



การทดลองหาสมรรถนะการทำงานที่เหมาะสม
ของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก
Experimental Investigation for Optimal Performance
of the Thermoelectric Air Cooling System

โชคทวี สุริยวัฒนสิน
Chocktawee Suriyawattanasin

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การทดลองหาสมรรถนะการทำงานที่เหมาะสม
ของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก
Experimental Investigation for Optimal Performance of the
Thermoelectric Air Cooling System

โชคทวี สุริยวัฒนสิน
Chocktawee Suriyawattanasin

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การทดลองหาสมรรถนะการทำงานที่เหมาะสมของระบบทำอากาศเย็น
เทอร์โมอิเล็กทริก
ผู้เขียน นายโชคทวี สุริยวัฒนสิน
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ดร. ฐานันดรศักดิ์ เทพญา)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จารุวัฒน์ เจริญจิต)

.....กรรมการ
(ดร. ฐานันดรศักดิ์ เทพญา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาสกร เวสสะโกศล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มัทตาร์ แวหะยี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมเครื่องกล

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เถกิง วงศ์ศิริโชติ)
รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

(ดร. ฐานันดรศักดิ์ เทพญา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ

(นายโชคทวี สุริยวัฒนสิน)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

(นายโชคทวี สุริยวัฒนสิน)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การทดลองหาสมรรถนะการทำงานที่เหมาะสมของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก
ผู้เขียน	นายโชคทวี สุริยวัฒนสิน
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกทำจากวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ การทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกใช้ปรากฏการณ์เพลเทียร์เพื่อสร้างอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างสองด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ข้อดีของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (TEC) เมื่อเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ คือ ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหว มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และปราศจากสารทำความเย็น งานวิจัยนี้ได้ศึกษาทดลองปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานและผลการทำความเย็น ซึ่งเป็นผลตอบสนองทั้งสองของระบบทำอากาศเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้เป็น TEC1-12715 เงื่อนไขการทดลองใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) มีตัวแปรอิสระ 4 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) ในช่วง 3,074-14,139 และด้านเย็น (Re_c) ในช่วง 2,378-25,613 อัตราส่วนพื้นที่ช่องการไหลอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (A_R) ในช่วง 0.042-0.306 อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก (P_R) ในช่วง 0.09-1.00 ทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่ให้สมรรถนะการทำงานที่เหมาะสมโดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) มาวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานอากาศ (COP_a) สูงสุดเท่ากับ 2.78 มีอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) เท่ากับ 216 W ที่ P_R เท่ากับ 0.545 (74 W) Re_h เท่ากับ 8,606 และ Re_c เท่ากับ 13,995 จะเห็นว่าค่าสูงสุดของตัวแปรอิสระทั้ง 4 ไม่ได้ส่งผลให้ COP_a และ q_{ac} มีค่าสูงสุดไปพร้อมๆกัน นอกจากนี้พบว่าตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อ COP_a อย่างมีนัยสำคัญเรียงจากมากไปน้อย คือ A_R , P_R , Re_h และ Re_c ตามลำดับ และตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อ q_{ac} อย่างมีนัยสำคัญเรียงจากมากไปน้อย คือ A_R , Re_h , Re_c และ P_R ส่วนเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของอากาศเย็นที่ดีที่สุดได้จากการเขียนกราฟเส้นระดับซ้อนทับ ผลตอบสนองทั้งสองกับตัวแปรอิสระสองตัวแปร พบว่าค่า A_R จะอยู่ในช่วงต่ำ (0.042-0.055) P_R จะอยู่ในช่วงกลาง (0.590-0.681) Re_h จะอยู่ที่ค่ากลาง (8,606) และ Re_c จะอยู่ที่ค่ากลาง (13,995) ซึ่งทำให้ได้ค่า COP_a และ q_{ac} เหมาะสมกับการนำไปใช้ในการทำอากาศเย็น

คำหลัก: เทอร์โมอิเล็กทริก; วิธีผิวตอบสนอง; ระบบทำอากาศเย็น; สัมประสิทธิ์สมรรถนะ

Thesis Title Experimental Investigation for Optimal Performance of the Thermoelectric Air Cooling System
Author Mr. Chocktawee Suriyawattanasin
Major Program Mechanical Engineering
Academic Year 2022

ABSTRACT

Thermoelectric devices are made from semiconductor materials. Thermoelectric cooling uses the Peltier effect to create a different temperature between two sides of thermoelectric module. The advantages of thermoelectric cooler (TEC) compared to a vapor-compression cooling system are its lack of moving parts, small in size, lightweight and refrigerant free. This research was carried out to study the parameters affected the performance and cooling effect of the thermoelectric air-cooling system, using a TEC1-12715 module, through experiments. The experiment runs were set according to the Central Composite Experiment Design. The parameters were Reynolds number on hot-side (Re_h) ranging from 3,074-14,139, Reynolds number on cold-side (Re_c) ranging from 2,378-25,613, flow area to heat transfer area ratios of cold-side heat sink (A_R) ranging from 0.042-0.306, and the input power ratios of thermoelectric (P_R) ranging from 0.09-1.00. The Response Surface Method (RSM) was used to determine the optimal cooling conditions and cooling performances of thermoelectric air cooling system. The results showed that the maximum coefficient of performance (COP_a) was 2.78 occurred at air cooling rate (q_{ac}) of 216 W, P_R of 0.545 (74 W), Re_h of 8,606 and Re_c of 13,995. It can be observed that the highest values of the independent parameters were not resulted in maximum of COP_a and q_{ac} concurrently. The significant factors influencing COP_a in descending order were A_R , P_R , Re_h , Re_c , respectively. The significant factors influencing q_{ac} in descending order were A_R , Re_h , Re_c , P_R respectively. The optimal COP_a and q_{ac} applicable for air conditioning, obtained from contour plots overlaying between two factors and two responses, were achieved in the low-range of A_R (0.042-0.055), in the mid-range of P_R (0.590-0.681), the median of Re_h (8,606) and the median of Re_c (13,995).

Keywords: Thermoelectric; Response Surface Method (RSM); Air-Cooling system; Coefficient of Performance

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร. ฐานันตร์ศักดิ์ เทพญา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้แนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จารุวัฒน์ เจริญจิต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาสกร เวสสะโกศล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มัทตาร์ แวหะยี ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร. กิตตินันท์ มลิวรรณ ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ให้เยี่ยมอุปกรณ์ในการวัดความเร็วลมและหนังสือที่เป็นประโยชน์จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณจตุพร อินสุวรรณโณ คุณสุมาทร ฟองเกิด คุณศุภชัย ตันกะชาติ คุณบุญสม จันทร์ทอง คุณชินดิษฐ์ สองนาม และครูปฏิบัติการศึกษาวิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ทุก ๆ ท่านที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย และความช่วยเหลือในการจัดสร้างอุปกรณ์การทดลอง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จีรัตน์ สกฤรัตน์ คุณประนอม ภักดีจากรุจิรัตน์ คุณปรัชญา ชีวธนากรณกุล บุคลากรสาขาวิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ทุก ๆ ท่าน และบุคลากรคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำเอกสารทุน เอกสารคำร้อง และเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. กฤษ สมนึก และศูนย์วิจัยเทคโนโลยีพลังงาน ที่สนับสนุนทุนการศึกษา ภาคการศึกษา 1/2564

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนเงินอุดหนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนการศึกษาประเภททุนโครงการหลักสูตรปริญญาตรี-โท 5 ปี

ขอขอบคุณ สาขาวิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือช่าง และสถานที่ในการทำวิจัย

อีกทั้งขอขอบคุณในส่วนของคนรอบครัว พี่ ๆ และเพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำ และให้กำลังใจตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้ด้วย

โชคทวี สุริยวัฒนสิน

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการรูปประกอบ	(11)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(16)
บทที่ 1	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
บทที่ 2	4
2.1 ประวัติเทอร์โมอิเล็กทริก	4
2.2 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Device)	5
2.3 ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก	6
2.4 โครงสร้างของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	7
2.5 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect)	8
2.6 เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (Thermoelectric Cooler, TEC)	10
2.7 เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (Thermoelectric Generator, TEG)	10
2.8 วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก	11
2.9 ครีระบายความร้อน (Fin)	13
2.10 ฮีทซิงค์ (Heat Sink)	14
2.11 การถ่ายเทความร้อนจากฮีทซิงค์	14
2.12 การคำนวณการทำความเย็นและทำความร้อนด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริก	15
2.13 การปรับอากาศ (Air Conditioning)	16
2.14 การคำนวณการทำอากาศเย็น	17
2.15 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)	19
2.16 การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD)	20
2.17 การออกแบบพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Design)	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.18 การวิเคราะห์ทางสถิติ	24
2.19 การทำให้เหมาะสมที่สุด (Optimization)	24
2.20 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3	54
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	54
3.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง	65
3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	65
บทที่ 4	68
4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	68
4.2 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำอากาศเย็น	87
4.3 ผลวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของอุปกรณ์การวัด	90
บทที่ 5	93
5.1 สรุปผล	93
5.2 ข้อเสนอแนะ	94
บรรณานุกรม	95
ภาคผนวก	102
ก ขนาดของฮีทซิงค์ด้านเย็นที่ใช้ทดลอง	103
ข ชุดคำสั่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 สำหรับใช้วัดอุณหภูมิ	109
ค แผนภาพไซโครเมตริก	113
ง ตารางคุณสมบัติอากาศ	115
จ การสอบเทียบเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ	117
ฉ ความไม่แน่นอนของอุปกรณ์วัดและตัวอย่างการคำนวณความไม่แน่นอนในการวัด	126
ช การกำหนดช่วงของตัวแปร	132
ซ การพิจารณาค่าสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์	136
ณ Datasheet ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715	141
ญ การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	145
ประวัติผู้เขียน	166

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สรุปการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	49
2.2	สรุปการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM)	53
3.1	การแปรค่าของอัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์	60
3.2	ช่วงการแปรค่าของตัวแปรอิสระ	60
3.3	เงื่อนไขการทดลองตามช่วงการแปรค่าที่สภาวะต่างๆ	61
3.4	รายละเอียดและคุณสมบัติของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (TEC1-12715)	67
4.1	การพิจารณารูปที่ 4.1	69
4.2	ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์และค่า p-value ของสมการทำนายสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นอากาศ (COP_a)	79
4.3	ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์และค่า p-value ของสมการทำนายอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})	79
4.4	ข้อมูลแสดงผลของการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ที่เงื่อนไขต่างๆ	80
4.5	สรุปผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) จากรูปที่ 4.11a-รูปที่ 4.11f	84
4.6	สรุปผลการวิเคราะห์อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) จากรูปที่ 4.12a-รูปที่ 4.12f	86
4.7	ตารางความไม่แน่นอนของเครื่องมือที่ใช้วัดในการทดลอง	91

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1	4
2.2	5
2.3	5
2.4	6
2.5	6
2.6	7
2.7	7
2.8	8
2.9	8
2.10	9
2.11	9
2.12	10
2.13	11
2.14	12
2.15	12
2.16	13
2.17	13
2.18	14
2.19	15
2.20	17
2.21	19
2.22	21
2.23	21
2.24	23
2.25	23
2.26	25

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ประสิทธิภาพของสองตัวแปร a) ค่าที่มากที่สุด b) ที่ราบสูง c) ค่าที่มากที่สุดนอกขอบเขตของการทดลอง d) ค่าน้อยที่สุด e) พื้นผิวอานม้า	
2.27 ชุดทดลองระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ของไหลอนุภาคขนาดนาโน	26
2.28 ผลของอัตราการหมุนเวียนอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อ (a) อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทำความเย็นที่ช่วงเวลาต่างๆ (b) สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นที่ช่วงเวลาต่างๆ	27
2.29 ตู้ทำความเย็นและไดอะแกรมของตู้ทำความเย็น (a) แบบ A (b) แบบ B (c) แบบ C	30
2.30 กราฟอุณหภูมิอากาศภายในกล่องชนิด C เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่องที่เวลาต่างๆ	30
2.31 ชุดทดลองระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก	31
2.32 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทำความเย็นด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เวลาต่างๆ (a) TEC1-12706 (b) TEC1-12715	31
2.33 ไดอะแกรมชุดทดลองผลิตน้ำจืด	32
2.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำจืดที่ผลิตได้ในหนึ่งวันกับ (a) อุณหภูมิอากาศในคอลัมน์ (b) อุณหภูมิน้ำในคอลัมน์ (c) เส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอกท่ออากาศ (d) ความสูงของน้ำในคอลัมน์ (e) อัตราการไหลอากาศก่อนควบแน่นเป็นน้ำจืด	33
2.35 ไดอะแกรมกล่องทดลองทำน้ำเย็นด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริก	34
2.36 การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศภายในกล่องทำความเย็นที่เวลาต่างๆ	34
2.37 (a) รูปส่วนประกอบของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (b) ส่วนประกอบภายในของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	35
2.38 ภาพ 3 มิติ ผลของระเบียบวิธีผิวตบสนองที่พล็อตโดยใช้ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของครีบสำหรับ (a) ความดันสูญเสีย (b) ความต้านทานเชิงความร้อน	36
2.39 อุณหภูมิอากาศภายในตู้เย็นที่เวลาต่างๆ	37
2.40 (a) ชุดทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (b) โครงสร้างภายในกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	38

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.41 ชุดทดลองของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	39
2.42 (a) กราฟแสดงอุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้าแต่ละค่า (b) กราฟแสดงอุณหภูมิภายในระบบปิดที่เปลี่ยนแปลงแต่ละค่า (c) กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นและกระแสไฟฟ้า	39
2.43 (a) กราฟแสดงอุณหภูมิภายในระบบปิดที่เปลี่ยนแปลงแต่ละค่า (b) กราฟแสดงประสิทธิภาพและกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	41
2.44 (a) ผลของการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่ออุณหภูมิของของไหลด้านร้อนและด้านเย็น (b) ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	41
2.45 ลักษณะของชุดครีบบระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ	42
2.46 ทิศทางการไหลของอากาศที่ด้านร้อนและด้านเย็น	43
2.47 ส่วนประกอบชุดทดลองลดความชื้น	44
2.48 ลักษณะการติดตั้งส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศแบบพัดลมไอเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก	45
2.49 อุณหภูมิอากาศเย็นที่การป้อนกระแสไฟฟ้าต่างๆ	46
2.50 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกระเป๋ากับอุณหภูมิแผ่นด้านเย็นที่เวลาต่างๆ แบบมีพัดลมกระจายความเย็น	46
2.51 ภาพแสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทำความเย็นที่ (a) ระบายความร้อนด้วยน้ำปกติ (b) ระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น	47
3.1 ผังชุดทดลองกล่องทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้น้ำในการระบายความร้อน	56
3.2 รูปทรงเรขาคณิตของฮีทซิงค์ด้านเย็นที่ทำขึ้นเพื่อใช้ในการทดลอง	59
3.3 ไดอะแกรมชุดทดลอง	66
3.4 ชุดทดลองจริงพร้อมรายละเอียด	66
4.1 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟารวมที่ป้อนให้อุปกรณ์ในระบบ (P_E) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ah}) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})	70

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2	70
4.3	71
4.4	72
4.5	72
4.6	73
4.7	73
4.8	75
4.9	77

4.2 ความสัมพันธ์ของความแตกต่างอุณหภูมิผิวด้านร้อน-เย็นแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_f) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_f) และผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_f)

4.3 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟารวมที่ป้อนให้อุปกรณ์ในระบบ (P_E) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}/q_{ah})

4.4 ผลของกำลังไฟฟ้า (P_e) ที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_f) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc})

4.5 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_f) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_f) และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_e)

4.6 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_f) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_f) และอัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}/q_{th})

4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (เฉลี่ย) ในกล่องทำความเย็นตามเวลาในช่วงเวลา 30 นาที ที่เงื่อนไข COP_t (max), q_{tc} (max) และ T_c (min)

4.8 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ (P_E) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของอากาศ (COP_a) และอัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}/q_{ah}) และความแตกต่างอุณหภูมิของอากาศก่อนและหลังผ่านฮีทซิงค์ด้านเย็น (ΔT_a)

4.9 การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_f)

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc})	
4.10 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน-เย็น (ΔT_t) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) และ อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc})	77
4.11 กราฟเส้นระดับแสดงผลของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) ระหว่าง (a) P_R กับ A_R , (b) Re_c กับ A_R , (c) Re_h กับ A_R , (d) P_R กับ Re_c , (e) P_R กับ Re_h และ (f) Re_h กับ Re_c	83
4.12 กราฟเส้นระดับแสดงผลของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โม- อิเล็กทริก (q_{ac}) ระหว่าง (a) P_R กับ A_R , (b) Re_c กับ A_R , (c) Re_h กับ A_R ,(d) P_R กับ Re_c , (e) P_R กับ Re_h และ (f) Re_h กับ Re_c	86
4.13 กราฟเส้นระดับแสดงผลของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ระหว่าง (a) P_R กับ A_R , (b) Re_c กับ A_R , (c) Re_h กับ A_R , (d) P_R กับ Re_c , (e) P_R กับ Re_h และ (f) Re_h กับ Re_c	89

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

A	= พื้นที่หน้าตัดของท่ออากาศด้านเย็น
A_f	= พื้นที่หน้าตัดของท่อการไหลของอากาศ
A_h	= พื้นที่ฮีทซิงค์ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ด้านเย็น
A_R	= อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น
B	= ความสูงของฐานฮีทซิงค์
Bi_2Te_3	= Bismuth Telluride
CCD	= การออกแบบส่วนประสมกลาง
COP_a	= สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ
COP_t	= สัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
D_c	= Hydraulic Diameter ที่ท่อด้านเย็น
D_h	= Hydraulic Diameter ที่ท่อด้านร้อน
DOE	= การออกแบบการทดลอง
EED	= Essential Experimental Design
G	= ระยะห่างระหว่างครีบบีทฮีทซิงค์
H	= ความสูงของครีบบีทฮีทซิงค์
h	= ความสูงท่ออากาศด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
h_1	= ค่าเอนทัลปีของอากาศก่อนผ่านฮีทซิงค์
h_2	= ค่าเอนทัลปีของอากาศหลังผ่านฮีทซิงค์
I	= กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์
k	= ค่าการนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก
L	= ความยาวของฐานฮีทซิงค์
M	= จำนวนแถวของร่องบนครีบบีทที่ถูกแบ่งตามขวาง
n	= จำนวนครีบบีทฮีทซิงค์
P	= กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์
P_E	= กำลังไฟฟ้ารวมที่ป้อนให้อุปกรณ์ในระบบ
P_c	= กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

P_{fc}	= กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก
P_{fh}	= กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก
P_R	= อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
P_t	= ผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
P_{max}	= กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
q_{ac}	= อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
q_{ah}	= อัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
q_{ic}	= อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
q_{th}	= อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
R	= ความต้านทานไฟฟ้า
Re_c	= อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านเย็น
Re_h	= อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน
RSM	= ระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง
t	= ความหนาของครีป
TEC	= เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์
TEG	= เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์
T_c	= อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก
T_h	= อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก
u_i	= ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านท่ออากาศด้านเย็น
V	= แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์
v_a	= ปริมาตรจำเพาะของอากาศ
u_c	= ความเร็วของอากาศที่พัดลมระบายความร้อนที่ด้านเย็น

