	12.50	43.13	25.69	26.63	26.50	26.31	26.63	26.63	26.56
32	12.22	43.44	25.69	26.63	26.50	26.35	26.63	26.63	26.56
33	11.94	43.75	25.69	26.63	26.50	26.38	26.63	26.63	26.56
34	11.69	44.03	25.72	26.66	26.53	26.38	26.63	26.66	26.56
35	11.44	44.31	25.75	26.69	26.56	26.38	26.63	26.69	26.56

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
36	11.19	44.60	25.78	26.69	26.56	26.38	26.66	26.69	26.60
37	10.94	44.88	25.81	26.69	26.56	26.38	26.69	26.69	26.63
38	10.69	45.16	25.85	26.69	26.56	26.41	26.69	26.69	26.63
39	10.44	45.44	25.88	26.69	26.56	26.44	26.69	26.69	26.63
40	10.44	45.50	25.88	26.69	26.56	26.44	26.69	26.69	26.63
41	10.94	44.88	25.81	26.69	26.56	26.44	26.69	26.69	26.63
42	11.31	44.44	25.94	26.69	26.56	26.44	26.69	26.69	26.63
43	11.50	44.04	25.94	26.72	26.60	26.44	26.69	26.72	26.63
44	11.69	43.63	25.94	26.75	26.63	26.44	26.69	26.75	26.63
45	11.82	43.19	25.97	26.75	26.63	26.47	26.69	26.75	26.66
46	11.94	42.75	26.00	26.75	26.63	26.50	26.69	26.75	26.69

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
47	11.94	42.50	26.00	26.75	26.63	26.50	26.69	26.75	26.69
48	17.00	42.31	26.06	26.69	26.56	26.50	26.69	26.75	26.69
49	17.44	42.06	26.06	26.50	26.44	26.38	26.44	26.69	26.63
50	17.63	41.88	26.00	26.25	26.25	26.25	26.06	26.56	26.50
51	17.81	41.63	26.06	26.00	26.06	26.06	25.75	26.44	26.31
52	17.75	42.01	26.03	25.78	25.85	25.91	25.44	26.29	26.16
53	17.69	42.38	26.00	25.56	25.63	25.75	25.13	26.13	26.00
54	17.29	42.79	26.03	25.35	25.47	25.60	24.91	25.97	25.85
55	16.88	43.19	26.06	25.13	25.31	25.44	24.69	25.81	25.69
56	16.50	43.50	26.06	25.00	25.13	25.25	24.44	25.69	25.56
57	16.13	43.81	26.13	24.88	25.00	25.13	24.31	25.56	25.44



ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
58	15.81	44.19	26.13	24.75	24.81	25.00	24.13	25.44	25.31
59	15.50	44.50	26.16	24.63	24.72	24.88	24.04	25.35	25.19
60	15.19	44.81	26.19	24.50	24.63	24.75	23.94	25.25	25.06
61	14.85	45.06	26.19	24.47	24.54	24.66	23.85	25.16	25.00
62	14.50	45.31	26.19	24.44	24.44	24.56	23.75	25.06	24.94
63	14.25	45.63	26.22	24.38	24.38	24.50	23.72	25.00	24.88
64	14.00	45.94	26.25	24.31	24.31	24.44	23.69	24.94	24.81
65	13.72	46.19	26.22	24.28	24.28	24.41	23.69	24.91	24.75
66	13.44	46.44	26.19	24.25	24.25	24.38	23.69	24.88	24.69
67	13.16	46.66	26.22	24.25	24.22	24.35	23.66	24.85	24.66
68	12.88	46.88	26.25	24.25	24.19	24.31	23.63	24.81	24.63

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
69	12.69	47.19	26.25	24.25	24.19	24.25	23.69	24.75	24.63
70	12.44	47.44	26.28	24.28	24.19	24.25	23.69	24.75	24.60
71	12.19	47.69	26.31	24.31	24.19	24.25	23.69	24.75	24.56
72	13.13	47.85	26.31	24.31	24.19	24.25	23.72	24.72	24.56
73	14.06	48.00	26.31	24.31	24.19	24.25	23.75	24.69	24.56
74	15.10	47.50	26.22	24.22	24.13	24.19	23.66	24.66	24.53
75	16.13	47.00	26.13	24.13	24.06	24.13	23.56	24.63	24.50
76	16.31	46.69	26.06	24.00	23.94	24.00	23.31	24.56	24.44
77	16.41	46.91	26.00	23.85	23.82	23.91	23.16	24.47	24.32
78	16.50	47.13	25.94	23.69	23.69	23.81	23.00	24.38	24.19
79	16.19	47.35	25.88	23.57	23.57	23.72	22.85	24.29	24.10

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
80	15.88	47.56	25.81	23.44	23.44	23.63	22.69	24.19	24.00
81	15.60	47.81	25.85	23.35	23.35	23.54	22.57	24.10	23.91
82	15.31	48.06	25.88	23.25	23.25	23.44	22.44	24.00	23.81
83	15.00	48.31	25.94	23.19	23.19	23.31	22.38	23.94	23.75
84	14.75	48.50	25.94	23.13	23.06	23.25	22.31	23.88	23.69
85	14.50	48.69	25.88	23.13	23.06	23.19	22.25	23.81	23.63
86	14.25	48.88	25.91	23.10	23.03	23.16	22.25	23.75	23.57
87	14.00	49.06	25.94	23.06	23.00	23.13	22.25	23.69	23.50
88	13.75	49.25	25.94	23.06	22.97	23.07	22.25	23.66	23.47
89	13.50	49.44	25.94	23.06	22.94	23.00	22.25	23.63	23.44
90	13.28	49.57	25.94	23.06	22.94	23.00	22.28	23.63	23.44

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
91	13.06	49.69	25.94	23.06	22.94	23.00	22.31	23.63	23.44
92	12.88	49.81	25.81	23.06	22.94	23.00	22.31	23.63	23.44
93	12.63	50.06	25.81	23.06	22.94	23.00	22.38	23.63	23.44
94	12.44	50.06	25.88	23.13	22.94	23.00	22.38	23.63	23.44
95	12.25	50.22	25.88	23.16	22.97	23.00	22.44	23.63	23.44
96	12.06	50.38	25.88	23.19	23.00	23.00	22.50	23.63	23.44
97	13.85	49.91	25.91	23.16	22.97	23.00	22.47	23.63	23.44
98	15.63	49.44	25.94	23.13	22.94	23.00	22.44	23.63	23.44
99	15.81	48.94	25.94	23.06	22.88	22.94	22.31	23.56	23.44
100	15.94	48.50	25.94	22.94	22.81	22.88	22.19	23.50	23.38
101	16.13	48.13	25.94	22.81	22.75	22.81	22.06	23.44	23.25

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
102	16.04	48.66	25.91	22.72	22.66	22.75	21.94	23.38	23.19
103	15.94	49.19	25.88	22.63	22.56	22.69	21.81	23.31	23.13
104	15.69	49.35	25.88	22.57	22.50	22.60	21.72	23.25	23.07
105	15.44	49.50	25.88	22.50	22.44	22.50	21.63	23.19	23.00
106	15.16	49.69	25.91	22.47	22.38	22.47	21.60	23.13	22.94
107	14.88	49.88	25.94	22.44	22.31	22.44	21.56	23.06	22.88
108	14.63	49.94	26.00	22.38	22.25	22.38	21.50	23.06	22.88
109	14.38	50.19	26.00	22.38	22.25	22.38	21.50	23.06	22.75
110	14.19	50.31	25.94	22.38	22.25	22.31	21.56	23.00	22.75
111	13.97	50.47	25.88	22.38	22.25	22.31	21.56	22.97	22.78
112	13.75	50.63	25.81	22.38	22.25	22.31	21.56	22.94	22.81

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
113	13.53	50.72	25.69	22.41	22.25	22.31	21.60	22.94	22.78
114	13.31	50.81	25.56	22.44	22.25	22.31	21.63	22.94	22.75
115	13.13	50.94	25.56	22.44	22.25	22.31	21.69	23.00	22.81
116	12.94	51.06	25.56	22.50	22.31	22.31	21.69	23.00	22.81
117	12.69	51.31	25.63	22.50	22.31	22.38	21.75	23.00	22.81
118	12.54	51.35	25.69	22.53	22.35	22.38	21.82	23.00	22.81
119	12.38	51.38	25.75	22.56	22.38	22.38	21.88	23.00	22.81
120	13.16	51.41	25.72	22.63	22.41	22.41	21.94	23.03	22.85
121	13.94	51.44	25.69	22.69	22.44	22.44	22.00	23.06	22.88
122	15.44	50.81	25.81	22.69	22.44	22.44	22.00	23.06	22.94
123	15.63	50.31	25.81	22.60	22.41	22.41	21.88	23.06	22.91

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
124	15.81	49.81	25.81	22.50	22.38	22.38	21.75	23.06	22.88
125	16.06	49.41	25.88	22.44	22.29	22.35	21.63	23.00	22.82
126	16.19	49.20	25.91	22.41	22.24	22.33	21.56	22.97	22.78
127	16.31	49.00	25.94	22.38	22.19	22.31	21.50	22.94	22.75
128	16.10	49.60	25.94	22.29	22.16	22.25	21.44	22.88	22.69
129	15.88	50.19	25.94	22.19	22.13	22.19	21.38	22.81	22.63
130	15.51	50.44	25.94	22.13	22.04	22.10	21.29	22.75	22.54
131	15.32	50.57	25.94	22.09	21.99	22.05	21.24	22.72	22.49
132	15.13	50.69	25.94	22.06	21.94	22.00	21.19	22.69	22.44
133	14.88	50.82	25.94	22.03	21.94	22.00	21.19	22.69	22.47
134	14.63	50.94	25.94	22.00	21.94	22.00	21.19	22.69	22.50

ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
135	14.41	51.07	25.91	22.03	21.94	21.97	21.22	22.66	22.50
136	14.19	51.19	25.88	22.06	21.94	21.94	21.25	22.63	22.50
137	14.00	51.31	25.94	22.06	21.94	21.94	21.25	22.63	22.44
138	13.78	51.44	25.88	22.10	21.94	21.97	21.28	22.63	22.41
139	13.56	51.56	25.81	22.13	21.94	22.00	21.31	22.63	22.38
140	13.38	51.69	25.85	22.16	21.97	22.00	21.38	22.66	22.41
141	13.19	51.81	25.88	22.19	22.00	22.00	21.44	22.69	22.44
142	13.00	51.88	26.00	22.25	22.00	22.06	21.50	22.69	22.50
143	12.82	51.97	26.03	22.28	22.03	22.10	21.57	22.69	22.53
144	12.63	52.06	26.06	22.31	22.06	22.13	21.63	22.69	22.56
145	12.47	52.19	26.03	22.38	22.13	22.16	21.66	22.75	22.60



ตารางที่ ค.9 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำเย็น 12°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
146	12.31	52.31	26.00	22.44	22.19	22.19	21.69	22.81	22.63
147	12.16	52.28	26.00	22.47	22.22	22.22	21.79	22.85	22.63
148	12.00	52.25	26.00	22.50	22.25	22.25	21.88	22.88	22.63
149	13.88	51.41	26.03	22.44	22.25	22.22	21.79	22.88	22.66
150	14.81	50.98	26.05	22.41	22.25	22.21	21.74	22.88	22.68
151	15.75	50.56	26.06	22.38	22.25	22.19	21.69	22.88	22.69
152	15.88	50.25	26.06	22.31	22.19	22.19	21.56	22.81	22.69

ตารางที่ ค.10 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำร้อน 50°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
1	26.13	27.94	25.50	27.88	28.19	27.00	27.81	28.63	28.06
2	27.69	27.88	25.63	27.94	28.19	27.00	27.81	28.63	28.06
3	29.75	27.69	25.63	27.88	28.19	27.06	27.81	28.63	28.06
4	31.75	27.19	25.75	27.88	28.25	27.06	27.81	28.63	28.06
5	32.75	27.06	25.88	27.94	28.25	27.06	27.81	28.63	28.06
6	34.75	26.88	26.06	27.94	28.25	27.06	27.81	28.63	28.13
7	36.63	26.63	26.06	27.94	28.25	27.06	27.81	28.63	28.13
8	38.50	26.25	25.69	27.94	28.25	27.06	27.81	28.63	28.13
9	39.44	26.13	25.50	27.94	28.25	27.13	27.81	28.63	28.13
10	42.50	25.82	25.78	27.94	28.25	27.13	27.81	28.63	28.10
11	45.56	25.50	26.06	27.94	28.25	27.13	27.81	28.63	28.06
12	46.38	25.38	25.88	27.94	28.25	27.13	27.81	28.56	28.13

ตารางที่ ค.10 การทดสอบเพลทีเยร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำร้อน 50°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ(ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
13	47.19	25.25	25.88	27.88	28.25	27.06	27.81	28.56	28.06
14	48.06	25.19	25.81	27.88	28.25	27.13	27.81	28.56	28.06
15	50.44	24.88	25.88	27.88	28.19	27.06	27.81	28.56	28.06
16	40.50	24.81	26.06	27.88	28.19	27.06	27.81	28.50	28.06
17	34.63	24.75	26.06	27.94	28.25	27.13	27.81	28.50	28.00
18	38.50	24.88	26.19	28.25	28.50	27.31	28.19	28.56	28.13
19	39.00	24.94	26.13	28.38	28.56	27.44	28.38	28.63	28.19
20	39.44	24.81	26.19	28.81	28.94	27.75	29.00	28.81	28.44
21	42.50	24.75	26.38	29.19	29.19	27.94	29.44	29.00	28.63
22	44.25	24.53	26.32	29.47	29.44	28.19	29.82	29.16	28.85
23	46.00	24.31	26.25	29.75	29.69	28.44	30.19	29.31	29.06
24	48.07	24.10	26.00	30.07	29.97	28.66	30.57	29.53	29.31

ตารางที่ ค.10 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำร้อน 50°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
25	50.13	23.88	25.75	30.38	30.25	28.88	30.94	29.75	29.56
26	45.00	23.88	25.69	30.44	30.31	29.00	31.00	29.81	29.63
27	43.25	23.94	25.63	30.88	30.75	29.31	31.50	30.06	29.94
28	43.19	24.00	25.63	31.00	30.88	29.44	31.69	30.19	30.00
29	43.22	24.03	25.82	31.47	31.32	29.82	32.29	30.50	30.38
30	43.25	24.06	26.00	31.94	31.75	30.19	32.88	30.81	30.75
31	43.97	24.00	26.07	32.10	31.88	30.32	33.04	30.94	30.88
32	44.69	23.94	26.13	32.25	32.00	30.44	33.19	31.06	31.00
33	45.56	23.94	26.13	32.38	32.13	30.56	33.38	31.13	31.13
34	46.44	23.81	26.06	32.50	32.31	30.69	33.50	31.25	31.25
35	49.81	23.50	25.69	32.88	32.75	31.06	34.00	31.63	31.63

ตารางที่ ค.10 การทดสอบเพลทีเยร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำร้อน 50°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
36	46.63	23.31	25.63	33.06	32.88	31.25	34.19	31.81	31.81
37	45.44	23.38	25.31	33.38	33.25	31.56	34.50	32.06	32.13
38	45.44	23.44	25.31	33.50	33.38	31.69	34.69	32.19	32.19
39	45.44	23.44	25.25	33.75	33.63	31.94	34.94	32.38	32.44
40	45.19	23.44	25.50	34.06	33.94	32.31	35.38	32.63	32.75
41	45.63	23.44	25.63	34.19	34.06	32.38	35.50	32.75	32.81
42	46.19	23.36	25.53	34.21	34.09	32.45	35.53	32.78	32.88
43	47.19	23.28	25.57	34.36	34.25	32.58	35.69	32.94	33.02
44	48.76	23.13	25.51	34.54	34.44	32.79	35.88	33.13	33.22
45	51.88	22.81	25.38	34.88	34.81	33.19	36.25	33.50	33.63
46	47.44	22.81	25.31	34.94	34.88	33.25	36.31	33.56	33.69

ตารางที่ ค.10 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำร้อน 50°C จ่ายเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ (ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
47	46.00	22.81	25.25	35.00	34.94	33.31	36.38	33.56	33.75
48	46.69	23.00	25.63	35.25	35.19	33.56	36.63	33.81	34.00
49	46.69	23.06	25.69	35.31	35.31	33.69	36.75	33.88	34.06
50	46.63	23.06	25.75	35.44	35.38	33.75	36.81	33.94	34.13
51	46.19	23.00	25.56	35.81	35.75	34.13	37.25	34.25	34.44
52	47.69	22.88	25.38	35.94	35.88	34.31	37.44	34.44	34.63
53	49.31	22.63	25.38	36.06	36.06	34.44	37.56	34.56	34.75
54	50.13	22.63	25.50	36.13	36.06	34.50	37.63	34.63	34.81
55	47.19	22.63	25.81	36.25	36.25	34.69	37.75	34.81	35.00
56	47.25	22.63	25.94	36.38	36.31	34.75	37.88	34.88	35.06
57	46.94	22.75	25.56	36.56	36.56	35.00	38.13	35.06	35.25

ตารางที่ ค.10 การทดสอบเพลเทียร์ TEC12712 เปิดเข้าที่นอนโดยใช้น้ำร้อน 50°C ฉ่ำเข้าที่นอน 5 นาที แล้วปิดทำความเย็นต่อ จำนวน 5 รอบ(ต่อ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ น้ำเย็น (°C)	อุณหภูมิ น้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 1 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 2 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 3 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 4 (°C)	อุณหภูมิ ใน ที่นอน ตำแหน่งที่ 5 (°C)	อุณหภูมิ ในที่นอน ตำแหน่งที่ 6 (°C)
58	46.81	22.75	25.25	36.63	36.63	35.06	38.19	35.13	35.31
59	46.38	22.69	25.63	36.81	36.81	35.31	38.38	35.31	35.56



ภาคผนวก ง

การทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์

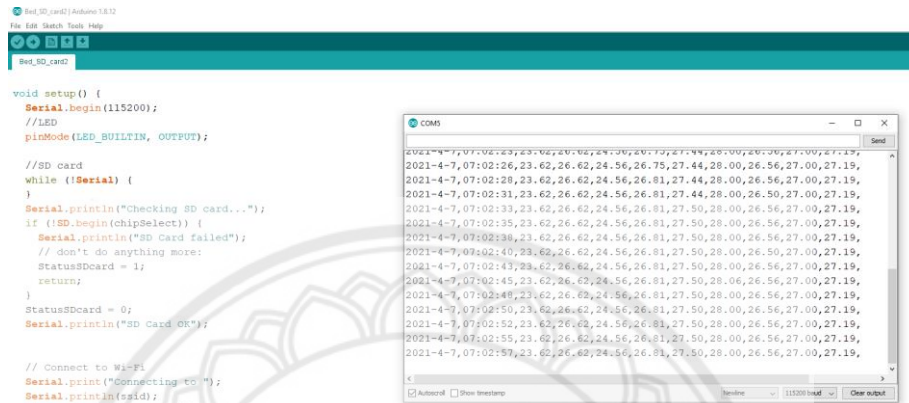
และการคำนวณ

มหาวิทยาลัยพระนคร



## การเก็บอุณหภูมิโดยใช้เซนเซอร์

ใช้โปรแกรม Arduino ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.4 โดยใช้โปรแกรม Arduino และ กำหนดให้บันทึกรูปแบบของ Microsoft Excel และเก็บข้อมูลลงใน sd card นานี่ละ 1 ครั้ง



```

void setup() {
  //LED
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

  //SD card
  while (!Serial) {
    Serial.println("Checking SD card...");
  }
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("SD Card failed!");
    // don't do anything more:
    StatusSDcard = 1;
    return;
  }
  StatusSDcard = 0;
  Serial.println("SD Card OK");

  // Connect to Wi-Fi
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    if (StatusWiFi == 0) {
      StatusWiFi = 1;
    }
    else if (StatusWiFi == 1) {