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

u_h	= ความเร็วของอากาศที่พัดลมระบายความร้อนที่ด้านร้อน
\dot{v}_f	= อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ
w	= ความกว้างท่ออากาศด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
W	= ความกว้างของฐานฮีทซิงค์
X	= ระยะห่างระหว่างครีบบีทฮีทซิงค์ในแนวตามขวาง
y	= ผลตอบสนองมาจากการทดลอง
z	= คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ
\dot{m}_a	= อัตราไหลเชิงมวลของอากาศ
α	= สัมประสิทธิ์ซีเบค
σ	= สภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ
λ	= สภาพนำความร้อนของวัสดุ
ε	= ค่าความผิดพลาดของผลตอบสนอง
ρ	= ความหนาแน่นของอากาศ
v	= ความหนืดของอากาศแบบไดนามิก
ΔT_a	= ความแตกต่างอุณหภูมิของอากาศก่อน-หลังผ่านฮีทซิงค์
ΔT_t	= ความแตกต่างอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน-เย็น
ΔP	= ความดันตกคร่อมก่อน-หลังผ่านฮีทซิงค์
δ	= ค่าความไม่แน่นอน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อตอบสนองการใช้พลังงานหลายรูปแบบทำให้ผู้คนหันมาสนใจพลังงานทางเลือกกันอย่างมากและในประเทศไทยก็มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่แหล่งพลังงานสำรองมีจำกัด จึงต้องนำเข้าพลังงานส่วนหนึ่งจากต่างประเทศ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) ดังนั้นการผลิตพลังงานยังคงเป็นหนึ่งในสิ่งจำเป็นต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและความเจริญเติบโตของประเทศไทย การเข้ามาของเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและการแทนที่รูปแบบเทคโนโลยีแบบเดิมที่พัฒนาและใช้กันมาเป็นเวลาหลายทศวรรษ อาจพลิกโฉมรูปแบบพลังงานอย่างสิ้นเชิงการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานเป็นความพยายามในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้พลังงานทดแทนเช่น ระบบกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar & Energy Storage) รถยนต์มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Vehicles) การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานแบบดิจิทัล (Digitization and Energy) ระบบผลิตพลังงานขนาดเล็ก (Smart Grid/Micro Grid) รวมถึงพวกอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น เครื่องปั่นไฟขนาดเล็ก กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นต้น จึงไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าเทคโนโลยีสมัยใหม่เหล่านี้ได้เริ่มเข้ามาทำให้อุตสาหกรรมต้องพัฒนาปรับตัวให้พร้อมต่อการเปลี่ยนแปลงเพราะจะเป็นปัจจัยต่อความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมการผลิต โดยเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectrics) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทางเลือกที่นักวิทยาศาสตร์กำลังให้ความสนใจและศึกษาเนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหว ไม่ต้องใช้สารทำความเย็น (นิตยา และคณะ, 2548) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในหลายๆด้าน เช่น ใช้เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าจากความร้อนที่เหลือทิ้งในกระบวนการอุตสาหกรรม ใช้เป็นแหล่งทำความเย็นในการเก็บรักษา วัคซีน ยา เพื่อใช้ในพื้นที่ที่ห่างไกล ใช้เป็นอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน เป็นต้น

เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectrics) คือ อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้และในทางกลับกันก็สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนได้เช่นเดียวกัน (บุญยภัทร, 2560) โดยมีปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเทอร์โมอิเล็กทริกหลักๆ 3 ปรากฏการณ์ได้แก่ ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) และปรากฏการณ์ทอมป์สัน (วริชฐา, 2557) ปัจจุบันเทอร์โมอิเล็กทริกในประเทศไทยยังต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ และมีการประยุกต์ใช้อยู่ในวงแคบๆ เนื่องจากยังขาดความรู้ ความเข้าใจใน

หลักการดำเนินงานของวัสดุขั้นนี้ หากศึกษาจนสามารถหาเงื่อนไขการทำงานไปใช้งานที่เหมาะสมของเทอร์โมอิเล็กทริก จะสามารถนำไปใช้ในด้านต่างๆได้หลากหลาย อันนำไปสู่การเพิ่มตัวเลือกแหล่งพลังงานทางเลือกในอนาคต ปัจจุบันมีการนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้ในด้านต่างๆ เช่น การทำความเย็น การผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้เป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดและยังใช้ในอีกหลายๆด้าน เช่น

- รถยนต์ประหยัดพลังงาน โดยติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกที่ท่อไอเสียรถยนต์ ด้านที่อยู่ติดกับท่อไอเสียจะเป็นด้านที่มีอุณหภูมิสูง ส่วนด้านที่อยู่ในอากาศด้านนอกรถก็จะเป็นด้านที่อุณหภูมิต่ำ ความต่างระหว่างอุณหภูมิสองจุดนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อนำไปช่วยขับเคลื่อนที่ของรถยนต์ได้

- การชาร์จแบตเตอรี่สมาร์ทโฟน โดยอาศัยการเคลื่อนไหวของร่างกาย เช่น การเดิน หรือการวิ่ง เป็นต้น โดยมีค่า Figure of Merit, ZT ที่บ่งบอกค่าการมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นกว่าเดิมถึง 35% การนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้งานสามารถใช้งานได้ 2 รูปแบบ คือ ใช้ความร้อนเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า โดยใช้ความร้อนที่สูญเสียจากอุปกรณ์ ให้ความร้อนต่างๆ ผันเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยจะใช้ในประเทศในเขตกึ่งหนาว แถบทางยุโรป หรือใช้ไฟฟ้าผันเป็นความร้อนหรือความเย็นได้โดยนำไปใช้แทนสารทำความเย็นในตู้เย็น (สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน, 2561)

- การนำเอาเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในครัวเรือน เช่น การทำตู้เย็นแช่น้ำ การทำแอร์ส่วนตัว การทำเครื่องทำไอศกรีม การทำตู้ทำน้ำเย็น เป็นต้น ซึ่งในการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในครัวเรือนจะเป็นการสร้างระบบที่เล็กๆ ไม่ได้มีขนาดใหญ่โดยมุ่งเน้นระบบที่สร้างง่ายไม่ซับซ้อน ต้นทุนไม่สูงมาก ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอสารทำความเย็น

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้วิธีการทดลอง เพื่อหาเงื่อนไขการทำงานของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง (RSM) ในการวิเคราะห์หาอิทธิพลของปัจจัยแต่ละตัวที่มีผลต่อค่า COP_a และ q_{ac} ในการนำไปประยุกต์ใช้ทำอากาศเย็น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษา ทดลองปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

1.2.2 เพื่อหาเงื่อนไขที่ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ที่เหมาะสมโดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง (RSM)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบเงื่อนไขการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับระบบทำความเย็นที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

1.3.2 เป็นแนวทางในการนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้งานในระบบทำความเย็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.4.1 ระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 12V-15.4V 15A ผลิตจากวัสดุ Bi_2Te_3 วัสดุเซรามิกส์ที่ใช้ปิดด้านนอกทำจาก Al_2O_3

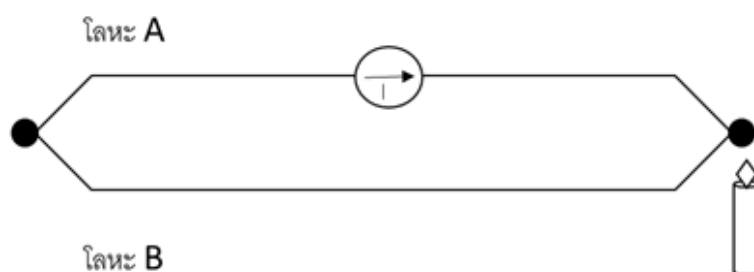
1.4.2 ระบบทำความเย็นที่เลือกใช้เป็นระบบทำอากาศเย็น โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ด้านร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c) อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (A_R) และอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_R) โดยผลตอบสนองที่สนใจได้แก่สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

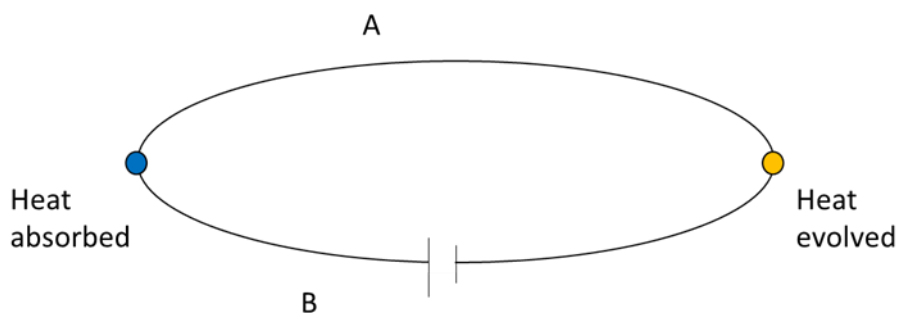
2.1 ประวัติเทอร์โมอิเล็กทริก

ในปี ค.ศ. 1821 โทมัส โจแฮนน์ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ค้นพบว่า ถ้าให้ความร้อนที่รอยต่อของโลหะ 2 ชนิด จะทำให้เกิดความต่างศักย์ของไฟฟ้าระหว่างปลายโลหะทั้งสองแสดงดัง รูปที่ 2.1 ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างอุณหภูมิที่ปลายโลหะดังกล่าว Seebeck ได้สรุปว่าความแตกต่างอุณหภูมิมีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในโลหะ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Seebeck Effect



รูปที่ 2.1 ปรากฏการณ์ Seebeck (ชาติรี, 2560)

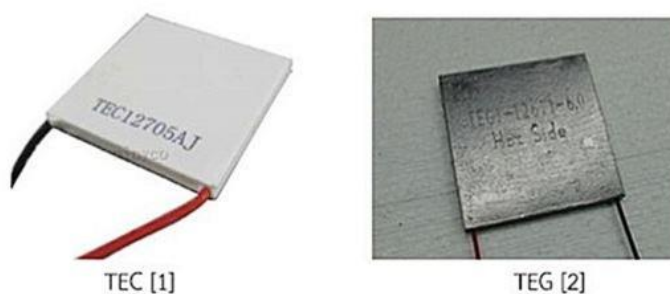
ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 Jean C.A. Peltier ได้ทำการทดลองปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปในโลหะทองแดงและบิสมัทที่เชื่อมต่อกัน ผลที่เกิดขึ้น คือ รอยต่อระหว่างทองแดงและบิสมัทข้างหนึ่งจะร้อนขึ้น ส่วนอีกข้างหนึ่งจะเย็นลง อันเป็นผลจากคุณสมบัติของโลหะแต่ละชนิด อิเล็กตรอนเคลื่อนผ่านโลหะด้านหนึ่งจะปลดปล่อยความร้อน (Heat Evolved) แต่อีกด้านหนึ่งจะดูดกลืนความร้อน (Heat Absorbed) ทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 2.2 เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า Peltier Effect และ Peltier ยังได้ใช้รอยต่อของทองแดงและบิสมัททำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง จากกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์จะเห็นได้ว่าปรากฏการณ์ทั้งสองเป็นกระบวนการที่สามารถกำเนิดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานย้อนกลับกระบวนการ (Reverse Operation) ได้ (ชาติรี, 2560)



รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์ Peltier Effect จากการเคลื่อนที่ของประจุในโลหะต่างชนิด (ชาติรี, 2560)

2.2 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Device)

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้และในทางกลับกันก็ยังเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนได้เช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.3 สำหรับคำว่า “เทอร์โมอิเล็กทริก” มาจากคำว่า “เทอร์โม (Thermo)” ซึ่งมีความหมายว่า ความร้อนและคำว่า “อิเล็กทริก (Electric)” ซึ่งมีความหมายว่าไฟฟ้า ดังนั้นเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ในการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนโดยอาศัยการสัมผัสของโครงสร้างภายในวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ เมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างปลายวัสดุทั้ง 2 ข้าง พบว่าจะมีการถ่ายเทอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำจะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าออกมาและในทางกลับกันเมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีความต่างศักย์ไฟฟ้า จะมีการถ่ายเทความต่างศักย์ไฟฟ้าจากความต่างศักย์สูงไปยังความต่างศักย์ต่ำ ทำให้ได้พลังงานความร้อนออกมา (บุญยภัทร, 2560)



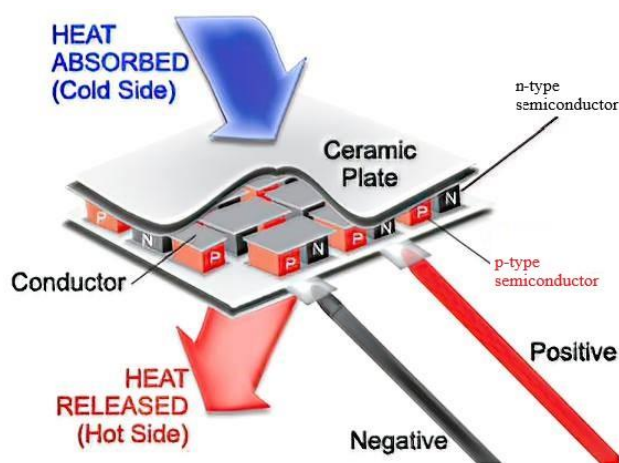
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (บุญยภัทร, 2560)

2.3 ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแบ่งได้สองประเภท คือ

2.3.1 เทอร์โมอิเล็กทริกชั้นเดียว (Single-Stage-Thermoelectric Module)

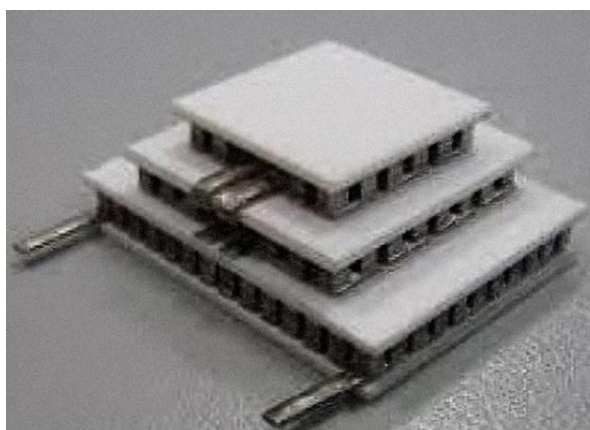
เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่างอุณหภูมิด้านเย็นกับด้านร้อนในการใช้งานไม่สูงมากประมาณ 67 °C มีคุณสมบัติต่างๆให้เลือกตามการใช้งาน เช่น ความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น (ชาตรี, 2560) มีโครงสร้างและส่วนประกอบ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างและส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกชั้นเดียว (ชาตรี, 2560)

2.3.2 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage-Thermoelectric Module)

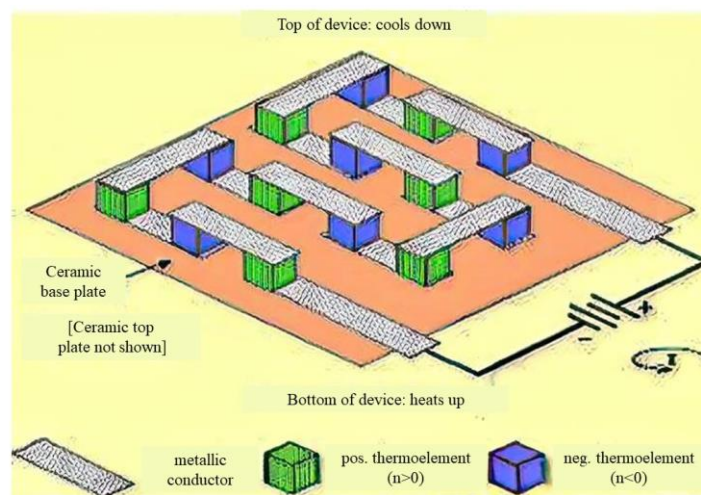
เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีการเชื่อมต่อตั้งแต่ 2 ชั้น จนถึง 6 ชั้น ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (ชาตรี, 2560)

2.4 โครงสร้างของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตกันจะมีมาตรฐานในการผลิต โดยโครงสร้างภายในจะมีการใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็น (P type-N type) จะถูกนำมาเรียงบนฉนวนไฟฟ้าต่อสลับกันทางวงจรไฟฟ้าและต่อขนานกันในเชิงวงจรความร้อน เพื่อให้การเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าสอดคล้องกับการเกิดปรากฏการณ์ Peltier Effect (ชาตรี, 2560) ดังรูปที่ 2.6 รอยต่อโอห์มมิกซ์ที่ผนังอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นมีผลต่อประสิทธิภาพการนำความร้อนที่บริเวณรอยต่อ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (ชาตรี, 2560)



ก. ภาพขยายส่วนฐานและเทอร์โมอิเล็กทริก

ข. แผ่นฉนวนที่จัดเรียงเทอร์โมอิเล็กทริก

รูปที่ 2.7 โครงสร้างภายในเทอร์โมอิเล็กทริก (ชาตรี, 2560)

2.5 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect)

โดยทั่วไปปรากฏการณ์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน มี 3 ปรากฏการณ์ (วริษฐา, 2557) ได้แก่

2.5.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect)

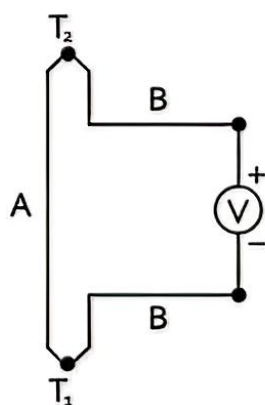
เกิดเมื่อมีการให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด ดังรูปที่ 2.8

2.5.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

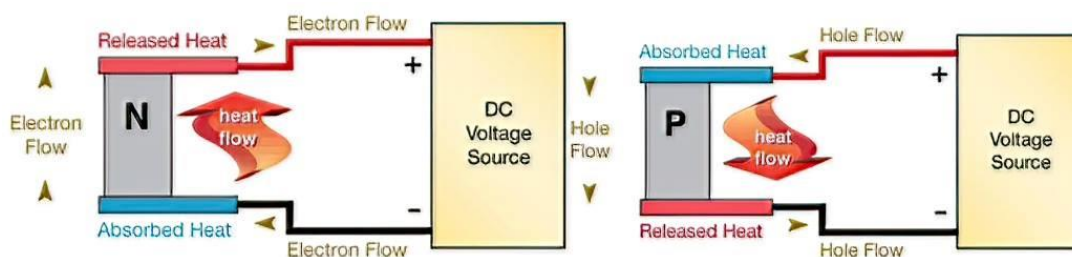
เกิดเมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าให้ไหล จะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งทั้งปรากฏการณ์เพลเทียร์และปรากฏการณ์ซีเบคมีความคล้ายคลึงกัน

2.5.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson Effect)

เกิดเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าสองจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ทิศทางความร้อนขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจากจุดเย็นไปจุดร้อน หรือจากจุดร้อนไปจุดเย็น

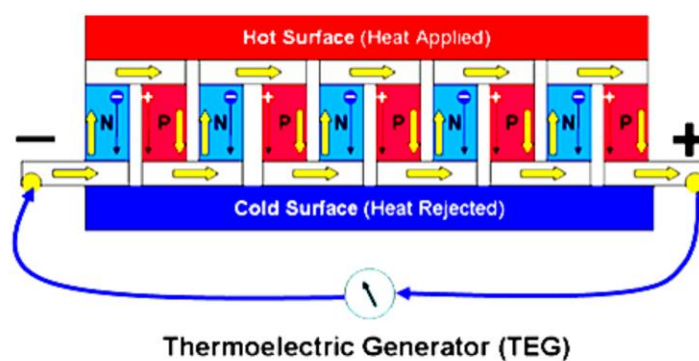


รูปที่ 2.8 ปรากฏการณ์ซีเบคในวัสดุที่แตกต่างกันสองอย่าง (วริษฐา, 2557)



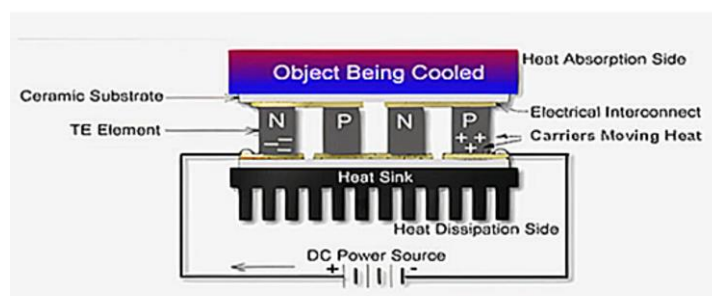
รูปที่ 2.9 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (วริษฐา, 2557)

เมื่อนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาทำให้อุณหภูมิแผ่นเซรามิกส์ด้านบนและด้านล่างแตกต่างกัน ทำให้เกิดปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้และเมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด (load) หรือภาระไฟฟ้าจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลตามปรากฏการณ์ของซีเบค โดยทั่วไปเรียกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบนี้ว่าเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (Thermoelectric Generator, TEG) แสดงดังรูปที่ 2.10 (บุญยภัทร, 2560)



รูปที่ 2.10 กลไกการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (บุญยภัทร, 2560)

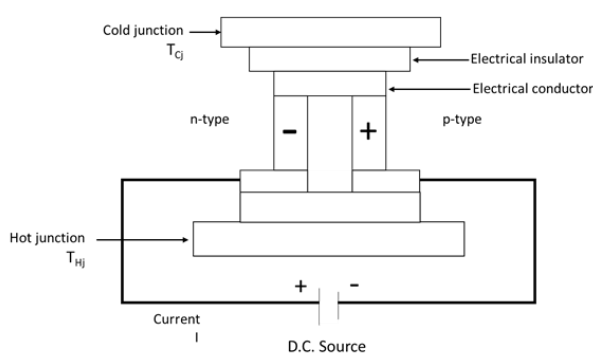
ในทางกลับกัน เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนและด้านล่างตาม ปรากฏการณ์ของเพลเทียร์โดยทั่วไปเรียกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบนี้ว่า เทอร์โมอิเล็กทริกคูลลิ่ง (Thermoelectric Cooling, TEC) แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กลไกการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลลิ่ง (บุญยภัทร, 2560)