```

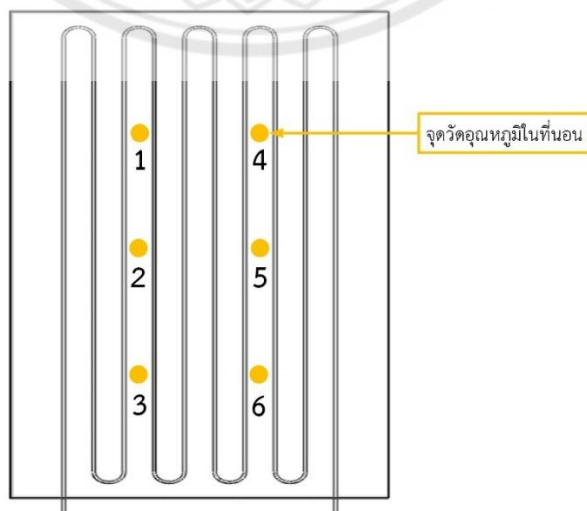
```

2021-4-7,07:02:26,23.62,26.62,24.56,26.75,27.44,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:28,23.62,26.62,24.56,26.81,27.44,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:31,23.62,26.62,24.56,26.81,27.44,28.00,26.50,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:33,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:35,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:38,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:40,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.50,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:43,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:45,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:48,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:50,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:52,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:55,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.56,27.00,27.19,
2021-4-7,07:02:57,23.62,26.62,24.56,26.81,27.50,28.00,26.56,27.00,27.19,

```

รูปที่ ง.1 การเก็บบันทึกข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์

จากรูปที่ ง.1 ข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์ จะแสดงผลบน Serial Monitor ซึ่งเป็นส่วนแสดงผลลัพธ์จากบอร์ด Arduino โดยแสดง วันที่ เวลา อุณหภูมิน้ำเย็น อุณหภูมิน้ำร้อน อุณหภูมิในอากาศ อุณหภูมิในที่นอนจุดที่ 1-6 ดังรูป ง.2



รูปที่ ง.2 จุดวัดอุณหภูมิในที่นอน

## การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

```

    /*
    SD card -> NodeMCU
    MISO - D6
    CLK - D5
    MOSI - D7
    CS - D8

    LED -> NodeMCU
    D0, D4
    Temperature sensor -> NodeMCU
    D3
    */
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <NTPClient.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

//WiFi
const char *ssid = "TEMP";
const char *password = "getout555";
int numcount = 30;
int count = numcount;
//Time
WiFiUDP ntpUDP;

```

```
NTPClient timeClient(ntpUDP, "pool.ntp.org");
unsigned long epochTime;
String formattedTime;
int currentYear;
int currentMonth;
int monthDay;
String currentDate;
int currentSecond;
//SD card
const int chipSelect = D8; //NodeMCU pin D8
String dataString = "";
boolean StatusSDcard = 0;
boolean StatusWIFI = 0;
//Temperature sensor
#define ONE_WIRE_BUS D3
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
int deviceCount = 0;
float tempC;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  //LED
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  //SD card
  while (!Serial) {
}
  Serial.println("Checking SD card...");
```

```
if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("SD Card failed");
  // don't do anything more:
  StatusSDcard = 1;
  return;
}
StatusSDcard = 0;
Serial.println("SD Card OK");
// Connect to Wi-Fi
Serial.print("Connecting to ");
Serial.println(ssid);
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  if (StatusWiFi == 0) {
    StatusWiFi = 1;
  }
  else if (StatusWiFi == 1) {
    StatusWiFi = 0;
  }
  Serial.println(count);
  digitalWrite(LED_BUILTIN, StatusWiFi);
  delay(1000);
  // เมื่อรันครบ 10 รอบ (10วินาที) ให้สั่ง reset
  if (count == 0) {
    Serial.println("Restarting..");
    ESP.restart();    // คำสั่งรีเซ็ต ESP
  }
}
```

```
    count--;  
}  
digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);  
count = numcount;  
Serial.println("Connected.");  
//Time  
timeClient.begin();  
//adjust for your timezone  
const int GMT = 7 * 3600;  
timeClient.setTimeOffset(GMT);  
//Temperature sensor  
sensors.begin();  
Serial.print("Locating devices...");  
Serial.print("Found ");  
deviceCount = sensors.getDeviceCount();  
Serial.print(deviceCount, DEC);  
Serial.println(" devices.");  
Serial.println("");  
delay(1000);  
}  
bool a=0;  
void loop() {  
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
        if (StatusWIFI == 0) {  
            StatusWIFI = 1;  
        }  
        else if (StatusWIFI == 1) {
```

```

    StatusWIFI = 0;
}
Serial.println(count);
digitalWrite(LED_BUILTIN, StatusWIFI);
delay(1000);
// เมื่อรันครบ 10 รอบ (10วินาที) ให้สั่ง reset
if (count == 0) {
    Serial.println("Restarting..");
    ESP.restart();    // คำสั่งรีเซ็ต ESP
}
count--;
}
while (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    //get time/date
    timeClient.update();
    epochTime = timeClient.getEpochTime();
    formattedTime = timeClient.getFormattedTime();
    struct tm *ptm = gmtime ((time_t *)&epochTime);
    currentYear = ptm->tm_year + 1900+51;
    currentMonth = ptm->tm_mon +4;
    monthDay = ptm->tm_mday+6 ;
    currentDate = String(currentYear) + "-" + String(currentMonth) + "-" +
String(monthDay);
    currentSecond = timeClient.getSeconds();
    dataString = currentDate + "," + formattedTime + ",";
    //get temperature sensor value
    sensors.requestTemperatures();

```

```
for (int i = 0; i < deviceCount; i++)
{
    tempC = sensors.getTempCByIndex(i);
    dataString += String(tempC);
    if (i < deviceCount) {
        dataString += ",";
    }
}
Serial.print(dataString);
//update data
if (StatusSDcard == 0) {
    const String fileName = currentDate + ".csv";
    if(currentSecond > 30){
        a=0;
    }
    if (currentSecond <= 30&&a==0) {
        File dataFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
        if (dataFile) {
            dataFile.println(dataString);
            dataFile.close();
            Serial.print("    ,updated data");
            a=1;
        }
    }
    else {
        Serial.print("    ,error opening datalog.txt");
        StatusSDcard = 1;
    }
}
```

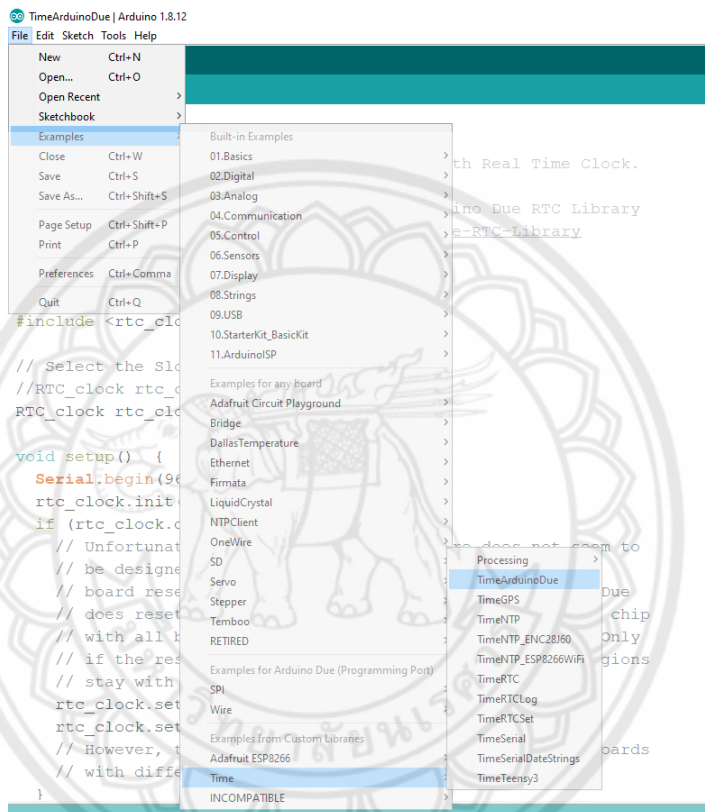
```
    }  
  }  
  else if (StatusSDcard == 1) {  
    Serial.print("    ,Card failed");  
    if (SD.begin(chipSelect)) {  
      StatusSDcard = 0;  
      Serial.print("    ,Card failed");  
    }  
  }  
  }  
  dataString = "";  
  Serial.println();  
  count = numcount;  
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);  
  // delay(100);  
  }  
}
```





### การทำงานและปรับปรุงไมโครคอนโทรลเลอร์

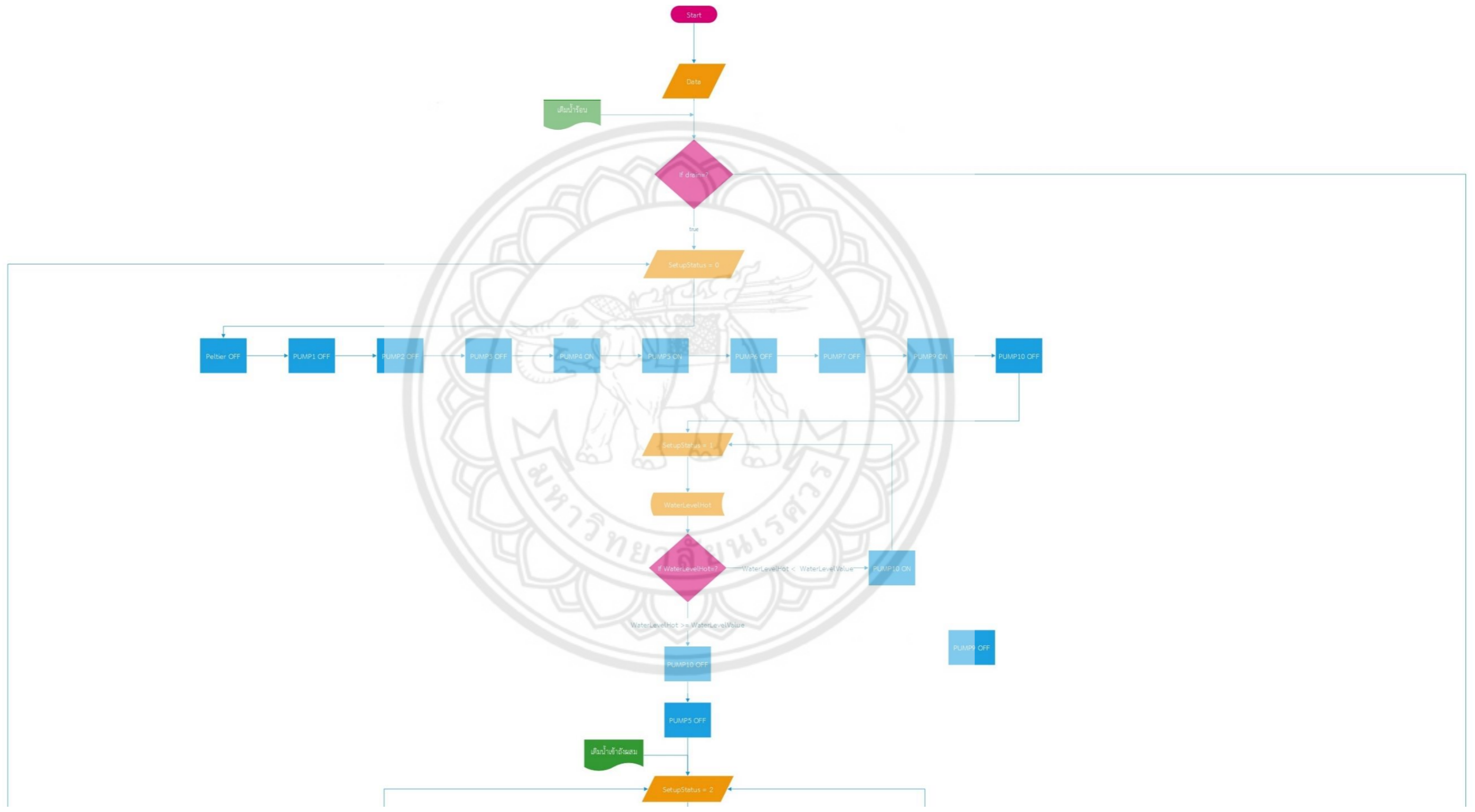
การทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมหรืออ่านค่าบางสิ่งผ่านโปรแกรม Arduino โดยการเลือกใช้ตัวอย่าง Time ของบอร์ด Arduino DUE ดังรูปที่ ๓.3 แล้วปรับปรุงโค้ดตัวอย่างเดิมของโปรแกรมที่มีให้ในโปรแกรม Arduino เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการใช้งาน



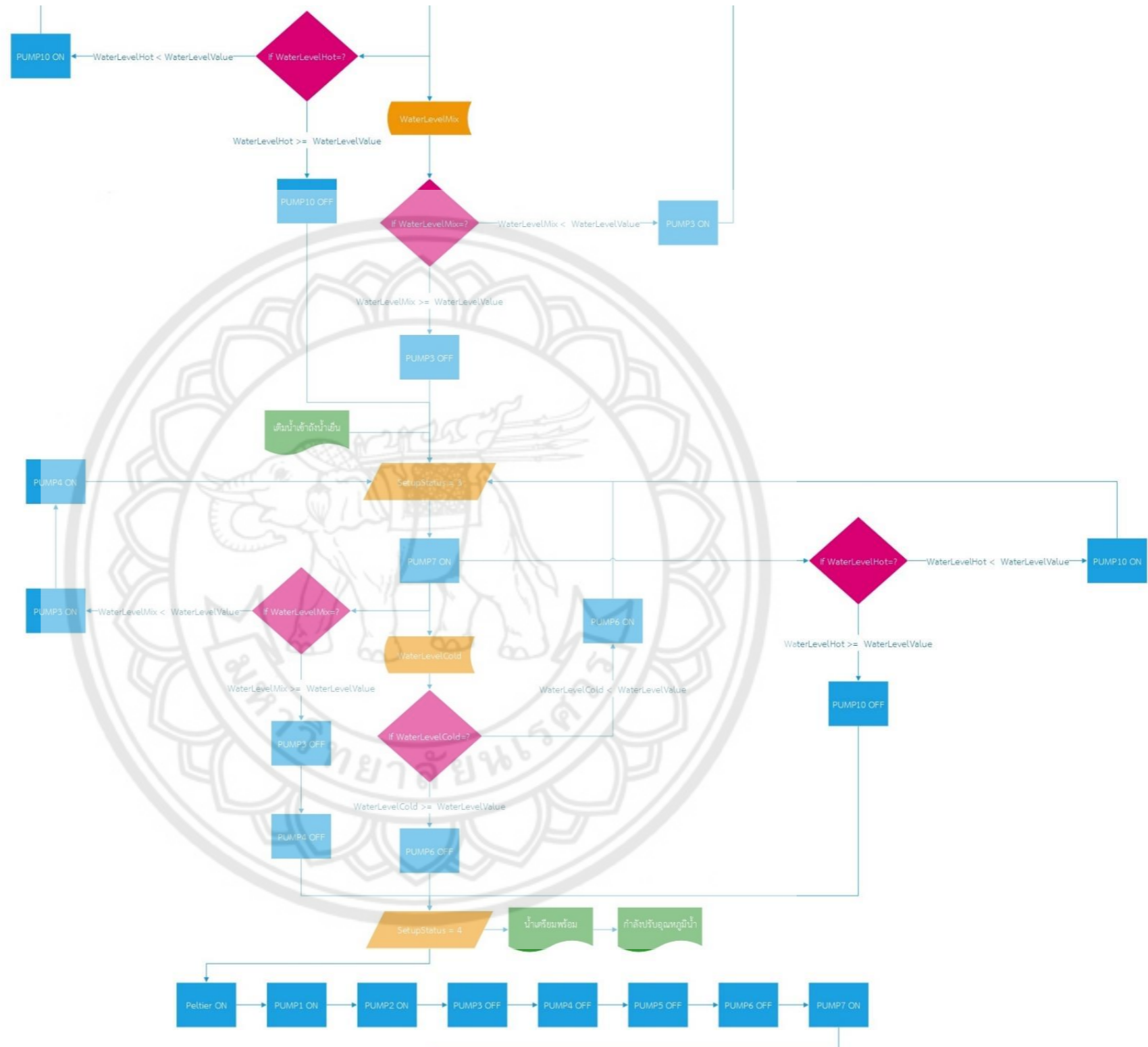
รูปที่ ๓.3 ปรับปรุงโค้ดตัวอย่างในโปรแกรม Arduino

### ทดสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

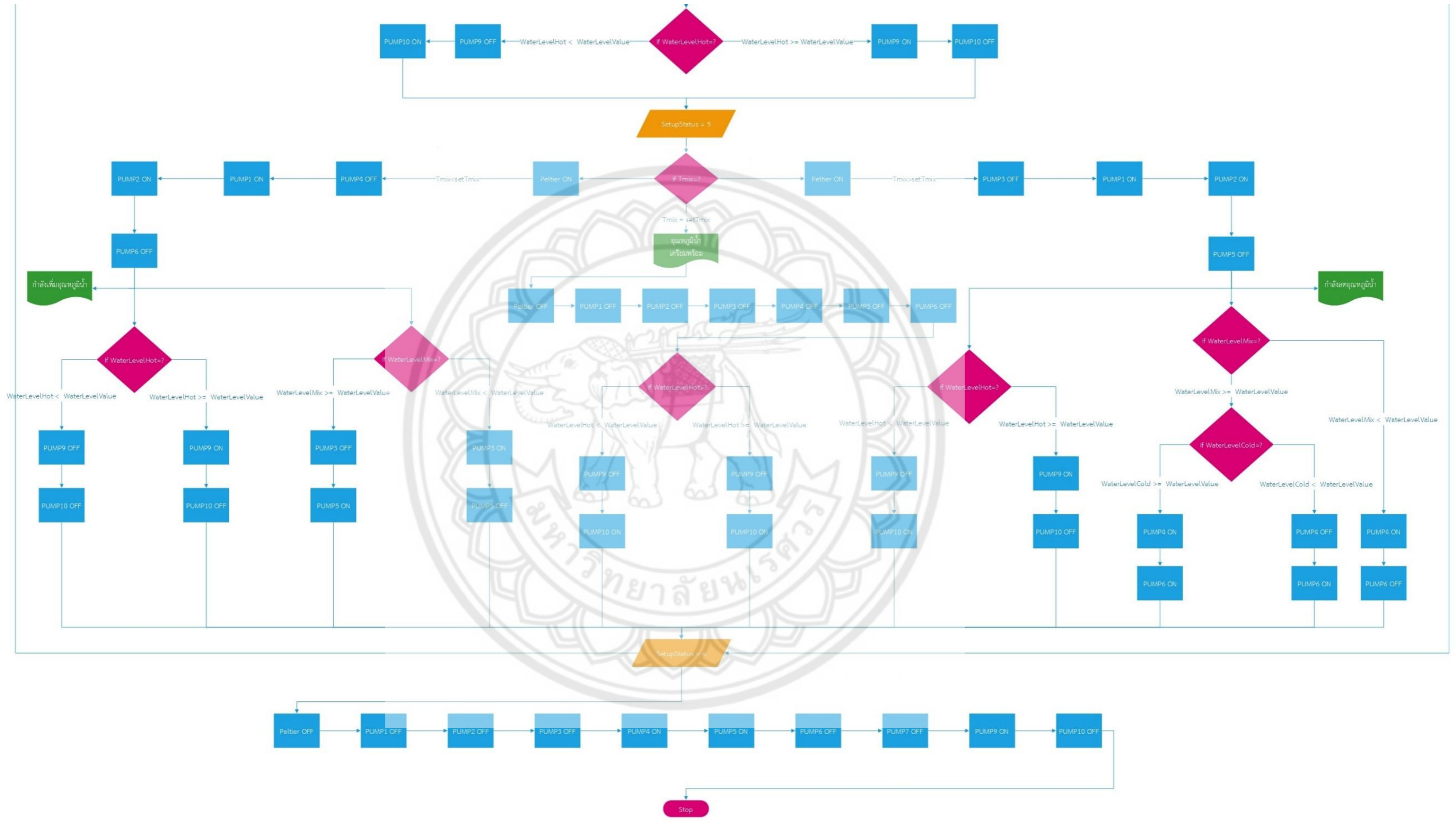
หลังจากออกแบบระบบควบคุมการทำงานของระบบทำอุณหภูมิ ดังรูปที่ ๓.4 นำมาทดสอบความหาความผิดพลาดของโปรแกรม เมื่อไม่พบความผิดพลาดใดๆ ของระบบแล้ว จึงพร้อมนำมาใช้งาน



(1)



(2)



(3)

รูปที่ ๓.4 แผนผังระบบควบคุมการทำอุณหภูมิ (1) ส่วนที่ 1 (2) ส่วนที่ 2 (3) ส่วนที่ 3

จากรูปภาพ รูปที่ ง.4 ทำงานโดยการตั้งค่าเวลา และอุณหภูมิในถังผสม

เริ่มที่ SetupStatus 0 เป็นการสั่งให้ดึงน้ำในถังน้ำเย็นออกเพื่อเริ่มระบบใหม่ มีเพียงปั๊มที่ 4, 5 และ 9 ที่เปิดเท่านั้น หากไม่ต้องการดึงน้ำกลับสู่ถังน้ำใหญ่ ระบบจะปิดที่ SetupStatus6