2.6 เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (Thermoelectric Cooler, TEC)

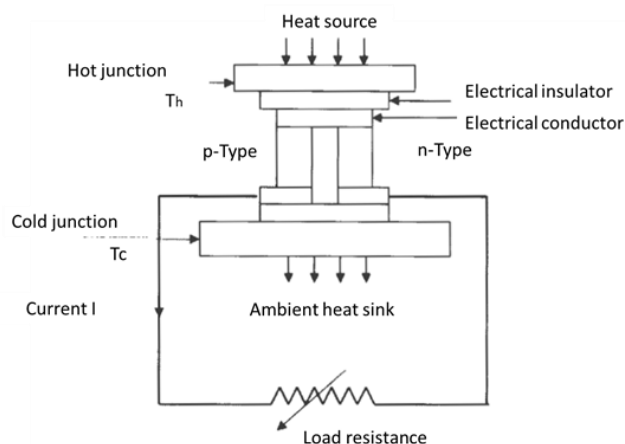
เป็นการป้อนกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านรอยต่อโอห์มมิก (Ohmic junction) ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (TEC) มาทำเป็นความเย็นโดยอาศัยหลักการการดูดกลืนความร้อนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากรอยต่อด้านเย็นผ่านเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์และนำไปปล่อยทิ้งที่รอยต่อด้านร้อนทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิโดยรอยต่อด้านเย็น จะมีอุณหภูมิต่ำลงต่อเมื่อมีปริมาณกระแสไฟฟ้าและการระบายความร้อนที่รอยต่อด้านร้อนมากขึ้น (วีรยา, 2560) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แผนผังของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (วีรยา, 2560)

2.7 เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (Thermoelectric Generator, TEG)

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างรอยต่อด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์ในการกำเนิดไฟฟ้าด้วยความร้อนจากรอยต่อโอห์มมิก (Ohmic junction) ส่งผลให้กลุ่มอิเล็กตรอนในด้านร้อนมีพลังงานสูงกว่าด้านเย็น ทำให้สมดุลของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปจึงเป็นการกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งยังมีความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากขึ้นด้วยเช่นกัน แต่ต้องพิจารณาถึงรูปร่าง ขนาด คุณสมบัติการใช้งาน ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า รวมถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนด้วย (วีรยา, 2560) ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แผนผังของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (วีรยา, 2560)

2.8 วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก

วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกต้องเป็นสารที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสูง เช่น สารกึ่งตัวนำและโลหะ เนื่องจากสารทั้งสองประเภทนี้มีอิเล็กตรอนอยู่จำนวนมากจึงส่งผลต่อประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังรูปที่ 2.14 โดยนิยามของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าหารด้วยผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกโดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่นิยมใช้จะเป็นพวกสารกึ่งตัวนำผสมกับโลหะ เช่น Silicon Germanium (SiGe), Bismuth Telluride (Bi_2Te_3) และ Lead Telluride (PbTe) ซึ่งมีค่าซีเบคสูงกว่าการใช้โลหะหรือสารกึ่งตัวนำเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง นอกจากนี้สารกึ่งตัวนำยังมีประจุไฟฟ้าอีกรูปแบบหนึ่งคือ โฮล (Hole) โดยโฮลจะทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างสารกึ่งตัวนำจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานขึ้น ดังนั้นที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นข้อดีของการใช้สารกึ่งตัวนำผสมกับโลหะซึ่งในปัจจุบันวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกในเชิงพาณิชย์ ก็คือสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-Type) และชนิดพี (P-Type)

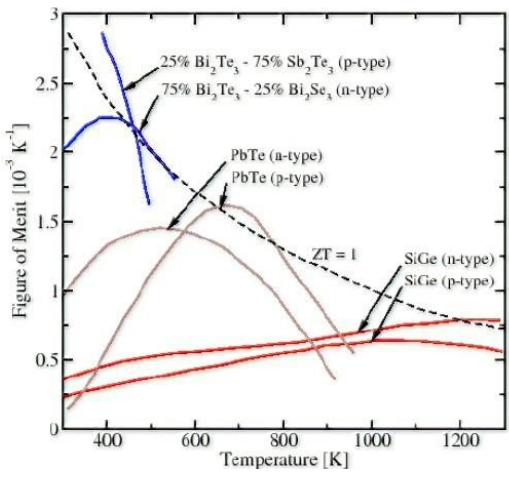
2.8.1 คุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (วีรยา, 2560)

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าที่แตกต่างกันตามวัสดุ ดังรูปที่ 2.14 และคุณสมบัติที่ดีจะทำให้มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่สูง มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

2.8.1.1 สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นความเย็นได้มาก

2.8.1.2 สามารถให้สภาพการนำไฟฟ้าสูง แต่เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อย (ความร้อนเกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า)

2.8.1.3 มีสภาพการนำความร้อนต่ำเพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ

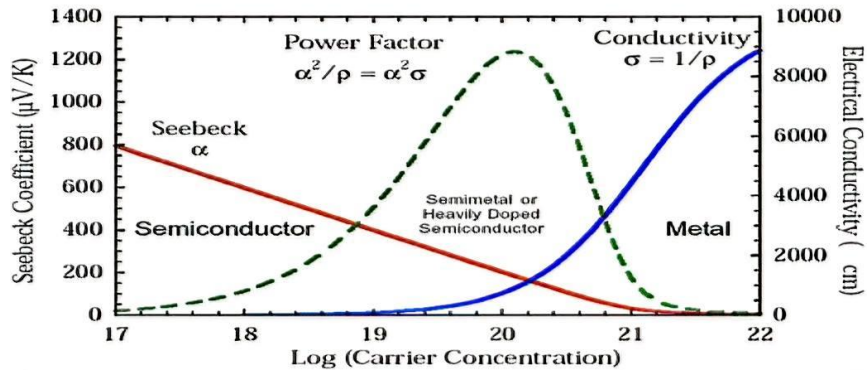


รูปที่ 2.14 ค่าประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้วัสดุแตกต่างกัน (วริษฐา, 2557)

คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ (Z) ทั้ง 3 ประการนี้ มีความสัมพันธ์กันด้วยหลักการทางฟิสิกส์ตามสมการที่ 2.1 และมีกราฟความสัมพันธ์คุณสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก ดังรูปที่ 2.15

$$z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda} \tag{2.1}$$

- โดยที่ z คือ คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ (หน่วย/อุณหภูมิ)
- α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)
- σ คือ สภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ (A/V.m)
- λ คือ สภาพนำความร้อนของวัสดุ (W/m.K)



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ของคุณสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก (บุญยภัทร, 2560)

2.9 ครีกระบายความร้อน (Fin)

พื้นที่ที่จำกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเป็นปัญหาในการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดี ดังนั้นวิธีการง่ายๆ ที่จะเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ความร้อนก็คือ การติดแผ่นโลหะแผ่นบางๆ เข้ากับผิวโลหะเดิมเพื่อเพิ่มพื้นที่ ทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) เพิ่มขึ้น และส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนของพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นนี้ ขึ้นกับประสิทธิภาพของพื้นที่ดังกล่าวและแผ่นโลหะบางๆ ที่ติดเพิ่ม เรียกว่า ครีระบายความร้อน (Fin) (สงกรานต์, 2551) โดยสามารถจำแนกครีระบายความร้อนออกได้สองวิธีดังนี้

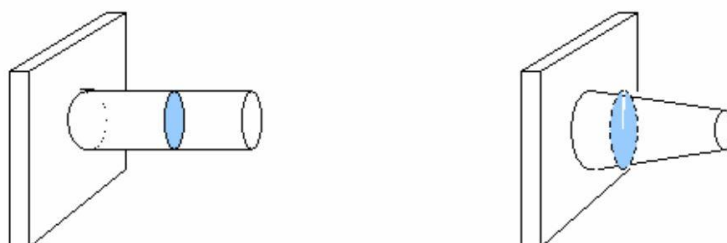
2.9.1 ชนิดของครีระบายความร้อน แบ่งตามลักษณะรูปตัดได้ 2 แบบ ดังนี้

2.9.1.1 ครีที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอ (Uniform Cross Section Fin)

ดังรูปที่ 2.16a

2.9.1.2 ครีที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ (Non-Uniform Cross Section Fin)

ดังรูปที่ 2.16b

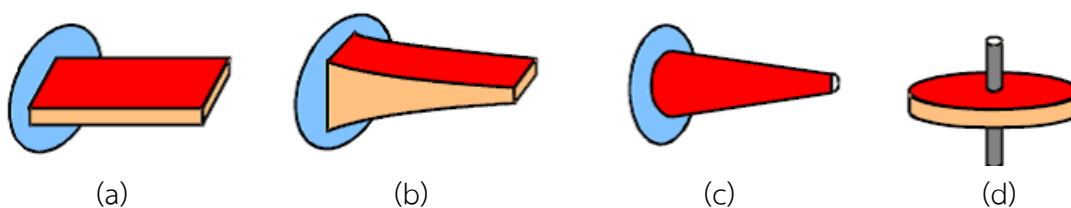


(a) ครีที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอ

(b) ครีที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ

รูปที่ 2.16 ครีที่แบ่งตามลักษณะหน้าตัด (สงกรานต์, 2551)

2.9.2 ชนิดของครีระบายความร้อนแบ่งตามรูปร่างของครี 4 แบบ ดังนี้



(a)

(b)

(c)

(d)

รูปที่ 2.17 ครีระบายความร้อนแบ่งตามรูปร่างของครี (a) ครีตรงพื้นที่คงที่ (b) ครีตรงพื้นที่ไม่คงที่ (c) ครีแบบกลุ่มฟิน (d) ครีชนิดวงแหวน (Thorat, 2017)

2.10 ฮีทซิงค์ (Heat Sink)

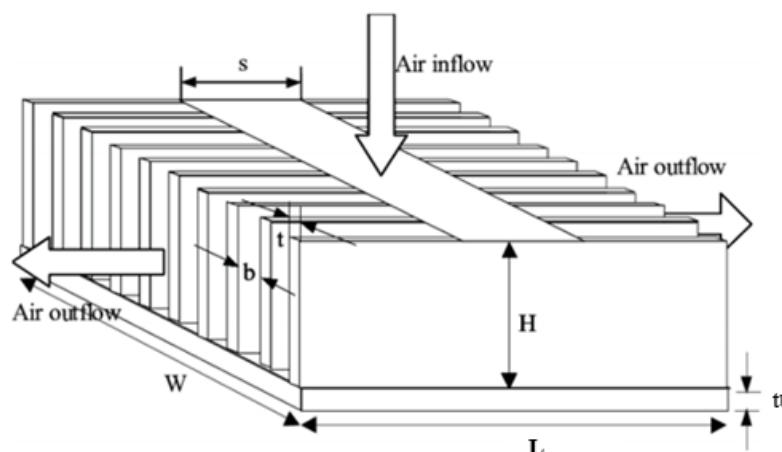
ฮีทซิงค์ คือ แผงอะลูมิเนียมหรือแผงโลหะที่ใช้สำหรับระบายความร้อนออกจากการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 2.18 เช่น ระบายความร้อนออกจาก CPU การระบายความร้อนออกจากการ์ดจอแสดงผล การระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น



รูปที่ 2.18 ฮีทซิงค์

2.11 การถ่ายเทความร้อนจากฮีทซิงค์

ฮีทซิงค์เป็นปัจจัยหนึ่งหรือเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก เนื่องจากถ้าการระบายความร้อนในฮีทซิงค์ไม่ดีจะทำให้ผลต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นมีค่าต่ำทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นมีค่าต่ำตามไปด้วย (วีรยา, 2560) สมการที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของครีบบจากฮีทซิงค์ขึ้นอยู่กับลักษณะของครีบบ (ความสูงและระยะห่างของครีบบ) ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 รูปทรงเรขาคณิตของแผ่นครีบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (วีรยา, 2560)

2.12 การคำนวณการทำความเย็นและทำความร้อนด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริก

อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) และอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{th}) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้ และความแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการที่ 2.2 และสมการที่ 2.3 (ศักดิ์รินทร์, 2559)

$$q_{tc} = [\alpha IT_c] - \left(\frac{I^2 R}{2}\right) - (k\Delta T_t) \quad (2.2)$$

$$q_{th} = \left[\alpha IT_h\right] + \left(\frac{I^2 R}{2}\right) - (k\Delta T_t) \quad (2.3)$$

- โดยที่ q_{tc} คือ อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
 q_{th} คือ อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
 α คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบค (V/K)
 I คือ กระแสไฟฟ้า (A)
 T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
 T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
 R คือ ความต้านทานไฟฟ้า (Ω -cm)
 k คือ ค่าการนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (W/K)
 ΔT_t คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

$$COP_t = \frac{q_{tc}}{P_t} \quad (2.4)$$

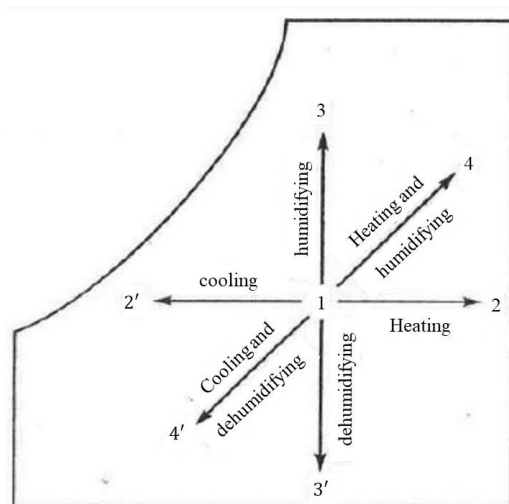
โดยที่ COP_t คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก
 q_{tc} คือ อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
 P_t คือ ผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

สามารถหาค่า P_t ได้จากสมการที่ 2.5

$$P_t = q_{th} - q_{tc} \quad (2.5)$$

2.13 การปรับอากาศ (Air Conditioning)

การปรับอากาศเป็นกระบวนการควบคุมสถานะของอากาศเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการ โดยปัจจัยของอากาศที่ต้องควบคุมประกอบด้วย ความสะอาด การกระจายลม ปริมาณลม อุณหภูมิและความชื้น การปรับอากาศมุ่งให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัย ในอุตสาหกรรม การปรับอากาศอาจใช้เพื่อควบคุมสถานะอากาศในกระบวนการผลิต (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2553) ซึ่งในการศึกษาอากาศที่สถานะต่างๆในการปรับอากาศจะนิยมใช้แผนภูมิไซโครเมตริก โดยมีกระบวนการการปรับสถานะของอากาศได้แก่ กระบวนการเพิ่มความร้อน (Heating Process) กระบวนการลดความร้อน (Cooling Process) การลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิ (Dehumiditification by Cooling) การลดความชื้นโดยวิธีการดูดซึมความชื้น (Dehumiditification by Absorption) การเพิ่มความชื้นโดยการเติมน้ำเข้าสู่ระบบ (Humidification by Steam) การเพิ่มความชื้นโดยการทำให้อากาศเย็นโดยการระเหย (Humidification by Evaporative Cooling) ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 กระบวนการปรับสภาวะอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริก (ชวลิตพันธุ์, 2561)

2.14 การคำนวณการทำอากาศเย็น

การคำนวณการทำความเย็นมีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

2.14.1 อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$q_{ac} = \dot{m}_a (h_1 - h_2) \quad (2.6)$$

โดยที่ q_{ac} คือ อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

\dot{m}_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg da/s)

h_1 คือ ค่าเอนทัลปีของอากาศก่อนผ่านฮีทซิงค์ (kJ/kg da)

h_2 คือ ค่าเอนทัลปีของอากาศหลังผ่านฮีทซิงค์ (kJ/kg da)

2.14.2 อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.7

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{v}_f}{v_a} \quad (2.7)$$

โดยที่ \dot{m}_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg da/s)

\dot{v}_f คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/s)

v_a คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศ ($\text{m}^3/\text{kg da}$)

2.14.3 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8

$$\dot{v}_f = A \cdot u_i \quad (2.8)$$

โดยที่ \dot{v}_f คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่ออากาศด้านเย็น (m^2)

u_i คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านท่ออากาศด้านเย็น (m/s)

2.14.4 อัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$q_{ah} = \dot{m}_a (h_1 - h_2) \quad (2.9)$$

โดยที่ q_{ah} คือ อัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

2.14.5 กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์ต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.10

$$P = IV \quad (2.10)$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์ต่างๆ (W)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์ (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์ต่างๆ (V)

2.14.6 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศหาได้จาก สมการที่ 2.11

$$COP_a = \frac{q_{ac}}{P_E} \quad (2.11)$$

$$P_E = P_e + P_{fc} + P_{fh} \quad (2.12)$$

โดยที่ COP_a	คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ
q_{ac}	คือ อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
P_E	คือ กำลังไฟฟ้ารวมที่ป้อนให้อุปกรณ์ในระบบ (W)
P_e	คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
P_{fc}	คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
P_{fh}	คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

2.15 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

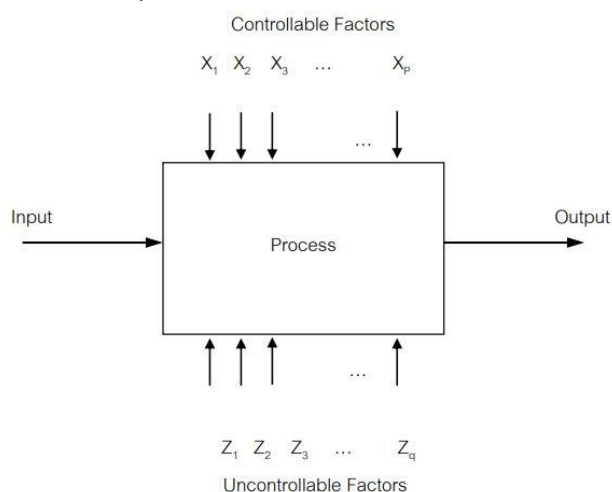
การออกแบบการทดลอง คือ การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการศึกษาระบบที่สนใจ เพื่อหาข้อมูลส่วนที่ยังขาดหายไปเกี่ยวกับสิ่งที่สนใจ โดยทำการเปลี่ยนค่าตัวแปร (Input Variable) ในระบบที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Response) (ชยาภรณ์, 2557) โดยมีรูปแบบของระบบการทดลองดังรูปที่ 2.21 และสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ดังนี้

2.15.1 กลุ่มที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors)

เป็นกลุ่มที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิตอันเนื่องมาจากเทคโนโลยีที่ไม่ทันสมัยพอและต้นทุนที่ใช้ในการควบคุมสูง (สถาพร, 2557)

2.15.2 กลุ่มที่ควบคุมได้ (Controllable Factors)

เป็นกลุ่มที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นในการผลิตได้ (สถาพร, 2557)



รูปที่ 2.21 รูปแบบของระบบการทดลองทั่วไป (จิระวัฒน์, 2553)

การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยได้ออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) ทำให้ได้เงื่อนไขในการทดลอง ทดลองเพื่อใช้หาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM)

2.16 การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD)

สำหรับในการทดลองนี้ได้เลือกใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีแบบส่วนประสมกลางซึ่งเป็นวิธีที่ใช้หาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก อีกทั้งยังช่วยลดจำนวนครั้งในการทดลอง และลดระยะเวลาในการทดลองได้ ซึ่งการทดลองมี 3 ระดับ (นิยามแทนด้วยสัญลักษณ์ -1, 0, +1) กล่าวคือ จะปรับตัวแปรที่ต้องการศึกษาไป ตัวแปรละ 3 ค่า แต่แทนที่จะปรับตัวแปรแบบ Full Combination หรือ Full Factorial หรือเลือกบางสถานะการทดลองที่จำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอต่อการสร้างแบบจำลองทางสถิติ โดย Model ที่ได้จะยังคงมีทั้ง Main Effect, Interaction และ Quadratic Terms โดยใช้ทรัพยากรไม่มากจนเกินไป โดยการออกแบบส่วนประสมกลางจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.22 และ รูปที่ 2.23 ตามลำดับ มีรายละเอียดและความหมายของทั้ง 3 ส่วน ดังนี้ (จรัล, 2552)

2.16.1 Factorial Points

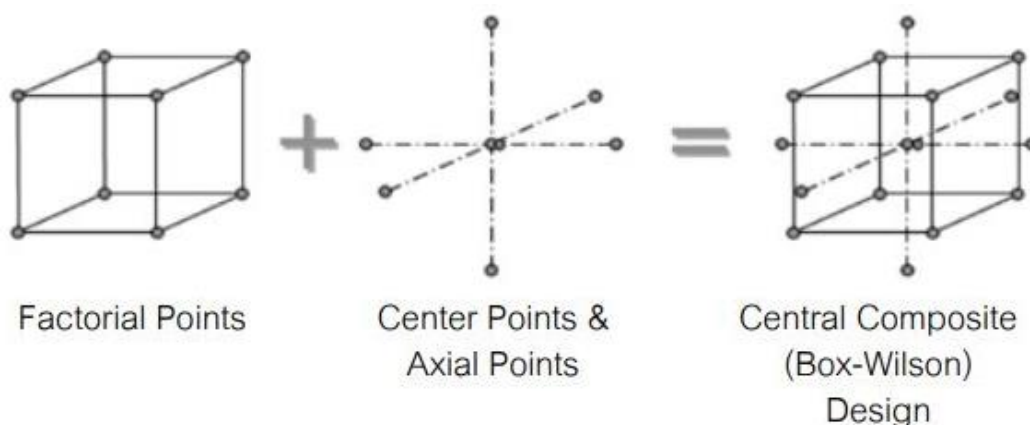
เป็นการนำ 2-Level Full Factorial มาเป็นส่วนหนึ่งในการทดลอง

2.16.2 Axial Points

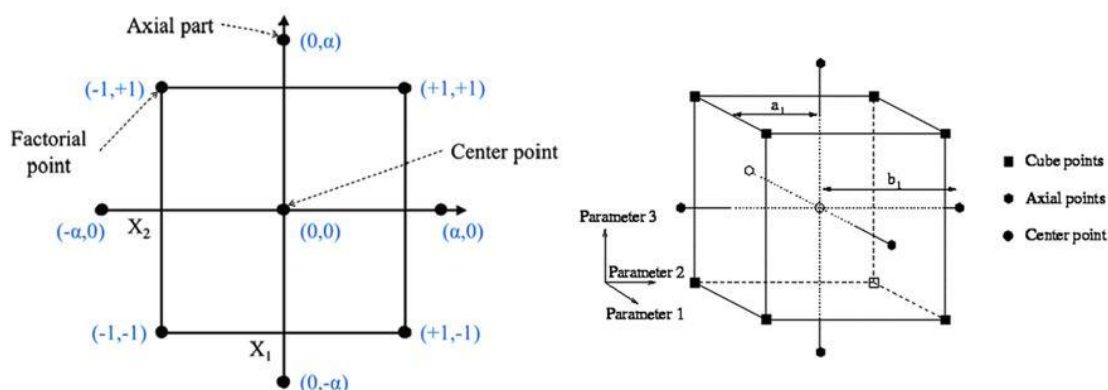
เป็นการปรับค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งในขณะที่ Fix ให้ค่าตัวแปรอื่นอยู่ที่ค่ากลาง (หรือค่า 0)

2.16.3 Center Points

เป็นการปรับค่าของตัวแปรทุกตัวแปรที่ค่ากลาง (หรือค่า 0)



รูปที่ 2.22 Central Composite Design สำหรับ 3 Factors (จรัล, 2552)



รูปที่ 2.23 การออกแบบส่วนประสมกลางสำหรับ $k=2$ และ $k=3$ (จิระวัฒน์, 2553)

2.17 การออกแบบพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Design)

การออกแบบพื้นผิวผลตอบสนองนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกและอธิบายโดย Box and Wilson (1951) ต่อมา Bradley (1958) ได้เขียนบทความที่อธิบายในเชิงการเป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์และสถิติที่ใช้ในระเบียบวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) (บุญชัย, 2550) ระเบียบวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองเป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรและมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบสนอง ของระบบ (จิระวัฒน์, 2553) โดยผ่านการแสดงผลด้วยพื้นผิวผลตอบสนองสามมิติ (Response Surface Plot) แสดงระดับของตัวแปรต้นในแนวระนาบและแสดงค่าตอบสนองในแนวตั้งอีกทั้งยังแสดงเส้นระดับ (Contour Plot) ซึ่งเป็นแผนภาพสองมิติ โดยแต่ละเส้นของเส้นระดับสอดคล้องกับความสูงของพื้นผิวผลตอบสนอง

ดังรูปที่ 2.24 และรูปที่ 2.25 (Montoro et al., 2013) โดยในงานวิจัยนี้ได้นำระเบียบวิธีพื้นผิวผลตอบสนองมาใช้ในการหาเงื่อนไขที่ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ที่เหมาะสมจากผลการทดลองสามารถเขียนสมการผลตอบสนองต่อตัวแปรอิสระดังสมการที่ 2.13

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \quad (2.13)$$

โดยที่ y คือ ผลตอบสนองมาจากการทดลอง
 x_1, x_2, \dots, x_n คือ ตัวแปรอิสระ

สามารถเขียนสมการของพื้นผิวตอบสนองได้ ดังสมการที่ 2.14

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.14)$$

โดยที่ η คือ พื้นผิวตอบสนอง

ผลตอบสนองมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้เป็นแบบจำลองกำลังหนึ่ง ดังสมการที่ 2.15

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.15)$$

แต่ถ้ามีความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งกับตัวแปรอิสระ จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง ดังสมการที่ 2.16

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j>i}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.16)$$

; $i = 1, 2, \dots, k$

; $j = 2, \dots, k$

; $i \neq j$

โดยที่ y คือ ผลตอบสนอง

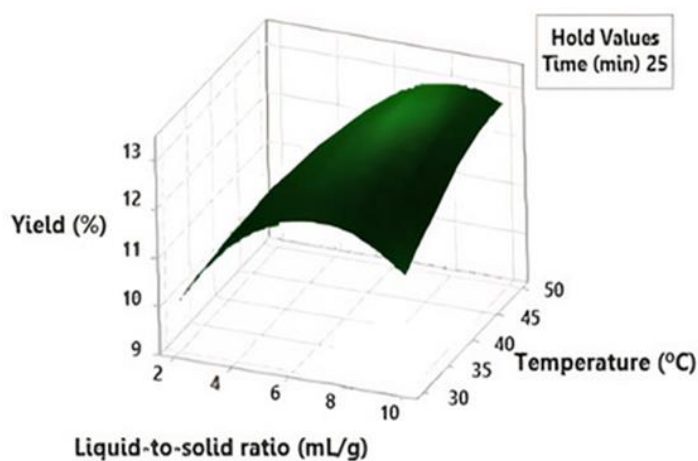
β_0 คือ ค่าคงที่ของสมการ

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

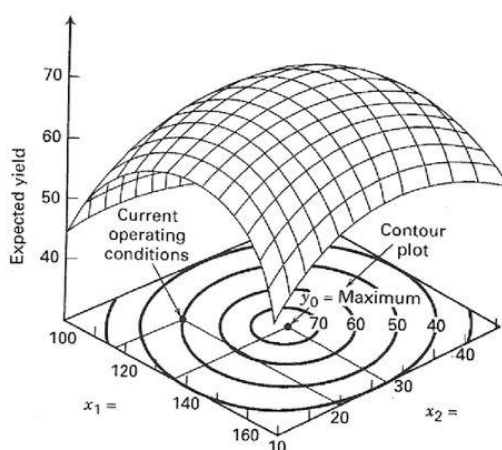
$\sum_{i=1}^k \beta_i x_i$ คือ ผลกระทบหลัก (Main Effect)

$\sum_{i=1}^k \sum_{j>i}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$ คือ ผลกระทบร่วม (Interaction Term)

$\sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2$ คือ ผลกระทบกำลังสอง (Quadratic Term)



รูปที่ 2.24 ตัวอย่างผิวตอบสนองแบบสามมิติ (จิรประภา, 2557)



รูปที่ 2.25 พื้นผิวตอบสนองสามมิติและเส้นระดับ ที่มา: (Montoro et al., 2013)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า RSM มีบทบาทที่สำคัญอย่างมากในการนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองซึ่งข้อดีที่สำคัญของ RSM คือ ลดจำนวนชุดทดลองที่ใช้ในการประเมินตัวแปรหลายตัวรวมทั้งปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้น ดังนั้น RSM จึงมีประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนากระบวนการร้อยละผลได้ การลดเวลา และการลดต้นทุนในเชิงปฏิบัติการและนำมาใช้ในงานต่างๆ อย่างกว้างขวางรวมทั้งด้านวิศวกรรม ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านอาหาร ด้านเภสัช ด้านเคมี เป็นต้น (อาภาภรณ์, 2561)

2.18 การวิเคราะห์ทางสถิติ

2.18.1 ค่า p (p-value)

โดยทั่วไปแล้วสิ่งที่สนใจในการสรุปผลทดสอบสมมติฐานคือ การถูกยอมรับหรือปฏิเสธ ถ้าถูกยอมรับหมายถึง สมมติฐานเป็นจริง และถ้าถูกปฏิเสธ หมายถึง สมมติฐานนั้นไม่เป็นจริง มีการกำหนดค่า p-value คือ ค่าจริง (Actual) ของ Probability อ้างอิงอยู่กับค่าระดับความสำคัญ (α) คือเส้นแบ่งระหว่างการยอมรับหรือปฏิเสธ โดยถ้า p-value มากกว่า α สมมติฐานนั้นจะยอมรับ และถ้า ถ้า p-value น้อยกว่า α สมมติฐานนั้นจะถูกปฏิเสธ (จิระวัฒน์, 2553)

2.18.2 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนของความแปรผันทั้งหมดของข้อมูล ใช้อธิบายความแม่นยำระหว่างสมการทำนายกับข้อมูลได้ ยิ่งค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมากแสดงให้เห็นถึงความสามารถของสมการทำนายที่ให้ค่าได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากขึ้น (กฤษกร, 2563)

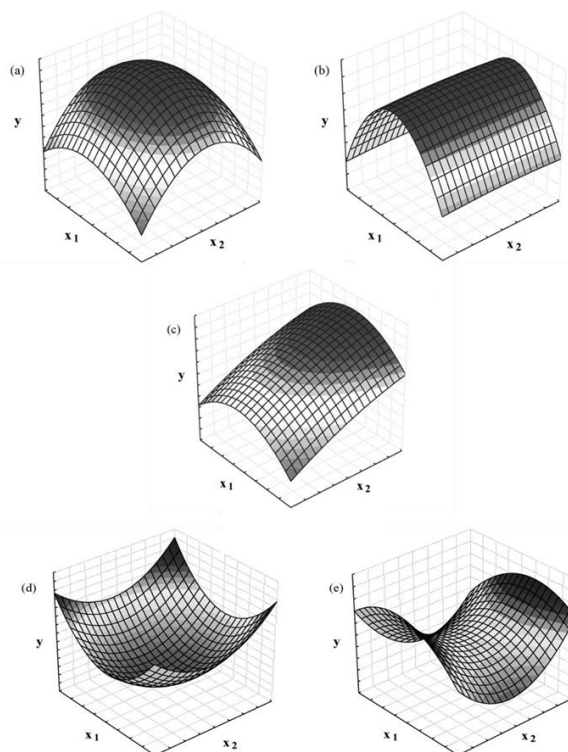
2.19 การทำให้เหมาะสมที่สุด (Optimization)

การทำ Optimization เกิดจากนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด ก่อนปี ค.ศ. 1940 วิธีการทำ Optimization ของฟังก์ชันที่มีหลายตัวแปรนั้นมีไม่มาก เช่น การใช้วิธี Least Square การใช้ Newton Method ซึ่งถูกนำมาแก้ปัญหาของระบบที่เกี่ยวข้องกับทางเคมี มีการพัฒนาการทำ Optimization อย่างต่อเนื่องและใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ เป็นต้น (สถาพร, 2557)

2.19.1 หลักการของการทำ Optimization

เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ที่ให้ผลในเชิงปริมาณ (Quantity) เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้เป็นจำนวน ดังนั้นปัญหาที่นำมาเลือกใช้ในการทำ Optimization จะอยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยจุดประสงค์ของการทำ Optimization

เพื่อต้องการหาค่าสูงสุด (Maximum) หรือ ค่าต่ำสุด (Minimum) ของปัญหานั้นๆสำหรับการทำ Optimization ของ RSM เป็นการหาค่าที่ดีที่สุดกรณีที่มีค่าตอบสนองมากกว่าหนึ่งค่า (Multiple responses) ดังรูปที่ 2.26 (สถาพร, 2557)

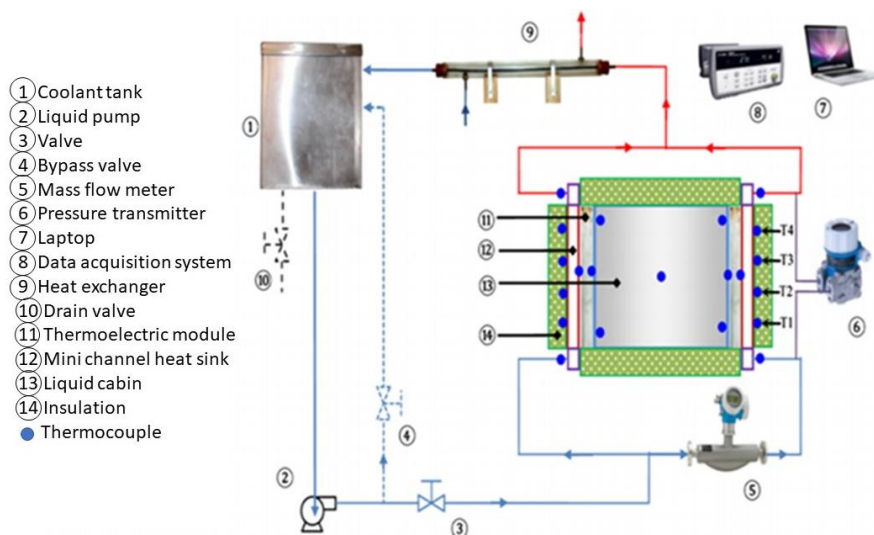


รูปที่ 2.26 โพรไฟล์ของการตอบสนองของพื้นผิวที่สร้างจากแบบจำลองกำลังสองในการเพิ่มประสิทธิภาพของสองตัวแปร a) ค่าที่มากที่สุด b) ที่ราบสูง c) ค่าที่มากที่สุดนอกขอบเขตของการทดลอง d) ค่าน้อยที่สุด e) พื้นผิวอานม้า (Bezerra et al., 2008)

2.20 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

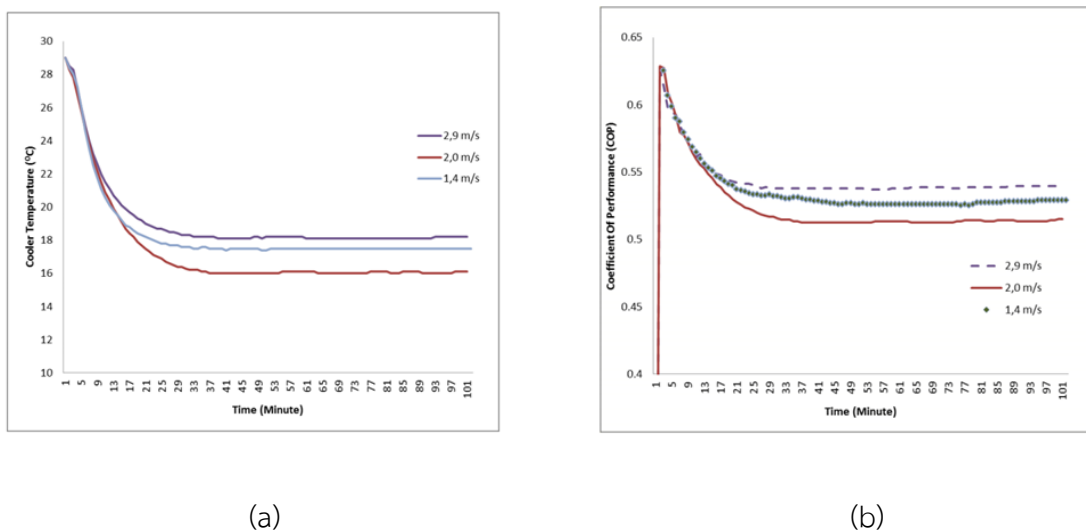
Ahmed et al. (2016) ได้ศึกษาการทำความเย็นด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กโดยใช้ของไหลที่มีอนุภาคนาโนในการระบายความร้อน เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนในช่องที่ระบายความร้อนในระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้สามารถปรับค่าฟลักซ์ความร้อนได้แตกต่างกันในช่วง $4,470 \text{ W/m}^2$ ถึง $37,700 \text{ W/m}^2$ เพื่อดูผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลอนุภาคนาโน ความเข้มข้นของของไหลอนุภาคนาโน ประสิทธิภาพการทำความเย็น-ร้อนที่ปล่อยทิ้งของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ชุดทดลองดังกล่าวแสดง ดังรูปที่ 2.27 พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเป็น 0.2% ส่งผลให้ให้อุณหภูมิในช่องที่ระบาย

ความร้อนลดลง 9.15% เกิดความแตกต่างอุณหภูมิที่ด้านร้อน-เย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก และ ประสิทธิภาพการระบายความร้อนอยู่ที่ 23.92% จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคของ ไทลขนาดนาโนกับการใช้น้ำที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ 1,000 พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ ทำความเย็นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคของไทลนาโน



รูปที่ 2.27 ชุดทดลองระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ของไหลอนุภาคนาโน (Ahammed et al., 2016)

Anwar and Anggara (2016) ได้ศึกษาทดลองกล่องทำความเย็นด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อดูผลของอัตราการหมุนเวียนอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็น โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 ป้อนกำลังไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 164.2 W ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกระบายความร้อนด้วยบล็อกน้ำทองแดงที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดกับฮีทซิงค์และหมุนเวียนอากาศภายในกล่องทำความเย็นด้วยพัดลมหมุนเวียนอากาศ 12 V 0.33 A ที่ความเร็วหมุนเวียนอากาศ 1.4, 2.0, 2.9 m/s กล่องทำความเย็นขนาด $75 \times 42 \times 32 \text{ cm}^3$ หนา 3 cm พบว่าความเร็วของการหมุนเวียนอากาศภายในกล่องทำความเย็นมีผลต่ออุณหภูมิภายในกล่องทำความเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็น โดยที่ความเร็วการหมุนเวียนอากาศที่เหมาะสมเท่ากับ 2.0 m/s ทำให้เกิดอุณหภูมิอากาศภายในกล่องต่ำสุดมีค่าเท่ากับ $16.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ดังในรูปที่ 2.28a สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นอยู่ในช่วง 0.51-0.55 ดังในรูปที่ 2.28b



รูปที่ 2.28 ผลของอัตราการหมุนเวียนอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อ

(a) อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทำความเย็นที่ช่วงเวลาต่างๆ (b) สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นที่ช่วงเวลาต่างๆ (Anwar and Anggara., 2016)

Balayanan et al. (2011) ได้ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนและเทอร์โมไซฟอน โดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการทดลองและหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนและเทอร์โมไซฟอน โดยมีปัจจัยที่สนใจได้แก่ ความร้อนที่ใส่เข้าไป อุณหภูมิน้ำและความเร็วของอากาศที่ออกมาจากท่อ โดยทำการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีที่สุดโดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนองในซอฟต์แวร์ SYSTAT กำหนดให้ใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (CCD) ในการออกแบบการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำสูงสุดอยู่ที่ 0.98 ที่อุณหภูมิของน้ำในช่วง 50-68 °C ช่วงความร้อนที่ใส่เข้าไปในช่วง 98-135 W และความเร็วของอากาศที่ออกมาจากท่อในช่วง 1.7-1.8 m/s

Benke et al. (2020) ได้ศึกษาออกแบบชุดทำอากาศเย็นแบบพกพาด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อเปรียบเทียบผลของการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การใช้พัดลมระบายอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและการใช้บล็อกน้ำระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC12715 ป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 15 A ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 12 V ที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกระบายความร้อนด้วยพัดลม

ระบายความร้อน พบว่าการใช้พัดลมระบายอากาศระบายอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกทำให้เกิดผลต่างอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ $10.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ การใช้ขั้วล้อน้ำระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกทำให้เกิดผลต่างอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นการระบายความร้อนโดยใช้ขั้วล้อน้ำจะให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่ดีกว่าการใช้พัดลมระบายอากาศระบายความร้อน