SetupStatus 1 เติมน้ำเข้าถังน้ำร้อน เมื่อเซนเซอร์ในถังน้ำร้อนตรวจจับระดับน้ำได้ ปั๊มที่ 5, 10 จะทำการปิดเพื่อไม่ให้น้ำเกินระดับที่ตั้งค่าไว้ หากระดับน้ำกว่าเซนเซอร์ ปั๊มที่ 10 จะเปิดการทำงานเพื่อเติมน้ำเข้าถังน้ำร้อนต่อไป

SetupStatus 2 เป็นการเติมน้ำเข้าถังผสม เมื่อเซนเซอร์ในถังผสมตรวจจับระดับน้ำได้ปั๊มที่ 3 จะปิดการทำงาน หากระดับน้ำต่ำกว่าเซนเซอร์ปั๊ม 3 จะทำงานต่อ ในขณะที่เดียวกันหากระดับน้ำในถังน้ำร้อนต่ำกว่าเซนเซอร์ปั๊มที่ 10 จะเปิดเพื่อเติมน้ำร้อนต่อ เมื่อถังผสมมีระดับน้ำถึงเซนเซอร์แล้วจะไปสู่ SetupStatus 3

SetupStatus 3 เปิดปั๊มที่ 7 เพื่อให้ น้ำจากถังผสมเข้าสู่ที่นอน ทำการตรวจสอบระดับน้ำในถังผสมให้ระดับยังคงถึงเซนเซอร์ต่อไป หากต่ำกว่าเซนเซอร์ ปิดปั๊มที่ 3, 4 เมื่อระดับน้ำถึงเซนเซอร์ ปิดปั๊มที่ 3, 4 ตรวจสอบเซนเซอร์วัดระดับน้ำร้อนจะทำการเปิดเพื่อให้ น้ำเข้าสู่ถังผสม จากนั้นตรวจระดับเซนเซอร์ในถังน้ำร้อน หากระดับน้ำต่ำกว่าเซนเซอร์จะทำการเปิดปั๊มที่ 10 เพื่อเติมน้ำเข้าสู่ถังผสม เมื่อระดับน้ำในถังผสมถึงเซนเซอร์ ปิดปั๊มที่ 10 ตรวจสอบระดับน้ำในถังน้ำเย็น เมื่อระดับน้ำต่ำกว่าเซนเซอร์ ทำการเปิดปั๊มที่ 6 เพื่อเติมน้ำจากถังผสมเข้าถังน้ำเย็น หลังจากระดับน้ำในถังน้ำเย็นถึงเซนเซอร์แล้วทำการปิดปั๊มที่ 6

SetupStatus 4 เป็นการบอกว่าระบบตั้งแต่ต้นที่กล่าวมาทำงานถูกต้องตามลำดับ น้ำเตรียมพร้อม เปิดเพลเทียร์ เปิดปั๊มที่ 1, 2, 7 ปิดปั๊มที่ 3, 4, 5, 6 แล้วทำการปรับอุณหภูมิตามที่กำหนดต่อไป

SetupStatus 5 เปิดทำงานเพลเทียร์ เริ่มตรวจสอบอุณหภูมิในถังผสม เมื่อต้องการเพิ่มอุณหภูมิ จะต้องแลกเปลี่ยนความร้อนกับถังน้ำร้อนโดยเปิดปั๊มน้ำร้อนเข้าถังผสม หากอุณหภูมิในถังผสมน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ ปิดปั๊ม 4 เปิดปั๊ม 1, 2 ปิดปั๊ม 6 ตามลำดับ ตรวจสอบระดับน้ำในถังน้ำร้อน น้อยกว่าระดับเซนเซอร์ ปิดปั๊มที่ 9, 10 หากน้ำในถังน้ำร้อนถึงระดับเซนเซอร์ เปิดปั๊มที่ 9 ปิดปั๊มที่ 10 ตรวจสอบระดับน้ำในถังผสม หากระดับน้ำถึงเซนเซอร์ เปิดปั๊มที่ 9 ปิดปั๊มที่ 10 ตรวจสอบระดับน้ำในถังผสม หากระดับน้ำถึงเซนเซอร์ ปิดปั๊มที่ 3 เปิดปั๊มที่ 5 เมื่อระดับน้ำต่ำกว่าเซนเซอร์ เปิดปั๊มที่ 3 ปิดปั๊มที่ 5 ผสม เมื่อต้องการเพิ่มลดอุณหภูมิ จะต้องแลกเปลี่ยนความร้อนกับถังน้ำเย็นโดย

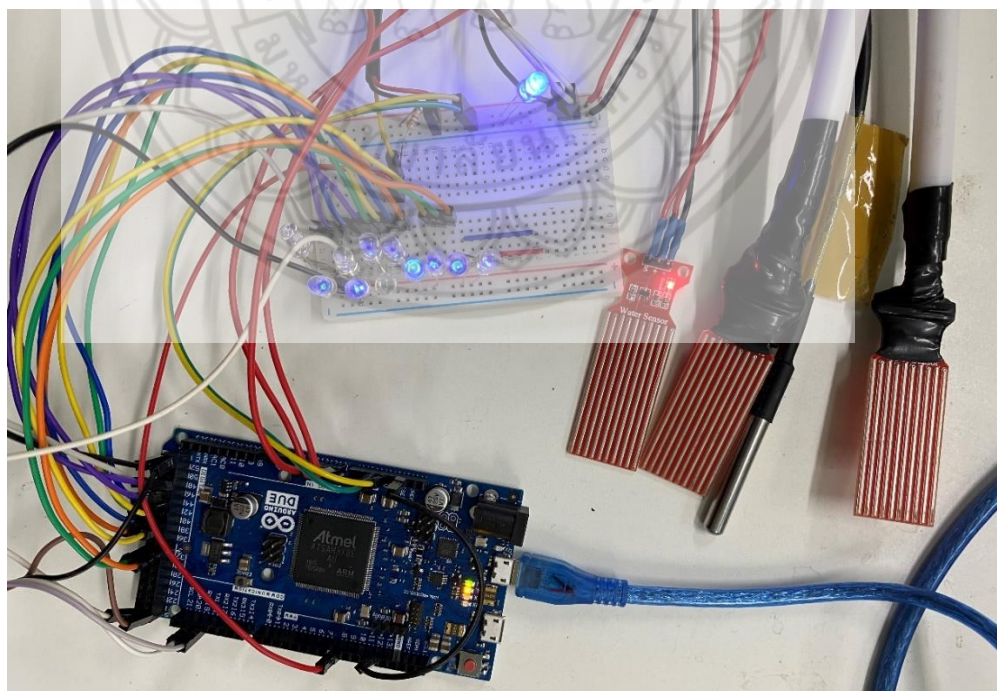
เปิดปั๊มน้ำเย็นเข้าถังผสม ปิดปั๊มที่ 3 เปิดปั๊มที่ 1, 2 ปิดปั๊มที่ 5 หากระดับน้ำในถังผสมต่ำกว่าเซนเซอร์ เปิดปั๊มที่ 4 ปิดปั๊มที่ 6 เมื่อระดับน้ำถึงเซนเซอร์ ตรวจสอบระดับน้ำในถังน้ำเย็นต่อ โดยตรวจสอบจากเซนเซอร์ เมื่อระดับน้ำในถังน้ำเย็น ต่ำกว่าเซนเซอร์ ปิดปั๊มที่ 4 เปิดปั๊มที่ 6 และเมื่อระดับน้ำในถังน้ำเย็นถึงระดับเซนเซอร์ เปิดปั๊มที่ 4, 6

เมื่ออุณหภูมิน้ำในถังผสมถึงค่าที่กำหนดแล้ว ปิดเพเลเทียร์ ปิดปั๊มที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 ตามลำดับ สุดท้ายตรวจสอบระดับน้ำในถังน้ำร้อน เมื่อระดับน้ำต่ำกว่าเซนเซอร์ ปิดปั๊มที่ 6 เปิดปั๊มที่ 10 กลับกันหากระดับน้ำถึงเซนเซอร์ ปิดปั๊มที่ 9 เปิดปั๊มที่ 10 หลังจากระบบทำอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการแล้ว สามารถสั่งให้ระบบเป็น SetupStatus 0 ระบายน้ำเพื่อทำการปรับอุณหภูมิใหม่

SetupStatus 6 เป็นการสั่งปิดระบบทั้งหมด

หลังจากระบบทำงานตั้งแต่ SetupStatus 1 ถึง SetupStatus 6 ระบบถึงจะหยุดการทำงาน และเริ่มทำงานใหม่เมื่อเปิดระบบอีกครั้ง

เมื่อทำการออกแบบระบบเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทดสอบการทำงานของระบบควบคุมไม่ให้เกิดความผิดพลาดในระหว่างการใช้งาน ดังรูปที่ ง.5



รูปที่ ง.5 ทดสอบการทำงานของระบบควบคุม

จากรูปที่ ง.5 ในการทดสอบกำหนดให้มีไฟทั้งหมด 10 ดวง แทนปั้ม 8 ปั้ม และอีกสองดวงคือ เพลเทียร์ 2 แผ่น ถ้าปั้มหรือเพลเทียร์เปิดทำงานดวงไฟจะดับกลับกันหากเพลเทียร์หรือปั้มปิดการทำงาน ดวงไฟจะติด มีเซนเซอร์วัดระดับน้ำและวัดอุณหภูมิเพื่อให้โปรแกรมวัดค่าส่งให้ระบบควบคุมทำงานอย่างต่อเนื่อง

## ศึกษาการทำงานของโปรแกรม MATLAB

ศึกษาการทำงานของฟังก์ชันที่ใช้ดึงข้อมูลจาก Microsoft Excel แล้วทำการคำนวณ ในโปรแกรม MATLAB โดยการสืบค้นฟังก์ชันในหัวข้อช่วยเหลือของโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ ง.6