Cai et al. (2017) ได้ทดลองหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อลดอุณหภูมิที่ผิวแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับใช้ระบายความร้อนใน CPU โดยในการทดลองใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC-12708 ป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง $3\text{-}12\text{ A}$ เพื่อหาเงื่อนไขที่ป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าต่ำและทำให้อุณหภูมิผิวของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นมีค่าต่ำที่สุด พบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดต้องป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 9.8 A จะทำให้ได้อุณหภูมิที่ผิวเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าน้อยที่สุดคือ $18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Golebiowska et al. (2019) ได้ศึกษาและทดลองหาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้น้ำระบายความร้อน โดยการปรับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (QC-127-1.4-8.5MD) ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ปรับ คือ 6 A , 7 A , 8 A มีการวัดค่าอุณหภูมิอากาศในกล่อง และมีการเปรียบเทียบค่า COP ของระบบ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิอากาศในกล่องให้อยู่ในช่วง $4.9\text{-}6.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนในชุดทดลองอยู่ที่ $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ และค่า COP มากที่สุด คือ 0.93 ที่กระแสไฟฟ้า 8 A

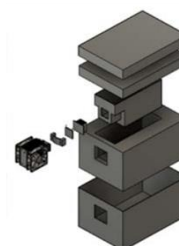
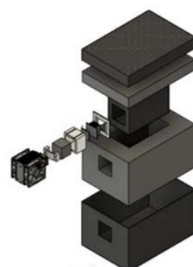
Jiten et al. (2019) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการระบายความร้อนด้วยน้ำ กับอากาศที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ซึ่งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลองคือ TES1-03104T125 โดยกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในช่วง $0.3\text{-}5\text{ W}$ พบว่าค่า COP การระบายความร้อนด้วยน้ำ อยู่ระหว่าง $0.05\text{-}0.21$ และมีค่าสูงกว่า COP การระบายความร้อนด้วยอากาศซึ่งอยู่ระหว่าง $0.03\text{-}0.13$ และได้อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกต่ำสุดเท่ากับ $18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Hoong et al. (2016) ได้ศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำจาก สังกะสีออกไซด์ (ZnO) โดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง ซึ่งสนใจผลของการเจือปนอะลูมิเนียม (Al) ที่ $0\text{-}4\text{ wt}\%$ และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $800\text{-}1,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ พบว่าค่าที่เหมาะสมใน

การเจือปนอะลูมิเนียม (Al) ในสังกะสีออกไซด์ (ZnO) คือ 4 wt% และอุณหภูมิของการให้ความร้อนที่เหมาะสมคือ 800 °C

Kabeel et al. (2020) ได้ศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกและอัตราการระบายความร้อนด้วยน้ำที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC-12706 พบว่าค่า COP ลดลงเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าและเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนค่า COP สูงสุดจากผลการศึกษายู่ที่ 0.6

Meris et al. (2020) ได้ออกแบบและทดสอบตู้ทำความเย็นระบบเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพาเพื่อให้สามารถเก็บรักษาอุณหภูมิวัคซีน Prevnar 13 ได้ โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC-12715 ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกระบายความร้อนด้วยบล็อกน้ำอะลูมิเนียมและพัดลมระบายความร้อน ป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 8-12 A ใช้เซนเซอร์ DHT11 วัดค่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ทำความเย็น ใช้ตู้ทำความเย็นระบบเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แบบ ในการทดลอง ได้แก่ ตู้ทำความเย็นแบบ A ทำจากวัสดุ Polyurethane Foam และ Fiber Glass ตู้ทำความเย็นแบบ B ทำจากวัสดุแบบเดียวกับ A แต่ที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไม่ใช้บล็อกน้ำอะลูมิเนียมระบายความร้อนดัง รูปที่ 2.29a และรูปที่ 2.29b ตามลำดับ และตู้ทำความเย็นแบบ C ทำจาก Styrofoam ดังรูปที่ 2.29c ทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิอากาศภายนอกไม่เกิน 30 °C พบว่าตู้ทำความเย็นด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถทำอากาศเย็นภายในกล่องได้ 8-25 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิอากาศที่สามารถเก็บรักษาวัคซีน Prevnar 13 ได้ซึ่งตู้ทำความเย็นแบบ C สามารถทำอุณหภูมิอากาศภายในกล่องต่ำที่สุดที่ 8 °C ดังรูปที่ 2.30 และมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นมีค่าเท่ากับ 0.0952



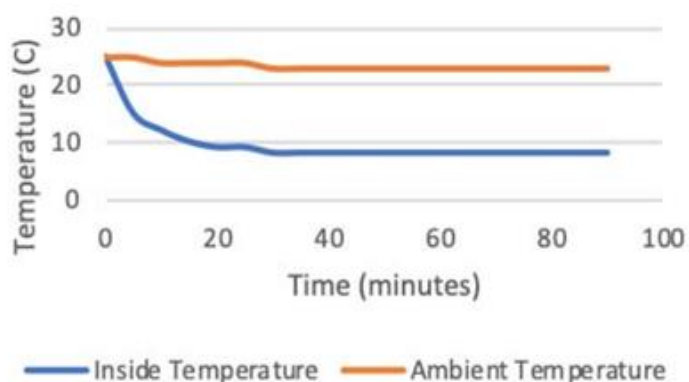
(a)

(b)



(c)

รูปที่ 2.29 ตู้ทำความเย็นและไดอะแกรมของตู้ทำความเย็น (a) แบบ A (b) แบบ B (c) แบบ C
(Meris et al., 2020)



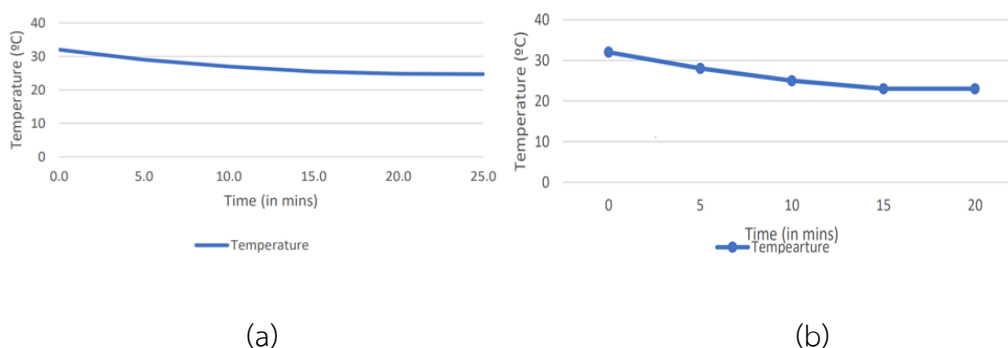
รูปที่ 2.30 กราฟอุณหภูมิอากาศภายในกล่องชนิด C เทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกกล่องที่
เวลาต่างๆ (Meris et al., 2020)

Patel et al. (2019) ได้วิเคราะห์ระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยได้ทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นและอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทำความเย็นขนาด $370 \times 280 \times 310 \text{ mm}^3$ ระหว่างแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 ที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกทั้งสองชนิดระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายความร้อน ขนาด $50 \times 50 \text{ mm}^2$ และใช้ฮีทซิงค์อะลูมิเนียมติดกับพัดลมหมุนเวียนอากาศ ขนาด $50 \times 50 \text{ mm}^2$ โดย SMPS (Solar Charge Controller & Battery) และ Power Supply ใช้เป็นแหล่งป้อนกำลังไฟฟ้าให้ระบบทำความเย็น ดังรูปที่ 2.31 วัดอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นด้วยดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ พบว่า แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเท่ากับ 0.61 อุณหภูมิภายในกล่องทำความ

เย็นเท่ากับ $24.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 2.32a แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเท่ากับ 0.73 อุณหภูมิภายในกล่องทำความเย็นเท่ากับ $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 2.32b ดังนั้นแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 จะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่ดีกว่าและให้อุณหภูมิภายในกล่องทำความเย็นที่ต่ำกว่าแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706



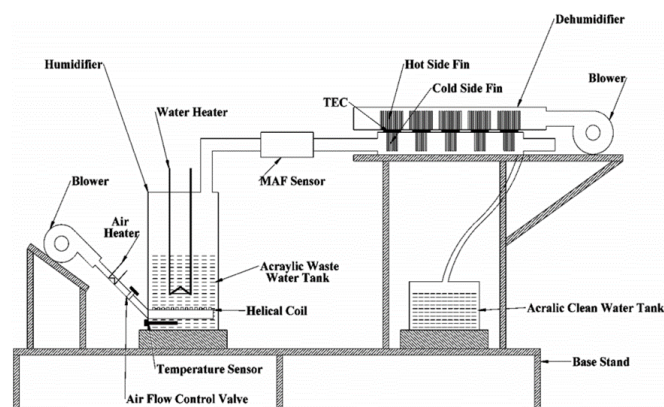
รูปที่ 2.31 ชุดทดลองระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (Patel et al., 2019)



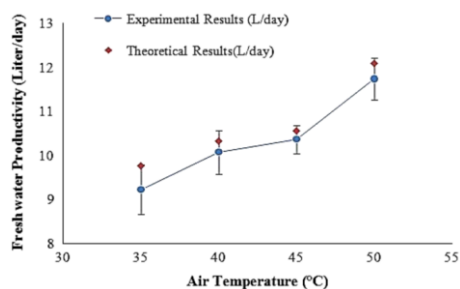
รูปที่ 2.32 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทำความเย็นด้วยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เวลาต่างๆ (a) TEC1-12706 (b) TEC1-12715 (Patel et al., 2019)

Patel et al. (2020) ได้ศึกษาทดลองการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยได้มีการติดตั้งระบบปั๊มเบิลคอลลัมน์และการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยได้มีการติดตั้งระบบปั๊มเบิลคอลลัมน์เพื่อเพิ่มความชื้นให้กับอากาศก่อนที่จะส่งไปยังระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อลดความชื้นให้กับอากาศ จากนั้นอากาศจะกลั่นตัวเป็นน้ำจืดไปเก็บในถังเก็บน้ำ ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC12715 5 โมดูล ต่ออนุกรมด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดกับฮีทซิงค์และระบายความร้อนด้วยโบลเวอร์ ด้านเย็นติดกับฮีทซิงค์เพื่อระบายความร้อน ป้อนกำลังไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแบตเตอรี่ที่มาจากการประจุด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.33 ทำการทดลองเปรียบเทียบผลระหว่างจากโมเดลคณิตศาสตร์ตามทฤษฎีกับผลการทดลองระบบทำความเย็นที่ติดตั้งระบบปั๊มเบิลคอลลัมน์และการทำ

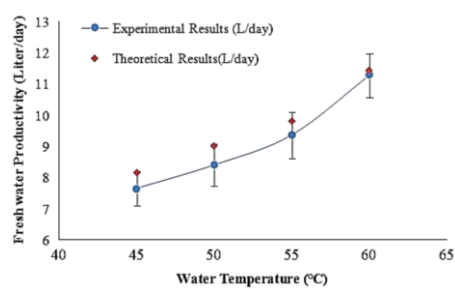
ความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยสนใจเปรียบเทียบตัวแปร 5 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศ และน้ำในคอลัมน์ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่ออากาศ ความสูงของระดับน้ำในคอลัมน์และอัตราการไหลอากาศก่อนควบแน่นเป็นน้ำจืดที่ส่งผลต่อจำนวนน้ำจืดที่ผลิตได้ในหนึ่งวัน พบว่าผลการเปรียบเทียบตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร กับการผลิตน้ำจืดในหนึ่งวันจากทฤษฎีและการทดลองมีผลที่สอดคล้องกันดังนี้ เมื่ออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิน้ำในคอลัมน์เพิ่มขึ้นปริมาณน้ำจืดที่ผลิตได้ในหนึ่งวันจะเพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.34a และดังรูปที่ 2.34b ตามลำดับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่ออากาศเล็กลงปริมาณน้ำจืดที่ผลิตได้ในหนึ่งวันจะน้อยลงด้วย ดังรูปที่ 2.34c ความสูงของน้ำในคอลัมน์เพิ่มขึ้นปริมาณน้ำจืดที่ผลิตได้ในหนึ่งวันจะเพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.34d และอัตราการไหลอากาศก่อนควบแน่นเป็นน้ำจืดเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำจืดที่ผลิตได้ในหนึ่งวันจะเพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.34e โดยปริมาณน้ำจืดที่ผลิตได้ในแต่ละวันเฉลี่ยอยู่ที่ 7-13 L/d และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่ออากาศเท่ากับ 2 mm อัตราการไหลก่อนควบแน่นเป็นน้ำจืดเท่ากับ 0.016 kg/s อุณหภูมิน้ำในคอลัมน์เท่ากับ 60 °C อุณหภูมิอากาศในคอลัมน์เท่ากับ 27 °C และความสูงของน้ำในคอลัมน์เท่ากับ 7 cm สามารถผลิตน้ำจืดได้มากที่สุดเท่ากับ 12.96 L/d



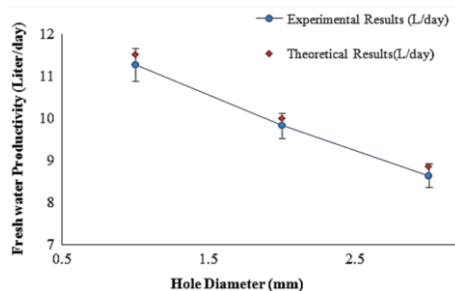
รูปที่ 2.33 ไดอะแกรมชุดทดลองผลิตน้ำจืด (Patel et al., 2020)



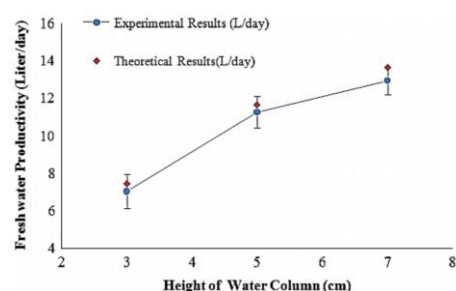
(a)



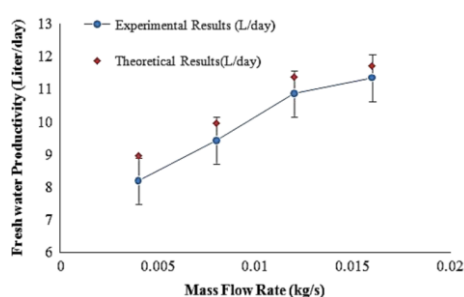
(b)



(c)



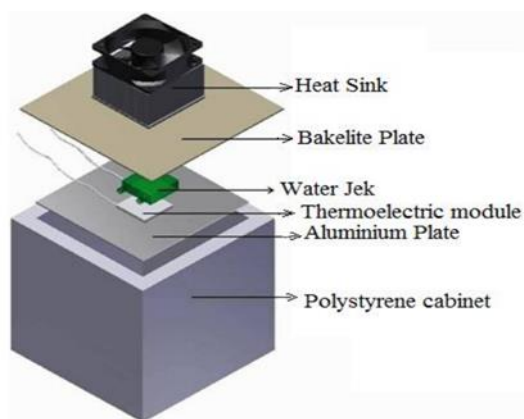
(d)



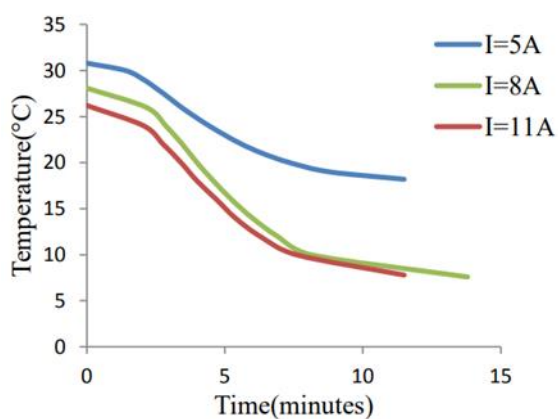
(e)

รูปที่ 2.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำจืดที่ผลิตได้ในหนึ่งวันกับ (a) อุณหภูมิอากาศในคอลัมน์ (b) อุณหภูมิน้ำในคอลัมน์ (c) เส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอกท่ออากาศ (d) ความสูงของน้ำในคอลัมน์ (e) อัตราการไหลอากาศก่อนควบแน่นเป็นน้ำจืด (Patel et al., 2020)

Pathak et al. (2017) ได้ศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการทำน้ำเย็นด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC-12715 ป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 5-11 A ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดกับบล็อกน้ำเพื่อใช้ระบายความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ด้านเย็นติดกับแผ่นอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 2.35 ติดตั้งกับกล่องทดลองทำน้ำเย็นขนาด 3.4 L พบว่าประสิทธิภาพทำความเย็นที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ป้อนกระแสไฟฟ้าที่ $0.5I_{max}$ (8 A) สามารถทำอุณหภูมิภายในกล่องได้น้อยที่สุด 8°C ดังรูปที่ 2.36

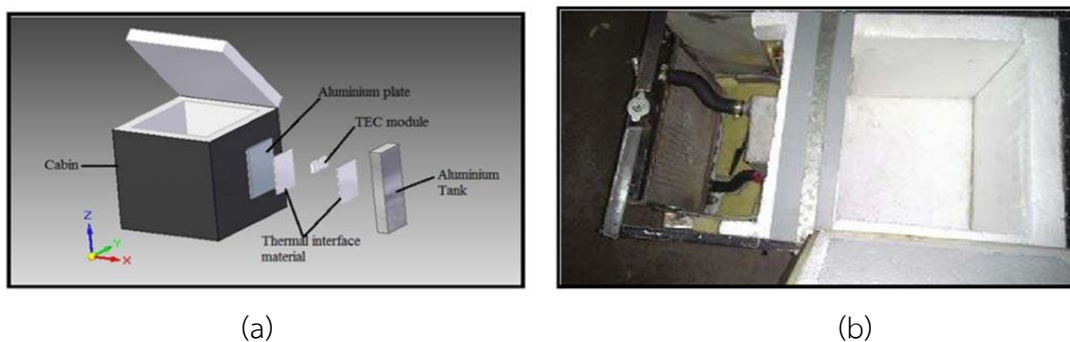


รูปที่ 2.35 ไดอะแกรมกล่องทดลองทำน้ำเย็นด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริก (Pathak et al., 2017)



รูปที่ 2.36 การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศภายในกล่องทำความเย็นที่เวลาต่างๆ (Pathak et al., 2017)

Sujith et al. (2016) ได้ศึกษาการทำความเย็นจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในด้านวัสดุ โดยออกแบบและผลิตตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกระบบเทอร์โมโซฟอน ตู้เย็นมีความจุ 40 L เพื่อทดสอบความสามารถการทำความเย็นจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและทดสอบความสามารถในการเก็บรักษาอุณหภูมิในช่วง 5-25 °C พบว่าตู้เย็นทำความเย็นได้ในเวลาสั้นและสามารถรักษาอุณหภูมิได้อย่างน้อยครึ่งชั่วโมงชุดทดลองแสดง ดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 (a) รูปส่วนประกอบของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (b) ส่วนประกอบภายในของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (Sujith et al., 2016)

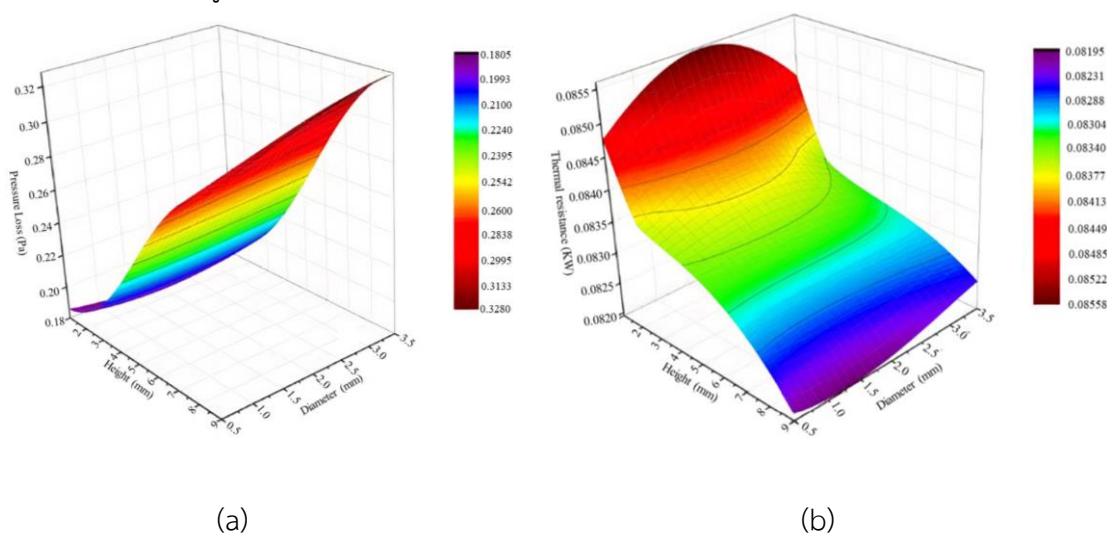
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อยู่ที่ $2.67\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่อชั่วโมงและค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบ (COP) เท่ากับ 0.124 น้อยกว่าตู้เย็นธรรมดาเพราะปกติประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกน้อยกว่าระบบตู้เย็นธรรมดาแบบอัดไอสีเทาและพบว่าการรั่วไหลของความร้อนเข้ามาในตู้เย็นผ่านทางประตูของตู้เย็นทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลง

Qader et al. (2019) ได้ใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง (RSM) เพื่อศึกษาผลของตัวแปรต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของครีบเอียงในเครื่องฟอกอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ความยาวของครีบเอียงในช่วง $1.5\text{-}2.5\text{ mm}$ มุมเอียงในช่วง $30^{\circ}\text{-}60^{\circ}$ ระยะห่างระหว่างครีบเอียงในช่วง $15\text{-}25\text{ mm}$ และ Reynolds number ของอากาศในช่วง $4,000\text{-}24,000$ มีการเปรียบเทียบผลการทดลองประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนองกับการจำลองด้วยโปรแกรม CFD (ANSYS Fluent v16.1) พบว่าผลการใช้ RSM ทำให้ทราบว่า ที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีที่สุดคือ 1.928 จะมีความยาวของครีบคือ 1.52 มิลลิเมตร มุมเอียงคือ 49° ระยะห่างระหว่างครีบเอียงคือ 19.04 mm และ Reynolds number คือ 18,243.5 เป็นค่าที่เหมาะสมของการออกแบบตัวแปรส่วนผลการจำลองด้วยโปรแกรม CFD ได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 1.937 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง

Venkatesan and Venkataramanan. (2020) ได้ทดลองและศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าการทำความเย็นของระบบ (q_c) สูงสุดใช้กระแสไฟฟ้าที่ 0.2-0.3 เท่าของกระแสไฟฟ้าสูงสุด (อัตราส่วนกระแสไฟฟ้า I/I_{\max}) และค่า

COP เปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้ ค่า COP สูงสุดที่ได้จากการทดลองคือ 1.53 ที่อัตราส่วนกระแส I/I_{\max} เท่ากับ 0.25

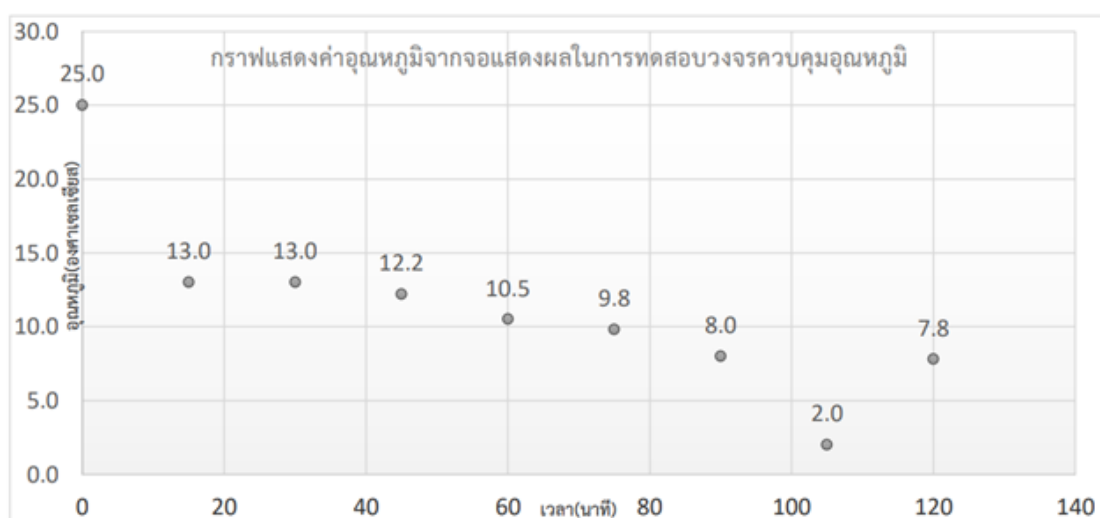
Wanga et al. (2018) ได้ศึกษาตัวแปรในการออกแบบครีบบระบายความร้อนให้ได้ประสิทธิภาพโดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง (RSM) โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ความสูงของครีบบนแบบฟิน ในช่วง 1-9 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางของครีบบนแบบฟิน ในช่วง 0.5-3.5 mm เพื่อดูผลของความต้านทานเชิงความร้อนและความดันที่สูญเสียมาซึ่งพัฒนาประสิทธิภาพครีบบระบายความร้อนพบว่าที่ความสูงครีบบนเท่ากับ 1 mm เส้นผ่านศูนย์กลางครีบบนเท่ากับ 1.85 mm ทำให้ได้ความดันสูญเสียมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.181 Pa และที่ความสูงครีบบนเท่ากับ 9 mm เส้นผ่านศูนย์กลางครีบบนเท่ากับ 3.5 mm ทำให้ได้ความดันสูญเสียมีค่าที่มากที่สุดเท่ากับ 0.328 Pa ดังรูปที่ 2.38a ที่ความสูงครีบบนเท่ากับ 9 mm เส้นผ่านศูนย์กลางครีบบนเท่ากับ 1.3 mm ทำให้ได้ค่าความต้านทานเชิงความร้อนที่น้อยที่สุดเท่ากับ $0.082 \text{ K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ และที่ความสูงครีบบนเท่ากับ 1 mm เส้นผ่านศูนย์กลางครีบบนเท่ากับ 2 mm ทำให้ได้ค่าความต้านทานเชิงความร้อนที่มากที่สุดเท่ากับ $0.086 \text{ K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ ดังรูปที่ 2.38b จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อความสูงของครีบบนเพิ่มขึ้นแต่เส้นผ่านศูนย์กลางของครีบบนลดลงความดันสูญเสียก็จะเพิ่มขึ้นดังนั้นความสูงของครีบบนมีผลต่อความดันสูญเสียมากกว่าผลที่มาจากเส้นผ่านศูนย์กลางในทางตรงกันข้ามเมื่อความสูงครีบบนลดลงแต่เส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต้านทานเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางครีบบนมีผลต่อความต้านทานเชิงความร้อนมากกว่าความสูงของครีบบน



รูปที่ 2.38 ภาพ 3 มิติ ผลของระเบียบวิธีผิวตอบสนองที่พล็อตโดยใช้ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของครีบบนสำหรับ (a) ความดันสูญเสีย (b) ความต้านทานเชิงความร้อน (Wanga et al., 2018)

Zhu et al. (2013) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ผลของขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยได้ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก CP2-127-06L กำหนดตัวแปรอัตราส่วนพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Transfer Area Allocation Ratio) และทำการศึกษาที่ค่า COP และ q_c สูงสุด ทำให้ทราบว่าตัวแปรอัตราส่วนพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Transfer Area Allocation Ratio) มีผลต่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและสามารถนำมาใช้หาคุณสมบัติและออกแบบขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกได้ ที่ COP_{max} เท่ากับ 0.77 และ q_{cmax} เท่ากับ $8.8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ อัตราส่วนพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Transfer Area Allocation Ratio) จะอยู่ในช่วง 0.40-0.42

กาญจนา (2561) ได้ศึกษาการพัฒนาตู้เย็นทำความเย็นเก็บวัคซีนแบบพกพาโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 1.5×1.5 (12 VDC, 4 W) ใช้แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม (12 VDC, 3 A/hr) เป็นแหล่งป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ติดตั้งภายในตู้เย็นขนาด 1.8 L ใช้เวลาในการทดสอบ 2 ชั่วโมง พบว่าสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในตู้เย็นจาก $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เหลือ $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 2.39 อัตราการทำความเย็นเท่ากับ 1.2 W และพบว่าเมื่อตัวแปรอื่นที่ส่งผลต่อการลดอุณหภูมิภายในตู้เย็นทำความเย็นเก็บวัคซีนแบบพกพาโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก-โมดูล เช่น รูรั่วของอากาศ แหล่งป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก การระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก



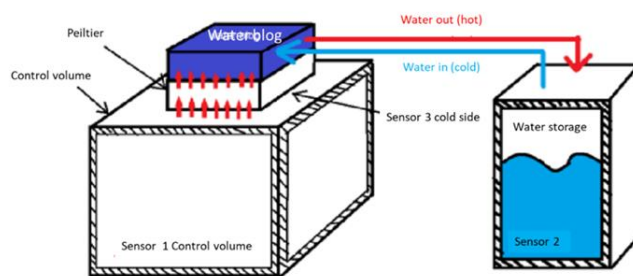
รูปที่ 2.39 อุณหภูมิอากาศภายในตู้เย็นที่เวลาต่างๆ (กาญจนา, 2561)

กิตติ (2558) ได้ศึกษาระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อศึกษาผลกระทบของความเร็วและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่มีผลต่อปริมาณการทำความเย็น และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยมีชุดทดสอบ ดังรูปที่ 2.40a และมีโครงสร้างภายใน ดังรูปที่ 2.40b ซึ่งระบบทำความเย็นได้ถูกออกแบบเพื่อทำความเย็นให้กับเครื่องต้มขนาด 325 ml จำนวน 4 กระป๋อง ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ไฟฟ้า 12 V 3 A จำนวน 2 แผ่น ระบายความร้อนด้วยน้ำ จากผลการศึกษาพบว่าความสามารถการทำความเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วของน้ำหล่อเย็นและลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น การลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นอยู่ในช่วงระหว่าง 25–5 °C ทำให้ปริมาณการทำความเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น 1.55 และ 1.65 เท่าของปริมาณความเย็นเดิมที่ความเร็วการไหลน้ำหล่อเย็น 1.27 m/s และ 2.55 m/s ตามลำดับ

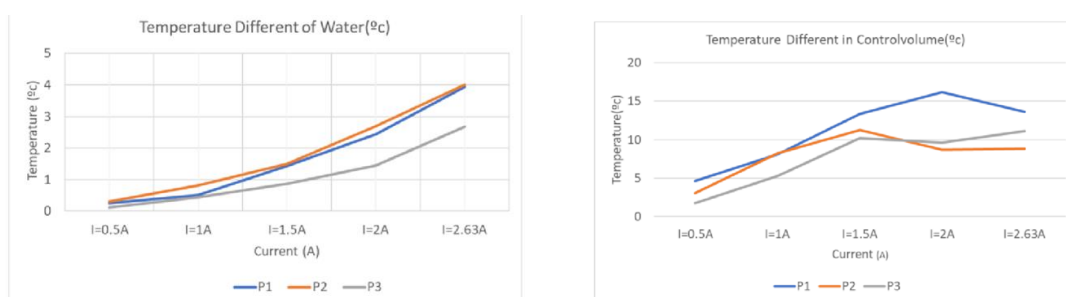


รูปที่ 2.40 (a) ชุดทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (b) โครงสร้างภายในกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (กิตติ, 2558)

คุณลักษณะการใช้งานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยวิธีสมมูลพลังงานใช้น้ำในการระบายความร้อนเพื่อทดสอบแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันและนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดโดยสร้างชุดทดลอง ดังรูปที่ 2.41 พบว่าแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละแผ่นทำความเย็นได้แตกต่างกันและใช้พลังงานต่างกัน ถ้าเพิ่มกระแสไฟฟ้ากราฟแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้าก็จะมีค่าชันมากขึ้น ดังรูปที่ 2.42a และ จากรูปที่ 2.42b จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมไม่ใช่ค่าที่กระแสไฟฟ้าสูงสุดเพราะจะสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้นไปด้วยเช่นกัน จากรูปที่ 2.42c กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมควรไม่เกิน 2 A ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำความเย็นอยู่ที่ 60% จะเหมาะสมกับการเอาไปใช้งาน

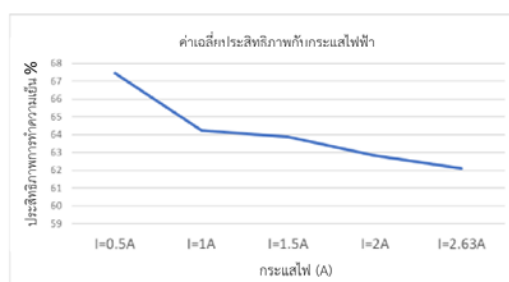


รูปที่ 2.41 ชุดทดลองของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (กิตติ, 2558)



(a)

(b)



(c)

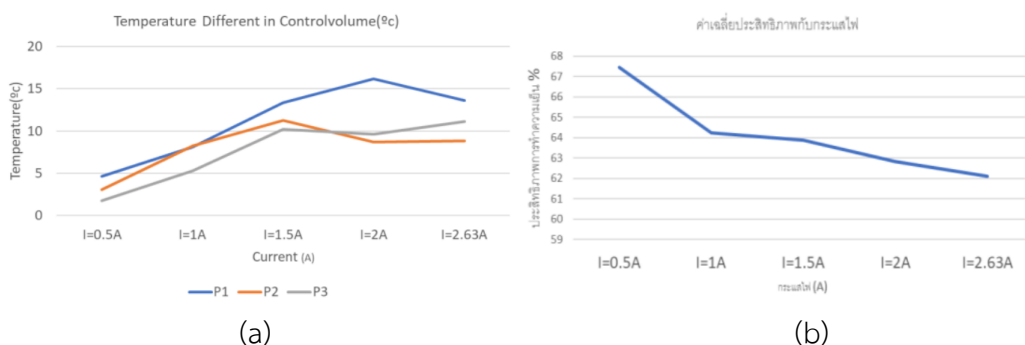
รูปที่ 2.42 (a) กราฟแสดงอุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้าแต่ละค่า (b) กราฟแสดงอุณหภูมิภายในระบบปิดที่เปลี่ยนแปลงแต่ละค่า (c) กราฟแสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นและกระแสไฟฟ้า (กิตติ, 2558)

จิรประภา (2556) ได้ศึกษาการทำงานของระบบทำความเย็นโดยใช้ระบบปรับอากาศร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อทำความเย็นให้กับอาคารหรือที่พักให้มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมแก่ผู้อยู่อาศัย โดยระบบปรับอากาศทำหน้าที่ลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์

ให้กับอากาศโดยใช้น้ำ จากนั้นอากาศก็ผ่านเข้าไปในระบบเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อลดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศลงอีก พบว่าแค่ระบบทำความเย็นโดยการปรับอากาศก็พอสำหรับปรับสภาพอากาศภายในอาคารให้มีความเหมาะสมแก่ผู้อยู่ในอาคารและเทอร์โมอิเล็กทริกก็เป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้ความชื้นสัมพัทธ์มีความเหมาะสม อีกทั้งการปรับกระแสไฟฟ้าให้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวช่วยปรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องได้อีกด้วย

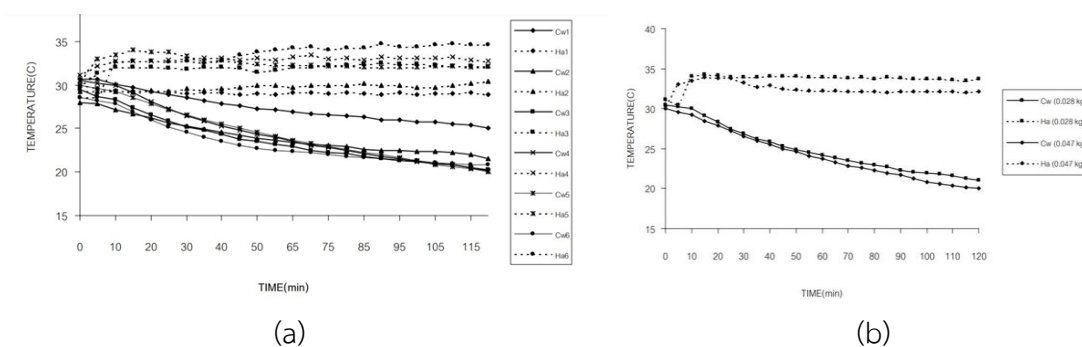
จิรประภา (2557) ได้ออกแบบเทอร์โมอิเล็กทริกและแหล่งระบายความร้อนเพื่อให้ทำงานร่วมกันอย่างเกิดประโยชน์สูงสุดโดยพิจารณาถึงจำนวนโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก โดยในงานวิจัยนี้ได้แนะนำการออกแบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่นำมาใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุดซึ่งจะกล่าวถึงประสิทธิภาพการทำงานของแหล่งระบายความร้อนและออกแบบเลือกแหล่งระบายความร้อนที่เหมาะสมซึ่ง พบว่าการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและการเพิ่มจำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นการเพิ่มการทำความเย็นแต่มีผลที่น้อยต่อประสิทธิภาพการทำความเย็น ในทางตรงกันข้ามขนาดของแหล่งระบายความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบโดยความยาวครีระบายความร้อนมากกว่า 0.08-0.09 m และจำนวนครีระบายความร้อนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพและความต้านทานความร้อนของครีระบายความร้อนลดลง

จิรายุสวัธ และคณะ (2562) ได้ศึกษาคุณลักษณะการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้งานให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC12706 จำนวน 3 แผ่น ที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกให้ความเย็นภายในกล่องโฟมหุ้มฉนวนขนาด $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ ที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดกับบล็อกน้ำหล่อเย็นเพื่อช่วยระบายความร้อน ที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 0.5-2.6 A พบว่ายิ่งเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกความเย็นของระบบก็จะเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.43a และยิ่งเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกประสิทธิภาพการทำความเย็นก็จะลดลง ดังรูปที่ 2.43b ดังนั้น ณ จุดที่ป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสูงสุดไม่ได้ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด ช่วงการใช้งานแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมอยู่ที่ไม่เกิน 2 A ซึ่งจะทำให้ได้ประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 60% ซึ่งเหมาะสมแก่การนำไปใช้งานมากที่สุด



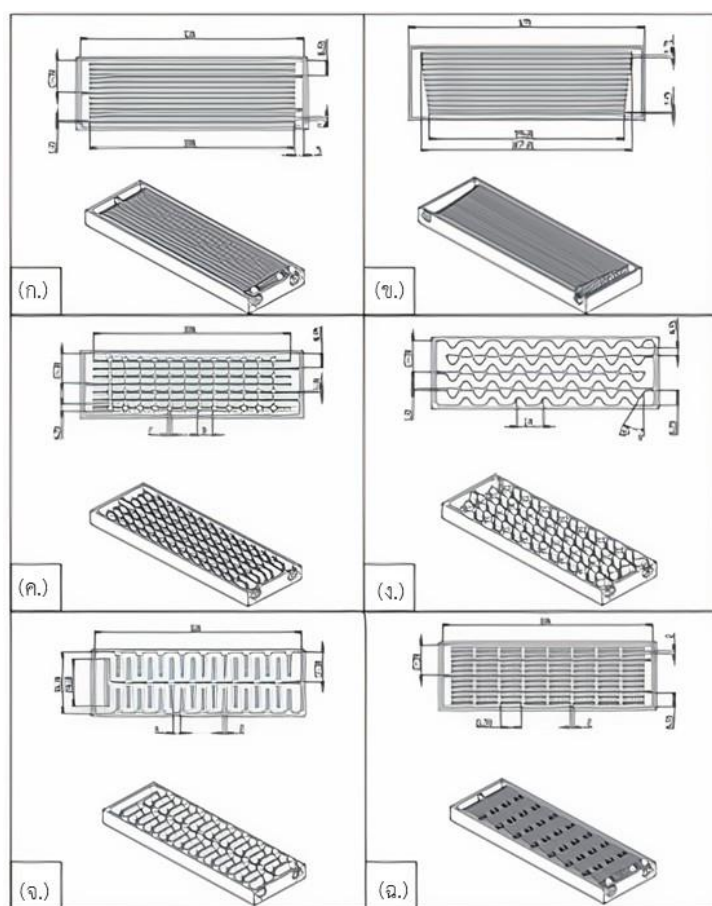
รูปที่ 2.43 (a) กราฟแสดงอุณหภูมิภายในระบบปิดที่เปลี่ยนแปลงแต่ละค่า (b) กราฟแสดงประสิทธิภาพและกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (จิราญสวัม และคณะ, 2562)

เจริญพร (2546) ได้ศึกษาเชิงทดลองตู้ทำน้ำเย็นด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริก ได้ทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล (Tianjin Lantian Model TEC1-12708) ทำความเย็นให้กับน้ำ 4 L ในถังอะลูมิเนียม ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและใช้พัดลมระบายอากาศระบายความร้อนออกจากด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก 1-4 A และอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ $0.0288 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ และ $0.0475 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก 4 A ทำให้ได้ค่า COP สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.34 ทำความเย็นได้ในอัตรา 90.33 W สามารถลดอุณหภูมิน้ำได้ $19.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 2.44a และอัตราการไหลของอากาศที่สูงที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะระบายความร้อนได้ดีกว่าและให้ค่า COP ที่ดีกว่าอัตราการไหลของอากาศที่ต่ำ ดังรูปที่ 2.44b



รูปที่ 2.44 (a) ผลของการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่ออุณหภูมิของของไหลด้านร้อนและด้านเย็น (b) ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (เจริญพร, 2546)

ชุตีชัย และคณะ (2562) ศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในฮีท-ซิงค์สำหรับชุดโมดูลทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิเคราะห์ถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของชุดครีบระบายความร้อนที่มีลักษณะช่องการไหลที่แตกต่างกันโดยใช้ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) รูปแบบของชุดครีบระบายความร้อนที่จำลองมี 6 รูปแบบ ดังรูปที่ 2.45 ซึ่งแต่ละรูปแบบทำจากวัสดุอะลูมิเนียมที่มีขนาด $120 \times 40 \text{ mm}^2$ ความหนาแน่นเท่ากับ 12 mm สมการที่ใช้ในการแก้ปัญหาประกอบไปด้วย สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน พบว่าชุดครีบระบายความร้อนแบบ (จ) สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด แต่ขณะเดียวกันก็มีความดันตกคร่อมสูงและยังพบว่าชุดครีบแบบ (ง) ให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกับชุดครีบ (จ) แต่มีความดันตกคร่อมที่มีค่าต่ำกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าครีบระบายความร้อนที่มีช่องการไหลซับซ้อนและมีการเปลี่ยนทางการไหลแบบฉับพลันทำให้มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีแต่ความดันตกคร่อมก็สูงขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

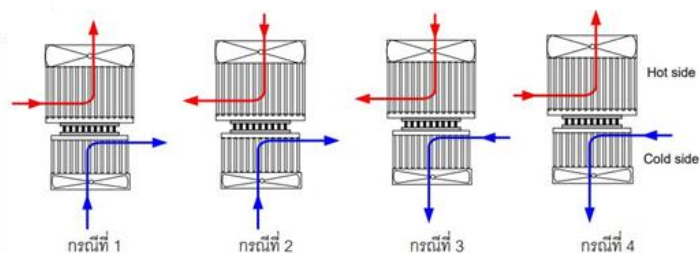


รูปที่ 2.45 ลักษณะของชุดครีบระบายความร้อนทั้ง 6 แบบ (ชุตีชัย และคณะ, 2562)

ถิรายุ (2558) ได้วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นและอัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 12 V จำนวน 24 แผ่น ต่อขนานและหุ้มฉนวนติดตั้งในถังน้ำระบายความร้อน ที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศ 3 cm 24 ตัว ทำการทดสอบในพื้นที่ขนาดกว้าง 9.72 m³ ป้อนกำลังไฟฟ้าให้เครื่องปรับอากาศเทอร์โมอิเล็กทริกเฉลี่ย 750-943 W พบว่าค่า COP เฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศจะแปรผกผันกับค่าพลังงานที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.080 ทำอุณหภูมิอากาศได้ 21.16 °C พลังงานที่ใช้ทำความเย็นเฉลี่ย 71.99 W พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้เครื่องปรับอากาศเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 916.33 W

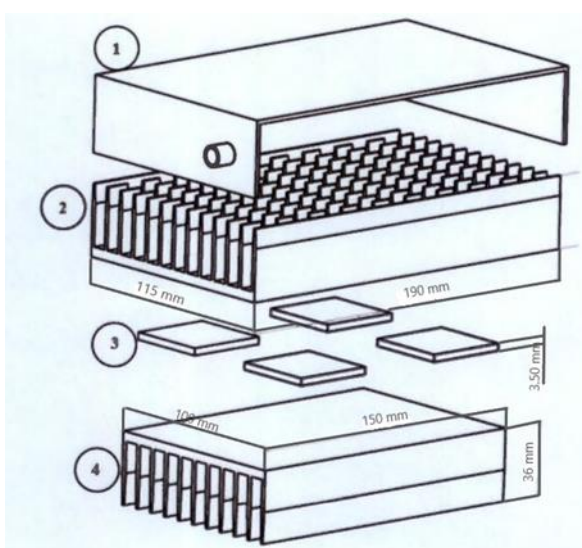
ธีรเดช (2552) ได้ศึกษาการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้ทำความเย็นสำหรับกระติกเก็บวัคซีนขนาด 3 L โดยได้ศึกษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมกับการรักษาอุณหภูมิระหว่าง 2-8 °C เพื่อเก็บวัคซีนทั้งมีภาวะและไม่มีภาวะ โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 โมดูล (TEC1-12708) พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 8 V กระแสไฟฟ้า 5.86 A สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำสุด 5.5 °C กรณีไม่มีภาวะและได้อุณหภูมิ 6.0 °C กรณีมีภาวะ ซึ่งเหมาะสำหรับการรักษาอุณหภูมิระหว่าง 2-8 °C

นิตยา และคณะ (2548) ได้ศึกษาผลกระทบทิศทางการไหลของอากาศของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยได้ทำการปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 1-4 A ใช้ครีระบายความร้อนที่มีขายตามท้องตลาดในประเทศไทยเป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนที่ด้านร้อนและด้านเย็น ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก จำนวน 1 โมดูล (Tianjin Lantian Model TEC1-12708) ทำความเย็นภายในตู้เย็นขนาด 15×15×20 cm³ พบว่าการดูดอากาศออกจากครีด้านร้อนและเป่าอากาศเข้าหาครีด้านเย็น ดังรูปที่ 2.46 เหมาะสมสำหรับระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถทำให้อุณหภูมิต่ำสุดในตู้เย็นเท่ากับ 10.5 °C ทำความเย็นได้สูงสุดที่ประมาณ 57 W เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 4 A และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นสูงสุดที่ทำได้ประมาณ 1.8 เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 2 A



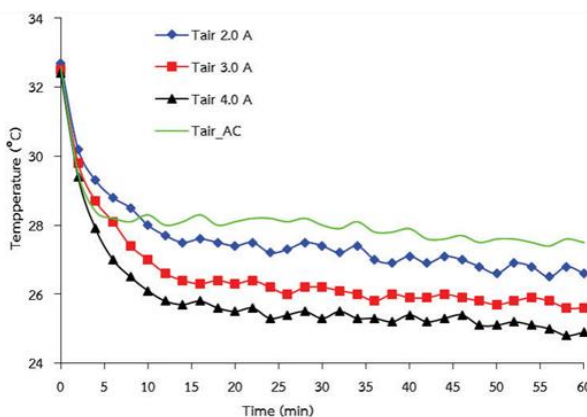
รูปที่ 2.46 ทิศทางการไหลของอากาศที่ด้านร้อนและด้านเย็น (นิตยา และคณะ, 2548)

ปรัชญา (2559) ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการลดความชื้นด้วยชุดทำความเย็นที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อเพิ่มความสามารถในการลดความชื้นอากาศ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 ป้อนกำลังไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 360 W กล่องทดสอบทำจากอะคริลิขนาด $12 \times 20 \times 12$ cm³ ที่ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกระบายความร้อนด้วยฮีทซิงค์ขนาด 11×15 cm² และ 10×12 cm² ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.47 ความเร็วลมขาเข้ากล่อง 1-5 m/s พบว่าสถานะที่ลดความชื้นได้มากที่สุดอยู่ที่ความเร็วลมต่ำสุด 1 m/s สามารถลดปริมาณน้ำในอากาศจาก 0.02 kg/kg เหลือ 0.01 kg/kg มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบเท่ากับ 0.17



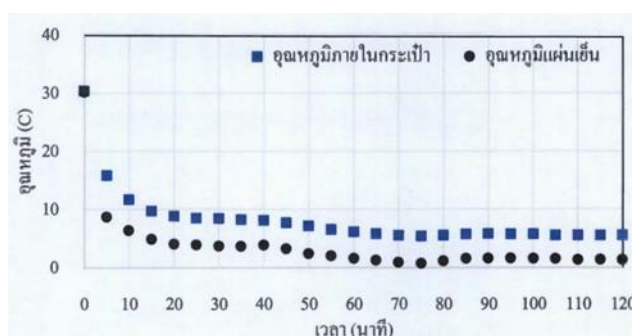
รูปที่ 2.47 ส่วนประกอบชุดทดลองลดความชื้น (ปรัชญา, 2559)

ยุทธนา (2555) ได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการทำงานทำความเย็นของระบบปรับอากาศรถยนต์โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ขนาด 12 V 10 A จำนวน 2 โมดูล ที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไหลผ่านเพื่อระบายความร้อน ที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าเอ็กแพนชันวาล์ว ทดสอบในรถยนต์ TOYOTA 3K 1166 cc ป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 6, 8, 10 A ทำการเปรียบเทียบผลของสมรรถนะการทำงานทำความเย็นของระบบปรับอากาศรถยนต์โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกกับรถยนต์ที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์พบว่าระบบปรับอากาศรถยนต์โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถทำให้ค่าสมรรถนะการทำงานทำความเย็นของระบบปรับอากาศรถยนต์เพิ่มขึ้นได้เฉลี่ย 11.25% กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 6 A เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และช่วยลดการใช้เชื้อเพลิง 12.56% เมื่อเทียบกับรถยนต์ที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 2.49 อุณหภูมิอากาศเย็นที่การป้อนกระแสไฟฟ้าต่างๆ (วิฑริวัช และคณะ, 2562)

ศาสตรา (2561) ได้ศึกษาการพัฒนาต้นแบบกระเป๋าบรรจุเวชภัณฑ์ยาที่ทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706 ใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (Power Bank) หรือถ่านไฟฉาย กระเป๋าบรรจุเวชภัณฑ์ยาขนาด 1.5 L ทดสอบกับชุดเทอร์โมอิเล็กทริกที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าคงที่ 12 V และป้อนกระแสไฟฟ้า 6 A และ 10 A ตามลำดับเป็นระยะเวลา 120 นาที พบว่าการติดตั้งชุดเทอร์โมอิเล็กทริก 10 A 2 โมดูล และพัดลมกระจายความเย็น 2 ตัว สามารถรักษาอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในกระเป๋าคือ 7.24 °C ดังรูปที่ 2.50 ซึ่งเหมาะสมในการเก็บรักษาตัวยาซึ่งการใช้กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเย็นในกระเป๋าลดลง

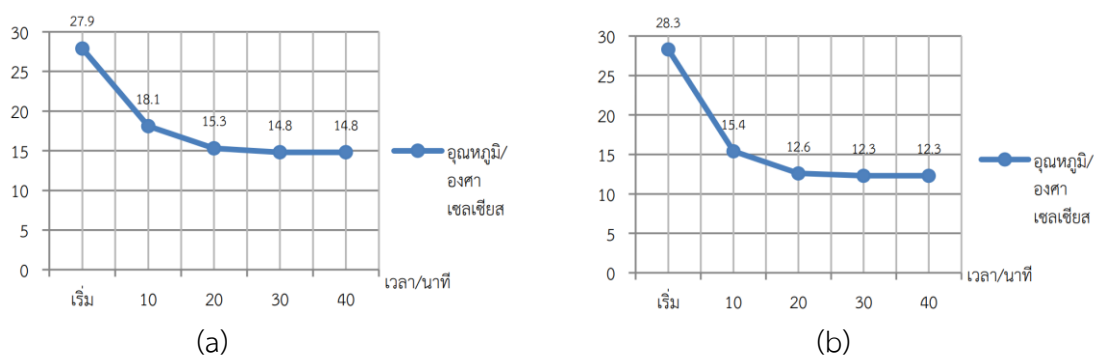


รูปที่ 2.50 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกระเป๋ากับอุณหภูมิแผ่นด้านเย็นที่เวลาต่างๆแบบมีพัดลมกระจายความเย็น (ศาสตรา, 2561)

สยมภู (2547) ได้ศึกษาการพัฒนาตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล MT2-1,6-127 จำนวน 3 โมดูล ภายในตู้เย็นต้นแบบขนาด 215 L ที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบสามเหลี่ยมขนาดกว้าง 68 mm ยาว

900 mm และสูง 30 mm และ กว้าง 120 mm ยาว 1,000 mm และสูง 30 mm ตามลำดับ ที่ด้าน เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งการทดลองเป็น 2 ลักษณะ คือ การถ่ายเทความร้อนแบบอิสระและ แบบบังคับ ที่ด้านร้อนแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ตามแนวนอนและแนวตั้ง ทำการปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 4 ค่า คือ 6, 9, 12 และ 15 A พบว่าการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบบังคับสามารถ ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในตู้เย็นลดลงได้ดีกว่าการถ่ายเทความร้อนแบบอิสระเฉลี่ย 6-7 °C จาก อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 29.9 °C ผลจากการทดลองติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ด้านร้อนของ แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบแนวนอนและแนวตั้ง พบว่าให้ผลไม่แตกต่างกันและจากการป้อน กระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มากขึ้น พบว่าค่า COP ของตู้เย็นระบบเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า ลดลง โดยค่า COP ที่ดีที่สุดเท่ากับ 2.65 ที่ป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 6 A

อชนิษฐ์ (2562) ได้ศึกษาการทดลองหาสภาวะการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็ก- ทริกทำความเย็นเพื่อรักษาอุณหภูมิวัคซีนยา โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 12 VDC 6 A ป้อน กระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 10 A ทดลองในกล่องทำความเย็นขนาด 6 L ใช้เวลา 40 นาที เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทำความเย็นโดยใช้น้ำปกติและน้ำหล่อเย็นในการระบายความร้อนที่ ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าน้ำหล่อเย็นสามารถระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่น เทอร์โมอิเล็กทริกได้ดีกว่าน้ำปกติจึงส่งผลให้สามารถทำอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทำความเย็นได้ต่ำ กว่าการใช้น้ำปกติระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 2 °C ดังรูปที่ 2.51a และ รูปที่ 2.51b



รูปที่ 2.51 ภาพแสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทำความเย็นที่ (a) ระบายความร้อนด้วยน้ำปกติ (b) ระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น (อชนิษฐ์, 2562)

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 พบว่าการศึกษาวิจัยมีทั้งการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การออกแบบฮีทซิงค์ให้ถ่ายเทความร้อนให้เหมาะสม การใช้ของไหลอนุภาคนาโนมาใช้ระบายความร้อน การจำลองผล (Simulation) เพื่อหาประสิทธิภาพการระบายความร้อนรวมถึงการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม เงื่อนไขที่ดีที่สุดของการป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่ดี จึงสามารถสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นที่ดีที่สุดไม่ใช่เงื่อนไขที่ป้อนกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสูงที่สุด อีกทั้งยังพบได้น้อยในการนำระเบียบวิธีผิวดอปสนอง (RSM) มาใช้วิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำความเย็นและการวิเคราะห์ผลของตัวแปรอิสระตัวอื่นนอกจากกระแสไฟฟ้าดังตารางที่ 2.2 เพื่อศึกษาผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็น

ตารางที่ 2.1 สรุปการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

Author	Method	TEC Type	Hot-Side Cooling	Parameters	Cold-Side Temp of TEC	COP Max
Zhu et al., 2013	Experiment	CP2-127-06L	n/a	อัตราส่วนพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	n/a	0.77
Ahammed et al., 2016	Experiment	n/a	ของไหลอนุภาคนาโน	ฟลักซ์ความร้อน, กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC, ความเร็วและความเข้มข้นของของไหลอนุภาคนาโน	n/a	n/a
Anwar and Anggara, 2016	Experiment	TEC1-12715	น้ำ	ความเร็วพัดลมด้านเย็นของแผ่น TEC	n/a	0.53
Kabeel et al., 2016	Experiment	TEC-12706	น้ำ	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	n/a	0.6
Sujith et al., (2016)	Experiment	TEC-12706	น้ำ	n/a	n/a	0.12
Cai et al., 2017	Experiment	TEC-12708	n/a	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	18 °C	n/a
Pathak, 2017	Experiment	TEC-12715	น้ำ	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	n/a	n/a
Golebiowska et al., 2019	Experiment	QC-127-1.4-8.5MD	น้ำ	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	n/a	0.93
Jiten et al., 2019	Experiment	TES1-03104T125	อากาศ และ น้ำ	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	18 °C	0.13, 0.21

หมายเหตุ: n/a คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) สรุปการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

Author	Method	TEC Type	Hot-Side Cooling	Parameters	Cold-Side Temp of TEC	COP Max
Patel et al., 2019	Experiment	TEC1-12706, TEC1-12715	อากาศ	ชนิดของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	n/a	0.73
Benke et al., 2020	Experiment	TEC12715	อากาศ และ น้ำ	พัฒนาระบายความร้อนที่ด้านร้อน, บล็อกน้ำระบายความร้อนที่ด้านเย็น	n/a	n/a
Meris et al., 2020	Experiment	TEC-12715	อากาศ และ น้ำ	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC, วัสดุที่ใช้ทำกล่องความเย็น	n/a	0.10
Kabeel et al., 2020	Experiment	TEC-12706	น้ำ	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC, อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อน, จำนวนแผ่น TEC	n/a	0.6
Patel et al., 2020	Experiment	TEC12715	อากาศ	อุณหภูมิของอากาศและน้ำในคอลัมน์, เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่ออากาศ, ความสูงของระดับน้ำในคอลัมน์และอัตราการไหลอากาศก่อนควบแน่นเป็นน้ำจืด	n/a	n/a
Venkatesan and Venkataramanan, 2020	Experiment	n/a	n/a	อัตราส่วนกระแสไฟฟ้า (I/I_{max})	n/a	1.53

หมายเหตุ: n/a คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) สรุปการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

Author	Method	TEC Type	Hot-Side Cooling	Parameters	Cold-Side Temp of TEC	COP Max
เจริญพร, 2546	Experiment	TEC1-12708	อากาศ	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC, อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	n/a	1.34
สยมภู, 2547	Experiment	MT2-1,6-127	อากาศ	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC, รูปแบบการติดตั้งฮีตซิงค์ที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	n/a	2.65
นิตยา และคณะ, 2548	Experiment	TEC1-12708	อากาศ	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC, ลักษณะ Air flow ด้านร้อน-ด้านเย็นของแผ่น TEC	n/a	1.8
ธีรเดช, 2552	Experiment	TEC1-12708	n/a	แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	n/a	n/a
ยุทธนา, 2555	Experiment	n/a	น้ำมันเชื้อเพลิง	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	n/a	n/a
จิรประภา, 2556	Experiment	n/a	n/a	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	n/a	n/a
จิรประภา, 2557	Experiment	n/a	n/a	แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก, ขนาดและความยาวครีระบายความร้อน	n/a	n/a
กิตติ, 2558	Experiment	n/a	น้ำ	ความเร็วและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น	n/a	n/a
ธีรายุ, 2558	Experiment	n/a	อากาศ	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	n/a	0.08
ปรัชญา, 2559	Experiment	TEC1-12708	อากาศ	ความเร็วลมที่ผ่านฮีตซิงค์ด้านเย็นของแผ่น TEC	n/a	0.17

หมายเหตุ: n/a คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) สรุปการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

Author	Method	TEC Type	Hot-Side Cooling	Parameters	Cold-Side Temp of TEC	COP Max
กาญจนา, 2561	Experiment	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
ศาสตรา, 2561	Experiment	TEC1-12706	n/a	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	n/a	n/a
จิรายุสวัฒน์ และคณะ, 2562	Experiment	TEC12706	น้ำ	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	n/a	n/a
ชุตินัย และคณะ, 2562	Simulation	n/a	n/a	รูปแบบของครีระบายความร้อน	n/a	n/a
วิฑูรย์ และคณะ, 2562	Experiment	TEC1-12706	อากาศ	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่น TEC	n/a	0.42
อชนิษฐ์, 2562	Experiment	n/a	น้ำ	ชนิดของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่น TEC	n/a	n/a

หมายเหตุ: n/a คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 2.2 สรุปการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM)

Author	Method	Study	Objective	Software
Balayanan et al, 2011	Experiment	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนและ เทอร์โมไซฟอน	หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดี ที่สุด	SYSTAT
Hoong et al., 2016	Experiment	ตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับ คุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ ทำจากสังกะสีออกไซด์	หาค่าที่เหมาะสมในการเจือปน อะลูมิเนียม ในสังกะสีออกไซด์	n/a
Wanga et al., 2018	Simulation	ตัวแปรในการออกแบบครีบบระบาย ความร้อนให้ได้ประสิทธิภาพ	ดูผลของความต้านทานเชิงความ ร้อนและความดันที่สูญเสีย	n/a