### Syntax

```
num = xlsread(filename)
num = xlsread(filename,sheet)
num = xlsread(filename,xlRange)
num = xlsread(filename,sheet,xlRange)
num = xlsread(filename,sheet,xlRange,'basic')
[num,txt,row] = xlsread( __ )

__ = xlsread(filename,-1)

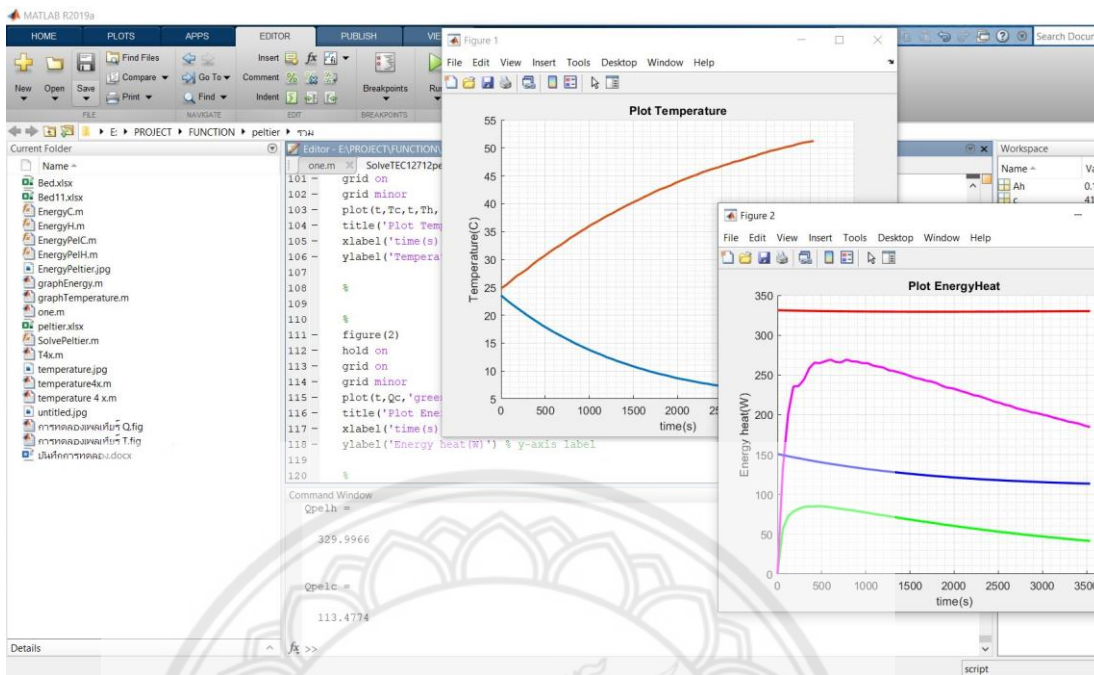
[num,txt,row,custom] = xlsread(filename,sheet,xlRange,'',processFcn)
```

รูปที่ ง.6 ศึกษาการทำงานของฟังก์ชัน xlsread ในโปรแกรม MATLAB

## เขียนฟังก์ชันคำนวณข้อมูลของอุณหภูมิในที่นอนจาก Microsoft Excel

ขั้นตอนนี้เป็นกรนำค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลอง แล้วบันทึกค่าลงใน Microsoft Excel มาใช้งานในโปรแกรม MATLAB เพื่อเป็นตัวช่วยในการคำนวณหาค่าพลังงานของ เพลเทียร์ และพลังงานสะสมในน้ำ

ใช้ฟังก์ชันที่ได้จากสมการหาค่าความร้อนของน้ำร้อน น้ำเย็น เพลเทียร์ด้านร้อน และเพลเทียร์ด้านเย็น แล้วนำมาวาดกราฟโดยใช้โปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ ง.7



รูปที่ ง.7 ผลการคำนวณและสร้างกราฟผ่าน MATLAB

จากรูปที่ ง.7 แสดงค่าที่คำนวณได้จากฟังก์ชัน ในกราฟที่แสดงอุณหภูมิของน้ำร้อนและเย็น แสดงค่าพลังงานความร้อนที่เพลเทียร์ดูดซับ เพลเทียร์ปลดปล่อย น้ำด้านร้อนและเย็น

หาพลังงานความร้อนที่ได้จากเพลเทียร์ โดยใช้สมการที่ 8 ในการหาพลังงานความร้อนที่เพลเทียร์ดูดซับ และใช้สมการที่ 9 เพื่อหาพลังงานความร้อนที่เพลเทียร์ปลดปล่อย

$$q_a = \alpha T_a I - \frac{T_e - T_a}{\theta} - \frac{I^2 R}{2} \tag{8}$$

$$q_e = \alpha T_e I - \frac{T_e - T_a}{\theta} + \frac{I^2 R}{2} \tag{9}$$

หาพลังงานความร้อนที่น้ำถูกแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย สมการที่ 10 เพื่อหาอัตราความร้อนที่ทำให้ น้ำเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลา

$$q = \frac{mc\Delta T}{\Delta t} \tag{10}$$



เมื่อหาพลังงานความร้อนจากทั้ง 4 สมการนำมาพล็อตกราฟเพื่อดูพฤติกรรมการทำงานของ  
เพลเทียร์ที่ปลดปล่อยและดูดซับพลังงาน ที่ถูกส่งถ่ายให้กับน้ำที่เปลี่ยนอุณหภูมิ

### การเขียนฟังก์ชันคำนวณข้อมูลของอุณหภูมิในที่นอนผ่าน MATLAB

ฟังก์ชันหาพลังงานในน้ำเย็น

```
function [Qc]= EnergyC(mc,c,dTc,dt)
Qc=mc*c*dTc/dt
end
```

ฟังก์ชันหาพลังงานในน้ำร้อน

```
function [Qh]= EnergyH(mh,c,dTh,dt)
Qh=mh*c*dTh/dt
end
```

ฟังก์ชันหาพลังงานในเพลเทียร์ด้านเย็น

```
function [Qpelc]= EnergyPelC(S,Th,I,V,Tc,segma)
Qpelc=(S*(273+Tc)*I)-((Th-Tc)/segma)-(0.5*(I*V))
end
```

ฟังก์ชันหาพลังงานในเพลเทียร์ด้านร้อน

```
function [Qpelh]= EnergyPelH(S,Th,I,V,Tc,segma)
Qpelh=(S*(273+Th)*I)-((Th-Tc)/segma)+(0.5*(I*V))
end
```

ฟังก์ชันหาคำนวณค่าพลังงานของเพลเทียร์ และสร้างกราฟ

```
function [P]=SolvePeltier(T,V,I,mc,mh)
S=0.053;
c=4187;
segma=1.95;
numt=size(T);
numT=(numt(1));
num=numT;
for t=1:1:numT
    Tc(t)=T(t,1);
    Th(t)=T(t,2);
end
Tc=Tc
Th=Th
t=[0:1:numt(1)-1]*60
for i=1:1:numT
    dTc(i)=abs(Tc(i)-Tc(1));
    dTh(i)=abs(Th(i)-Th(1));
end
dTc=dTc
dTh=dTh
dt=t(num)
for i=1:1:num
    Qc(i)=EnergyC(mc,c,dTc(i),t(i));
    Qh(i)=EnergyH(mh,c,dTh(i),t(i));
    Qpelh(i)=EnergyPelH(S,Th(i),I,V,Tc(i),segma);
    Qpelc(i)=EnergyPelC(S,Th(i),I,V,Tc(i),segma);
end
Qc=Qc
Qh=Qh
Qpelh=Qpelh
```



```
Qpelc=Qpelc
P=[Qc' Qh' Qpelh' Qpelc']
figure(2)
hold on
grid on
grid minor
plot(t,Qc,t,Qh,'LineWidth',2)
title('Plot EnergyHeat Water')
xlabel('time(s)')
ylabel('Energy heat Water(W)')
figure(3)
hold on
grid on
grid minor
plot(t,Qpelc,t,Qpelh,'LineWidth',2)
title('Plot EnergyHeat Peltier')
xlabel('time(s)')
ylabel('Energy heat Peltier(W)')
figure(4)
hold on
grid on
grid minor
plot(t,Qc,t,Qh,t,Qpelc,t,Qpelh,'LineWidth',2)
title('Plot EnergyHeat')
xlabel('time(s)')
ylabel('Energy heat(W)')
end
```



## การคำนวณการทดลองรูปแบบที่ 1

```
V=11.2
```

```
l=2.75
```

```
mc1=0.5
```

```
mh1=0.5
```

```
mc2=0.5
```

```
mh2=0.9
```

```
mc3=0.9
```

```
mh3=0.9
```

```
t=0
```

```
T1x = xlsread('peltier.xlsx','TEC12706','J9:K19');
```

```
T11=[T1x(:,1)]'
```

```
T12=[T1x(:,2)]'
```

```
n1=size(T11);
```

```
t1=[t:1:n1(2)-1]*60
```

```
T2x = xlsread('peltier.xlsx','TEC12706','J28:K38');
```

```
T21=[T2x(:,1)]'
```

```
T22=[T2x(:,2)]'
```

```
n2=size(T21);
```

```
t2=[t:1:n2(2)-1]*60
```

```
T3x = xlsread('peltier.xlsx','TEC12706','J47:K57');
```

```
T31=[T3x(:,1)]'
```

```
T32=[T3x(:,2)]'
```

```
n3=size(T31);
```

```
t3=[t:1:n3(2)-1]*60
```

```
SolvePeltier(T1x,V,l,mc1,mh1)
```

```
SolvePeltier(T2x,V,l,mc2,mh2)
```

```
SolvePeltier(T3x,V,l,mc3,mh3)
```

```
figure(1)
```

```
hold on
```

```
grid on
```

```

grid minor
plot(t1,T11,t1,T12,t1,T21,t1,T22,t1,T31,t1,T32,'LineWidth',2)
title('Plot Temperature')
xlabel('time(s)')
ylabel('Temperature(C)')

```

## การคำนวณการทดลองรูปแบบที่ 2

```

V=9.92
l=6.75
mc1=0.5
mh1=0.5
mc2=0.5
mh2=0.9
mc3=0.9
mh3=0.9
t=0
T1x = xlsread('peltier.xlsx','TEC12712','J9:K19');
T11=[T1x(:,1)]'
T12=[T1x(:,2)]'
n1=size(T11);
t1=[t:1:n1(2)-1]*60
SolvePeltier(T1x,V,l,mc1,mh1)
T2x = xlsread('peltier.xlsx','TEC12712','J28:K38');
T21=[T2x(:,1)]'
T22=[T2x(:,2)]'
n2=size(T21);
t2=[t:1:n2(2)-1]*60
SolvePeltier(T2x,V,l,mc2,mh2)
T3x = xlsread('peltier.xlsx','TEC12712','J47:K57');
T31=[T3x(:,1)]'
T32=[T3x(:,2)]'

```

```

n3=size(T31);
t3=[t:1:n3(2)-1]*60
SolvePeltier(T3x,V,I,mc3,mh3)
figure(1)
hold on
grid on
grid minor
plot(t1,T11,t1,T12,t1,T21,t1,T22,t1,T31,t1,T32','LineWidth',2)
title('Plot Temperature')
xlabel('time(s)')
ylabel('Temperature(C)')

```

การคำนวณการทดลองรูปแบบที่ 3

```

V= 11.7;
I= 7.67*2;
T = xlsread('peltier.xlsx','Sheet1','F9:G3626');
mc= 2;
mh= 6;
S=0.053;
c=4187;
segma=1.95;
numt=size(T);
numT=(numt(1));
num=numT;
for t=1:1:numT/60
    Th(t)=T(t*60,1);
    Tc(t)=T(t*60,2);
end
Tc=Tc;
Th=Th;
t=[0:1:numt(1)-1];

```

```

for i=1:1:num/60
    dTc(i)=abs(Tc(1)-Tc(i));
    dTh(i)=abs(Th(i)-Th(1));
end
dTc=dTc;
dTh=dTh;
dt=t(num);
t=[1:1:60]*60;
tt=[1:1:numT];
for i=1:1:num/60
    Qc(i)=EnergyC(mc,c,dTc(i),t(i));
    Qh(i)=EnergyH(mh,c,dTh(i),t(i));
    Qpelh(i)=EnergyPelH(S,Th(i),I,V,Tc(i),segma);
    Qpelc(i)=EnergyPelC(S,Th(i),I,V,Tc(i),segma);
end
figure(2) %plot all elements and deflection vector
hold on %to plot deflection vector clearer use dx&dy 0.5 in
grid on
grid minor
plot(t,Qc,'green',t,Qh,'m',t,Qpelc,'blue',t,Qpelh,'red','LineWidth',2)
title('Plot EnergyHeat')
xlabel('time(s)') % x-axis label
ylabel('Energy heat(W)') % y-axis label
figure(1)
hold on
grid on
grid minor
plot(t,Th,t,Tc,'LineWidth',2)
title('Plot Temperature')
xlabel('time(s)') % x-axis label
ylabel('Temperature(C)') % y-axis label

```

การคำนวณการทดลองรูปแบบที่ 4

```

Tc = xlsread('Bed.xlsx','220264','b16:b132');
Th = xlsread('Bed.xlsx','220264','c16:c132');
Ta = xlsread('Bed.xlsx','220264','d16:d132');
T=[Tc Th];
N =size(Th);
t=[0:1:N-1]*60;
figure(1)
hold on
grid on
grid minor
plot(t,Tc,'blue',t,Th,'red',t,Ta,'LineWidth',2)
title('Plot Temperature in Tank')
xlabel('time(s)')
ylabel('Temperature in Tank(C)')
mc=6
mh=2
V=11.7
l=7.67*2
SolvePeltier(T,V,l,mc,mh)
T1 = xlsread('Bed.xlsx','220264','e16:e132');
T2 = xlsread('Bed.xlsx','220264','f16:f132');
T3 = xlsread('Bed.xlsx','220264','g16:g132');
T4 = xlsread('Bed.xlsx','220264','h16:h132');
T5 = xlsread('Bed.xlsx','220264','i16:i132');
T6 = xlsread('Bed.xlsx','220264','j16:j132');
figure(5)
hold on
grid on
grid minor
plot(t,T1,t,T2,t,T3,t,T4,t,T5,t,T6,'LineWidth',2)

```



```

title('Plot Temperature in Mattress')
xlabel('time(s)')
ylabel('Temperature in Mattress(C)')

```

การคำนวณการทดลองรูปแบบที่ 5

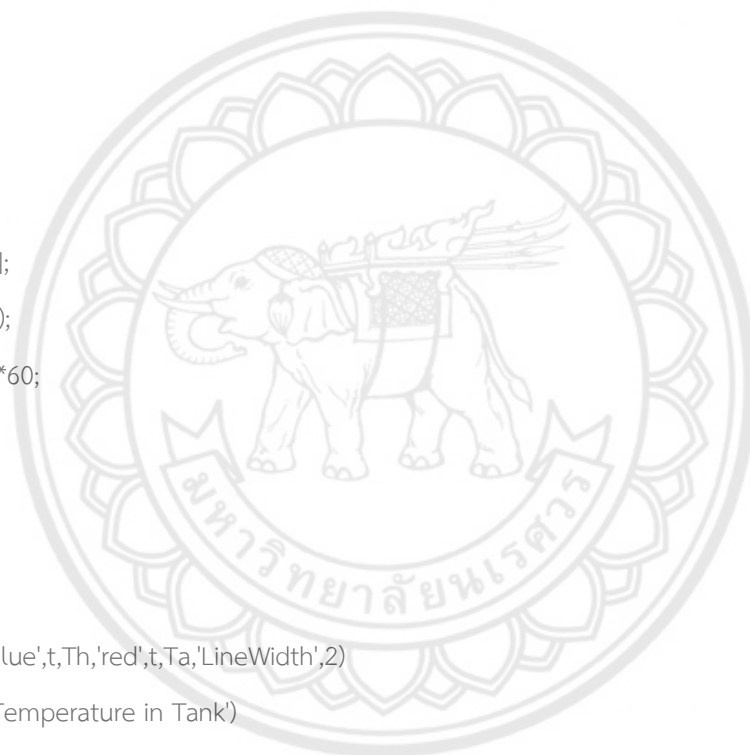
```

Tc = xlsread('Bed.xlsx','8l','b1:b163');
Th = xlsread('Bed.xlsx','8l','c1:c163');
Ta = xlsread('Bed.xlsx','8l','d1:d163');

V=11.7;
l=7.67*2;
mc=2;
mh=8;
T = [Tc Th];
N =size(Th);
t=[0:1:N-1]*60;
figure(1)
hold on
grid on
grid minor
plot(t,Tc,'blue',t,Th,'red',t,Ta,'LineWidth',2)
title('Plot Temperature in Tank')
xlabel('time(s)')
ylabel('Temperature in Tank(C)')
SolvePeltier(T,V,l,mc,mh)

T1 = xlsread('Bed.xlsx','8l','e1:e163');
T2 = xlsread('Bed.xlsx','8l','f1:f163');
T3 = xlsread('Bed.xlsx','8l','g1:g163');
T4 = xlsread('Bed.xlsx','8l','h1:h163');
T5 = xlsread('Bed.xlsx','8l','i1:i163');
T6 = xlsread('Bed.xlsx','8l','j1:j163');
figure(5)

```



```

hold on
grid on
grid minor
plot(t,T1,t,T2,t,T3,t,T4,t,T5,t,T6,'LineWidth',2)
title('Plot Temperature in Mattress')
xlabel('time(s)')
ylabel('Temperature in Mattress(C)')

```

การคำนวณการทดลองรูปแบบที่ 6

```

Tx = xlsread('Bed.xlsx','240264','b1:j59');
Tc= Tx(:,2)
Th= Tx(:,1)
Ta= Tx(:,3)
V=11.7;
l=7.67*2;
mc=6;
mh=2;
T = [Tc Th];
N =size(Th);
t=[0:1:N-1]*60;
figure(1)
hold on
grid on
grid minor
plot(t,Tc,'blue',t,Th,'red',t,Ta,'LineWidth',2)
title('Plot Temperature in Tank')
xlabel('time(s)')
ylabel('Temperature in Tank(C)')

```



```
SolvePeltier(T,V,I,mc,mh)
```

```
T1 = Tx(:,4)
```

```
T2 = Tx(:,5)
```

```
T3 = Tx(:,6)
```

```
T4 = Tx(:,7)
```

```
T5 = Tx(:,8)
```

```
T6 = Tx(:,9)
```

```
figure(5)
```

```
hold on
```

```
grid on
```

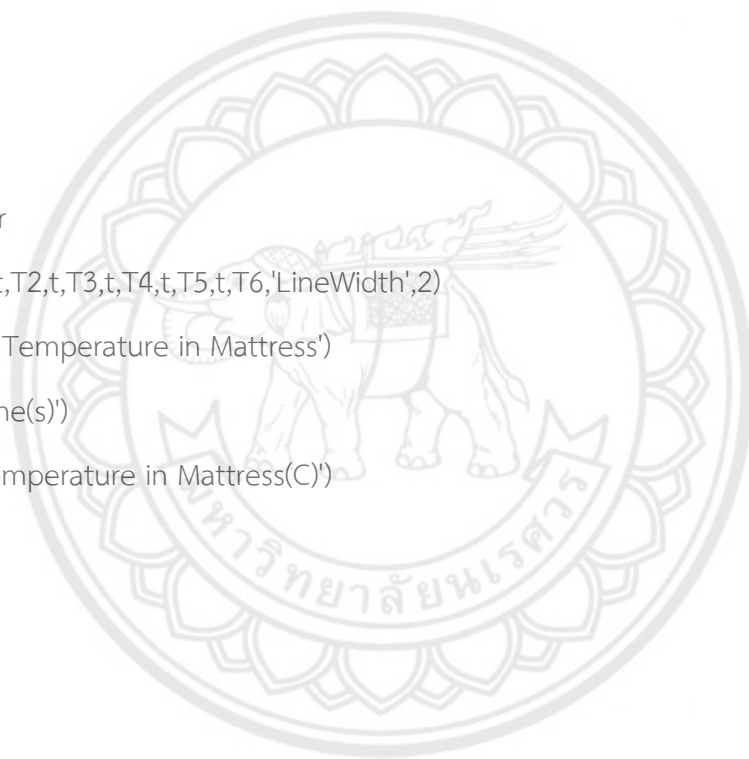
```
grid minor
```

```
plot(t,T1,t,T2,t,T3,t,T4,t,T5,t,T6,'LineWidth',2)
```

```
title('Plot Temperature in Mattress')
```

```
xlabel('time(s)')
```

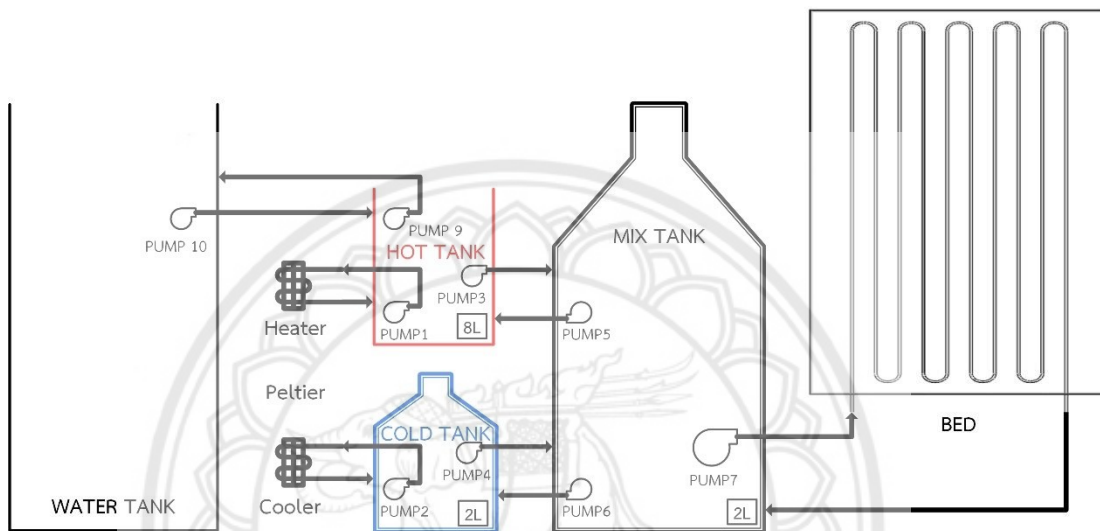
```
ylabel('Temperature in Mattress(C)')
```





ภาคผนวก จ  
แนวทางดำเนินการศึกษาต่อ

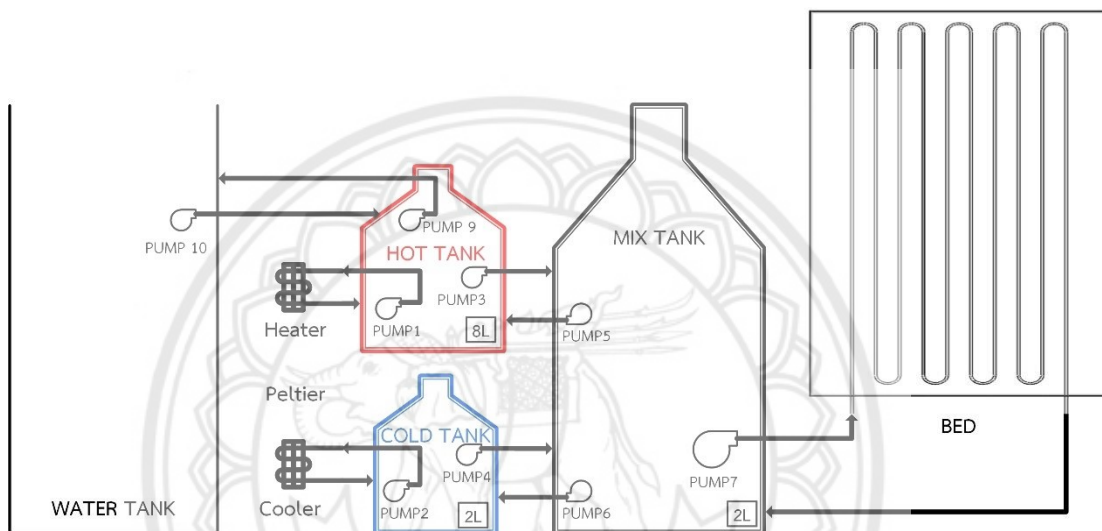
ในการทดลองศึกษาการทำงานของเพลเทียร์ พบว่าทุกปัจจัยในการออกแบบระบบควบคุม อุณหภูมิมีผลกระทบโดยตรงต่อการทำอุณหภูมิทั้งน้ำร้อนและน้ำเย็น ทางผู้วิจัยจึงออกแบบระบบ ควบคุมอุณหภูมิเพื่อเป็นแนวทางการทดลองศึกษาต่อ



รูปที่ จ.1 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ Type I

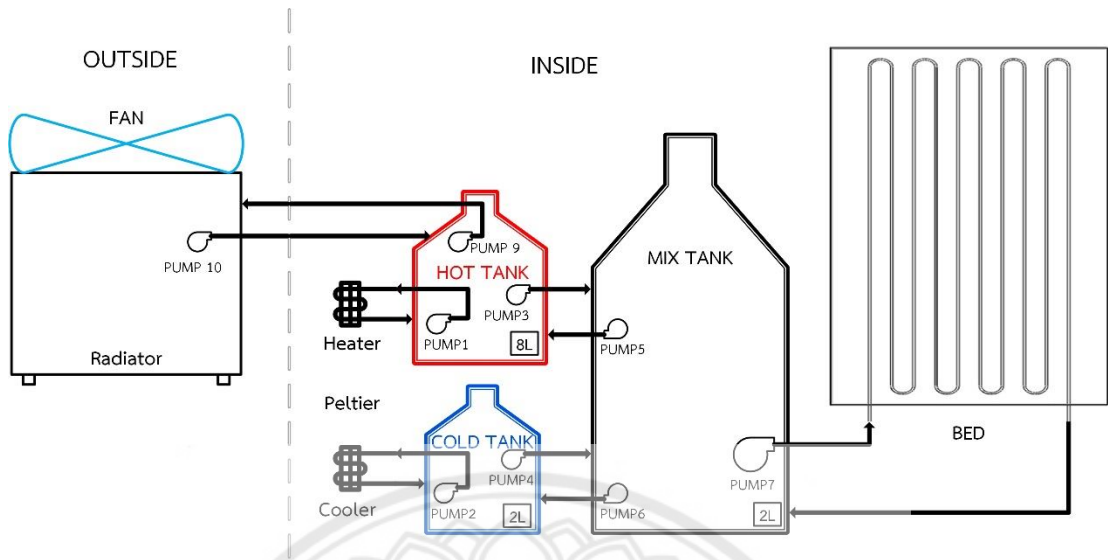
จากรูปที่ จ.1 มีการใช้ปั๊มทั้งหมด 9 ตัว เพลเทียร์ชนิด TEC12712 จำนวน 2 แผ่น ใช้ถังน้ำ ขนาด 75 ลิตร และถังน้ำร้อนขนาด 10 ลิตร เปิดออกสู่อากาศ ในขณะที่ถังน้ำเย็น และถังผสมใช้ กระบอกสุญญากาศขนาด 2 ลิตรเริ่มจากถังน้ำที่ใช้จ่ายน้ำให้กับถังน้ำร้อนด้วยปั๊มที่ 10 เมื่อน้ำในถัง น้ำร้อนถึงระดับเซนเซอร์จะปิดปั๊มที่ 10 เพื่อหยุดการจ่ายน้ำจากถังน้ำสู่ถังน้ำร้อน แล้วเปิดปั๊มที่ 9 เพื่อระบายน้ำจากถังน้ำร้อนสู่ถังน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำล้นถัง เมื่อน้ำในถังน้ำร้อนเต็ม ปั๊มที่ 3 จะเปิด เพื่อจ่ายน้ำให้กับถังผสมให้เต็ม หากระดับน้ำถึงเซนเซอร์ ปิดปั๊มที่ 5 ระบายน้ำกลับสู่ถังน้ำร้อน จากนั้นเปิดปั๊ม 6 เพื่อจ่ายน้ำเข้าถังน้ำเย็น เมื่อระดับน้ำในถังน้ำเย็นถึงระดับเซนเซอร์ ปิดปั๊มที่ 6 แล้วเปิดปั๊มที่ 4 เพื่อจ่ายน้ำเข้าถังผสม เมื่อทั้งสามถังมีระดับน้ำคงที่พร้อมใช้งาน ทำการเปิดเพลเทียร์ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เพลเทียร์รุ่น TEC12712 จำนวน 2 แผ่น เรียงต่อกัน กำหนดให้ด้านเย็นของแผ่น เพลเทียร์เชื่อมต่อกับปั๊มที่ 2 และด้านร้อนเชื่อมต่อกับปั๊มที่ 1 เพื่อเป็นการทำความเย็นให้น้ำในแต่ละ ถัง เมื่อทำอุณหภูมิในถังผสมได้ตามที่กำหนดแล้ว เปิดปั๊มที่ 7 จ่ายน้ำเข้าสู่ที่นอนเป็นขั้นตอนสุดท้าย

ของระบบ ในส่วนของการเพิ่มถังน้ำ (water tank) ข้อดี คือ ทำให้น้ำร้อนในถังน้ำร้อนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่มาก ทำให้น้ำด้านเย็นเย็นเร็วขึ้น เนื่องจากน้ำด้านร้อนมีการแลกเปลี่ยนกับน้ำอุณหภูมิห้องในถังใหญ่ ข้อเสีย คือ ใช้พื้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากถังมีขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากถังน้ำร้อนเป็นแบบไม่หุ้มฉนวนทำให้ความร้อนบางส่วนแลกเปลี่ยนและถ่ายเทสู่อากาศภายในห้องทำให้อุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้น



รูปที่ จ.2 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ Type II

จากรูปที่ จ.2 การทำงานของระบบคล้ายกันกับระบบรูปที่ จ.1 โดยเปลี่ยนจากถังน้ำร้อนแบบเปิดไม่หุ้มฉนวนเป็นแบบปิดหุ้มฉนวน ข้อดี คือ น้ำด้านร้อนเก็บอุณหภูมิได้ดี และลดความร้อนที่ได้จากน้ำร้อนสู่อากาศภายในห้อง ข้อเสีย คือ ใช้พื้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากถังมีขนาดใหญ่



รูปที่ จ.3 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ Type III

จากรูปที่ จ.3 การทำงานของระบบคล้ายกันกับรูปที่ จ.2 โดยเปลี่ยนจากถังน้ำร้อนแบบเปิดไม่หุ้มฉนวนเป็นแบบปิดหุ้มฉนวน ในส่วนของ Radiator (แบบรังผึ้ง) ติดตั้งพัดลมระบายไวด้านบนเพื่อระบายความร้อนออกสู่อากาศ Radiator ติดตั้งด้านนอกห้อง ข้อดี คือ น้ำด้านร้อนเก็บอุณหภูมิได้ดีคือลดความร้อนจากการระบายความร้อนของ Radiator และการทำน้ำเย็นของเพลเทียร์มีประสิทธิภาพดีขึ้น เนื่องจากการระบายความร้อนของน้ำฝั่งร้อนทำงานได้ดี ข้อเสีย คือ ต้องเจาะผนังห้องเพื่อติดตั้ง Radiator ไวด้านนอกห้อง