หมายเหตุ: n/a คือ ไม่มีข้อมูล

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัยและอุปกรณ์ในการทดลอง

สำหรับในบทนี้จะมีเนื้อหาประกอบด้วย วิธีการดำเนินงานวิจัย สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง วัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาพารามิเตอร์ของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อประสิทธิภาพระบบทำความเย็น โดยใช้ระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนองเข้ามาวิเคราะห์ผลการทดลองการศึกษาถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของอากาศด้านเย็นในรูปแบบตัวเลขเรย์โนลด์และผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})

ส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและการระบายความร้อนที่ด้านร้อนด้วยน้ำต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP_r) และอัตราการทำความเย็น (q_{tc}) ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

ส่วนที่ 3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อกำหนดเงื่อนไขการทดลองและทำการทดลองตามเงื่อนไขนั้น

ส่วนที่ 4 การหาเงื่อนไขการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมจากระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนองเพื่อช่วยวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

3.1.1 ส่วนที่ 1 การทดลองศึกษาพารามิเตอร์การทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

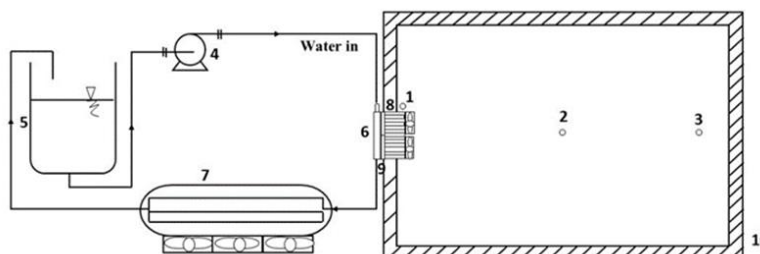
การศึกษาเงื่อนไขการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของอากาศด้านเย็นในรูปแบบตัวเลขเรย์โนลด์และผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยได้กำหนดพารามิเตอร์การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก ได้แก่ อัตราการทำความเย็นที่ฮีทซิงค์ด้านเย็น กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกและอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก ได้กำหนดการปรับเปลี่ยนอัตรา

การระบายความร้อนที่ด้านร้อน-ที่ด้านเย็นและการป้อนกำลังไฟฟ้าแก่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไว้ 16 เจือจาง โดยกำลังไฟฟ้ารวมที่ป้อนให้อุปกรณ์ในระบบ (P_E) ในช่วง 12.35-138.97 W ซึ่งเป็นช่วงที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถทำงานได้โดยที่ P_E ประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_e) ในช่วง 10-136 W กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมระบายอากาศด้านร้อน (P_{th}) ในช่วง 0.05-1.90 W และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมทำอากาศเย็นด้านเย็น (P_{fc}) ในช่วง 0.05-2.09 W ฮีทซิงค์ที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมี ขนาด $60 \times 60 \times 30$ mm³ ปรับอัตราการไหลของอากาศผ่าน crib ทำความเย็นในช่วง 2.54-24.58 cfm อัตราการไหลของอากาศระบายความร้อนที่ด้านร้อนผ่านฮีทไปป์ในช่วง 3.36-27.46 cfm อุณหภูมิอากาศเข้าของอากาศ (T_{ci}) ปรับให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25 ± 1 °C ตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่านแผงระบายความร้อนด้านร้อน (ฮีทไปป์) และอากาศที่ไหลผ่านฮีทซิงค์ด้านเย็น และตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เวลาที่ใช้ในการทดลองแต่ละเงื่อนไข 1 ชั่วโมง ในการรักษาอุณหภูมิอากาศเย็นที่ได้เพื่อให้แน่ใจว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวทำการทดลองในท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดหน้าตัด 40×100 mm²

3.1.2 ส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อหาสมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

การศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อ COP_t ในกล่องทำความเย็นขนาด 17.5 L โดยใช้พัดลมในการหมุนเวียนอากาศติดกับฮีทซิงค์และติดกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น ใช้ปั้มน้ำหล่อเย็นน้ำสำหรับระบายความร้อนจากบล็อกน้ำที่ติดกับด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก รายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆและผังชุดทดลอง ดังรูปที่ 3.1 โดยออกแบบให้มีอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{th}) อย่างเพียงพอเพื่อให้สามารถรักษาอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นได้ต่ำกว่า 5 °C โดยได้ปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 19.3-74.1 W โดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก วัดโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ อัตราการหมุนเวียนอากาศเย็นในกล่อง 32 cfm อัตราการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกคงที่ที่ 90 L/h แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทำความเย็น 3 ตำแหน่ง ทุกวินาทีต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานในสภาวะคงตัวผ่านทางบอร์ด Arduino MEGA 2560 R3 เก็บข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ค่าอุณหภูมิที่ได้นำมาเฉลี่ยทุก 5 นาที วัดอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิน้ำที่ใช้ระบายความร้อนด้วยดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) รวมทั้งตรวจวัดค่าผลต่างอุณหภูมิน้ำก่อนและ

หลังเข้าปลั๊กคณน้ำเพื่อประเมินอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำหล่อเย็นว่าเพียงพอเป็นไปตามที่ได้ ออกแบบไว้หรือไม่



- 1, 2, 3. Temperature sensor DS18B20 4. Pump 5. Water tank 6. Water block
7. Radiator 8. Heat sink 9. TEC1-12715 (2 modules) 10. Cooler box 17.5 L

รูปที่ 3.1 ผังชุดทดลองกล่องทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้น้ำในการระบายความร้อน

3.1.3 ส่วนที่ 3 การออกแบบการทดลองและทำการทดลองตามเงื่อนไขที่ออกแบบ

การกำหนดพารามิเตอร์การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อประสิทธิภาพระบบทำความเย็นจะใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) โดยมีตัวแปรอิสระ 4 ตัว ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c) อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีตซิงค์ด้านเย็น (A_R) กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปของอัตราส่วนกำลังไฟฟ้า (P_R) โดยได้ออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระต่างๆที่มีผลต่อระบบทำอากาศเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้โปรแกรม Essential Experimental Design (EED) version 2.213 ซึ่งเป็น Add Ins Tool สำหรับ Microsoft Excel จะได้เงื่อนไขในการทดลองทั้งหมด 28 การทดลอง นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ที่ดี โดยช่วงการแปรค่าของตัวแปรอิสระ ดังตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการทดลองตามช่วงการแปรค่าของตัวแปรอิสระ ซึ่งมีทั้งหมด 28 การทดลอง แสดงในตารางที่ 3.3

การศึกษาระบบทำอากาศเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกมีตัวแปรอิสระที่มีผลต่ออัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) ได้แก่ อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อน

ให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Power Ratio, P_R) อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (Flow Area/Heat Transfer Area, A_R) อัตราการไหลของอากาศสำหรับการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนและด้านเย็นในรูปแบบตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number at Cold-Side and Hot-Side, Re_c, Re_h) โดยมีรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้างต้น ดังแสดงในสมการ

$$q_{ac} = f(P_R, A_R, Re_c, Re_h) \quad (3.1)$$

$$q_{ic} = f(P_R, A_R, Re_c, Re_h) \quad (3.2)$$

$$COP_t = f(P_R, A_R, Re_c, Re_h) \quad (3.3)$$

$$COP_a = f(P_R, A_R, Re_c, Re_h) \quad (3.4)$$

โดยที่ q_{ac} คือ อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
 q_{ic} คือ อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
 COP_t คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก
 COP_a คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ
 P_R คือ อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
 A_R คือ อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น
 Re_c คือ ตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลอากาศผ่านฮีทซิงค์ด้านเย็น
 Re_h คือ ตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลอากาศผ่านฮีทซิงค์ด้านร้อน

3.1.3.1 อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Power Ratio, P_R)

ในส่วนของอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในช่วง 0.09-1.00 คำนวณจากสมการที่ 3.5 โดยได้ทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถทำความเย็นได้ ($P_e = 12$ W) แล้วนำมาเทียบกับ Code -1.0 ในการออกแบบการทดลอง (DOE) และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ($P_e = 135$ W) มาเทียบกับ Code 1.0

โดยที่ช่วง Code ระหว่าง -1.0-1.0 ได้ทำการ Interpolation เพื่อหากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เงื่อนไข Code อื่นๆ เช่น -0.5, 0.0, 0.5

$$P_R = \frac{P}{P_{\max}} \quad (3.5)$$

โดยที่ P_R คือ อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
 P คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
 P_{\max} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

3.1.3.2 อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c)

ในการหาอัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c) หาได้จากสมการที่ 3.6 และ สมการที่ 3.7 ตามลำดับ โดยได้ทำการหาค่าต่ำสุดของอัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) มีค่าเท่ากับ 3,074 (12.2 cfm) และด้านเย็น (Re_c) มีค่าเท่ากับ 2,378 (5.5 cfm) มาเท่ากับ Code -1.0 ในการออกแบบการทดลอง (DOE) และค่าสูงสุดของอัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) มีค่าเท่ากับ 14,139 (56.1 cfm) และด้านเย็น (Re_c) มีค่าเท่ากับ 25,613 (59.3 cfm) มาเท่ากับ Code 1.0 โดยที่ช่วง Code ระหว่าง -0.5-0.5 ได้ทำการ Interpolation เพื่อหาอัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c)

$$Re_h = \frac{\rho u_h D_h}{\mu} \quad (3.6)$$

$$Re_c = \frac{\rho u_c D_c}{\mu} \quad (3.7)$$

โดยที่ Re_h คือ ตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลอากาศผ่านฮีทซิงค์ด้านร้อน
 Re_c คือ ตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลอากาศผ่านฮีทซิงค์ด้านเย็น
 ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
 u_h คือ ความเร็วของพัดลมระบายความร้อนที่ด้านร้อน (m/s)
 u_c คือ ความเร็วของพัดลมระบายความร้อนที่ด้านเย็น (m/s)
 D_h คือ Hydraulic Diameter ที่ท่อด้านร้อน (m)
 D_c คือ Hydraulic Diameter ที่ท่อด้านเย็น (m)

μ คือ ความหนืดของอากาศแบบไดนามิก (kg/m·s)

3.1.3.3 อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (Flow Area/Heat Transfer Area, A_R)

อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็นมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0.042-0.306 โดยหาได้จากสมการที่ 3.8 โดยได้ทำการหาค่าต่ำสุดของ A_R มาเท่ากับ Code -1.0 ในการออกแบบการทดลอง (DOE) และค่าสูงสุดของ A_R มาเท่ากับ Code 1.0 โดยที่ช่วง Code ระหว่าง -0.5-0.5 ได้ทำการ Interpolation เพื่อหาอัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (A_R)

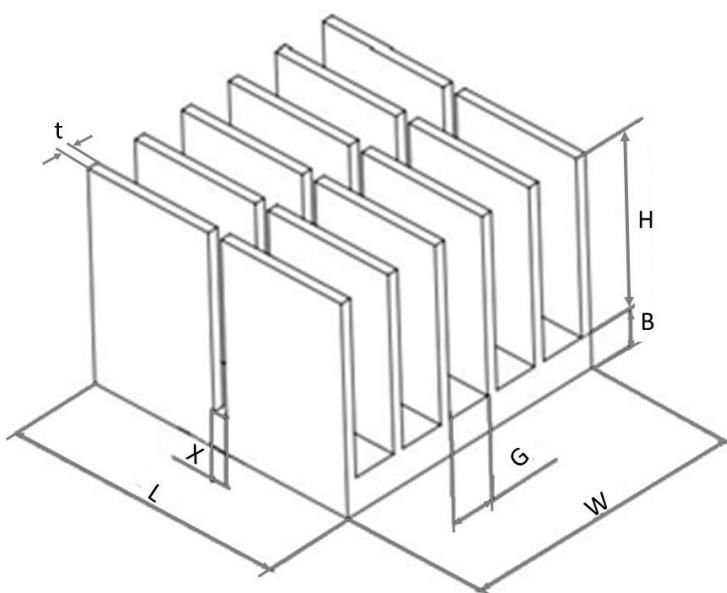
$$A_R = \frac{A_f}{A_h} \quad (3.8)$$

โดยที่ A_R คือ อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น

A_f คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อการไหลของอากาศ (m^2)

A_h คือ พื้นที่ฮีทซิงค์ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ด้านเย็น (m^2)

ดังนั้นสามารถคำนวณ A_h ได้จากสมการที่ 3.9



รูปที่ 3.2 รูปทรงเรขาคณิตของฮีทซิงค์ด้านเย็นที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลอง

$$A_n = [L(4B + 2nH) + (n-1)G] + 2nt(H + L) + (2tH(mm)) + (nXmt) \quad (3.9)$$

- โดยที่ H คือ ความสูงของครีบบีทซิงค์ (mm)
 B คือ ความสูงของฐานฮีทซิงค์ (mm)
 W คือ ความกว้างของฐานฮีทซิงค์ (mm)
 L คือ ความยาวของฐานฮีทซิงค์ (mm)
 n คือ จำนวนครีบบีทซิงค์
 G คือ ระยะห่างระหว่างครีบบีทซิงค์ (mm)
 t คือ ความหนาของครีบบีทซิงค์ (mm)
 M คือ จำนวนแถวของร่องบนครีบบีทซิงค์ที่ถูกแบ่งตามขวาง
 X คือ ระยะของร่องที่แบ่งครีบบีทซิงค์ในแนวตามขวาง (mm)

ตารางที่ 3.1 การแปรค่าของอัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์

ฮีทซิงค์ (mm ³)	A_R	Coded
80×80×30 (M2)	0.042	-1.0
70×70×30 (M4)	0.108	-0.5
60×60×30 (M6)	0.174	0.0
40×40×30 (M1)	0.240	0.5
40×40×30	0.306	1.0

หมายเหตุ: M คือ จำนวนแถวของร่องบนครีบบีทซิงค์ที่ถูกแบ่งตามขวาง

ตารางที่ 3.2 ช่วงการแปรค่าของตัวแปรอิสระ

Independent Variables	Coded				
	-1	-0.5	0	0.5	1
Renolds Number, Re_c (Cold-Side Air Flow)	2,378	8,187	13,995	19,804	25,613
Renolds Number, Re_h (Hot-Side Air Flow)	3,074	5,840	8,606	11,373	14,139
Power Ratio, P_R	0.090	0.320	0.545	0.772	1.000
Flow Area/Heat Transfer Area Ratio, A_R	0.042	0.108	0.174	0.240	0.306

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขการทดลองตามช่วงการแปรค่าที่สภาวะต่างๆ

NO.	P_R	A_R	Re_c	Re_h
1.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)
2.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	-1 (3,074)
3.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)
4.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)
5.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)
6.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)
7.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)
8.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)
9.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)
10.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)
11.	0 (0.545)	1 (0.306)	0 (13,995)	0 (8,606)
12.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)
13.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)
14.	0 (0.545)	-1 (0.042)	0 (13,995)	0 (8,606)
15.	-1 (0.090)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)
16.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)
17.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)
18.	0 (0.545)	0 (0.174)	1 (25,613)	0 (8,606)
19.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)
20.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)
21.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)
22.	1 (1.000)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)
23.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)
24.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)
25.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)
26.	0 (0.545)	0 (0.174)	-1 (2,378)	0 (8,606)
27.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	1 (14,139)
28.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)

3.1.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรและการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการทดลอง

หลังจากทดลองตามเงื่อนไขที่ได้ทำการออกแบบไว้ตามหัวข้อ 3.1.3 ทั้ง 28 เงื่อนไข โดยการปรับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_e) ในช่วง 12-135 W ปรับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (P_f) ในช่วง 0.3-6.0 W ปรับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (P_h) ในช่วง 0.55-5.20 W โดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและพัดลมระบายอากาศด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและพัดลมระบายอากาศด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งแสดงผลค่าโวลต์-ค่าแอมป์ (Dual Display Digital Voltmeter-Ammeter) ด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ปรับอัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีตซิงค์ด้านเย็น (A_R) ในช่วง 0.042-0.306 โดยการปรับเปลี่ยนขนาดฮีตซิงค์ 5 ขนาด ดังตารางที่ 3.1 แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศก่อน-หลังผ่านฮีตซิงค์ด้วยเซนเซอร์ DS18B20 ผ่านทางบอร์ด Arduino UNO R3 โดยได้ทำการสอบเทียบอุณหภูมิกับ Standard Thermometer แล้วเก็บข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ทุกวินาทีต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานในสภาวะคงตัวบันทึกความชื้นสัมพัทธ์ก่อน-หลังผ่านฮีตซิงค์ด้วย Digital Hygrometer Temperature & Humidity วัดความเร็วลมภายในท่ออากาศด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้วย Anemometer และทดลองในห้องปรับอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ 25 ± 1 °C หลังจากนั้น นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว (P_R , A_R , Re_c , Re_h) กับผลตอบสนอง (q_{ac} , COP_a) ด้วยระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) โดยใช้ Add Ins ใน Microsoft Excel 2013 ที่มีชื่อว่า Essential Regression 2.220 และใช้สมการพหุนามกำลังสาม (Cubic Model) เพื่อทำนายความสัมพันธ์ โดยมีระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่า p-value ของสัมประสิทธิ์สมการทำนาย ถ้าค่า p-value มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าพจน์ดังกล่าวมีนัยสำคัญน้อยส่วนพจน์ที่มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 จะเป็นพจน์ที่มีนัยสำคัญมาก สมการที่ได้สามารถนำไปสร้างกราฟ Contour และกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) เพื่อสังเกตเงื่อนไขที่เหมาะสม (Optimal Condition) ในการทดลอง โดยจะสังเกตบริเวณที่ให้ค่า Response ที่ดีในกราฟ Contour

3.1.5 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์ (Relative Uncertainty)

ในการทดลองได้มีการใช้เครื่องมือวัดค่าตัวแปรที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) ดังสมการที่ 2.11 อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ดังสมการที่ 2.6 สัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_e) ดังสมการที่ 2.4 อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่น-

เทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) ดังสมการที่ 2.2 และอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{th}) ดังสมการที่ 2.3 ซึ่งเครื่องมือวัดแต่ละเครื่องมือมีความไม่แน่นอนในการวัด ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของผลที่ได้จากการวัดและผลการวิเคราะห์เพื่อความเชื่อมั่นในข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนจะใช้สมการที่ 3.10-3.18

$$\delta y = \left[\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \delta x_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \delta x_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \delta x_n \right)^2 \right]^{0.5} \quad (3.10)$$

$$\frac{\delta q_{tc}}{q_{tc}} = \sqrt{\left(\frac{\delta I I_{tc}}{I I_{tc}} \right)^2 + \left(\frac{\delta I^2}{I^2} \right)^2 + \left(\frac{\delta \Delta T_t}{\Delta T_t} \right)^2} \quad (3.11)$$

$$\frac{\delta q_{th}}{q_{th}} = \sqrt{\left(\frac{\delta I I_{th}}{I I_{th}} \right)^2 + \left(\frac{\delta I^2}{I^2} \right)^2 + \left(\frac{\delta \Delta T_t}{\Delta T_t} \right)^2} \quad (3.12)$$

$$\frac{\delta COP_t}{COP_t} = \sqrt{\left(\frac{\delta q_{tc}}{q_{tc}} \right)^2 + \left(\frac{\delta P_t}{P_t} \right)^2} \quad (3.13)$$

$$\frac{\delta P_t}{P_t} = \sqrt{(\delta q_{tc})^2 + (\delta q_{th})^2} \quad (3.14)$$

$$\frac{\delta P}{P} = \sqrt{\left(\frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V} \right)^2} \quad (3.15)$$

$$\frac{\delta \dot{v}_f}{\dot{v}_f} = \sqrt{\left(\frac{\delta w}{w} \right)^2 + \left(\frac{\delta h}{h} \right)^2 + \left(\frac{\delta u_i}{u_i} \right)^2} \quad (3.16)$$

$$\frac{\delta P_E}{P_E} = \sqrt{(\delta P_e)^2 + (\delta P_{fc})^2 + (\delta P_{fh})^2} \quad (3.17)$$

$$\frac{\delta COP_a}{COP_a} = \sqrt{(\delta q_{ac})^2 + (\delta P_E)^2} \quad (3.18)$$

โดยที่ δq_{tc} คือ ค่าความไม่แน่นอนของอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

δq_{th} คือ ค่าความไม่แน่นอนของอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

δq_{ac}	คือ ค่าความไม่แน่นอนของอัตราการทำความเย็นอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
δCOP_t	คือ ค่าความไม่แน่นอนของสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
δCOP_a	คือ ค่าความไม่แน่นอนของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ
δIT_{tc}	คือ ค่าความไม่แน่นอนของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
δIT_{th}	คือ ค่าความไม่แน่นอนของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ผิวด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
δP	คือ ค่าความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์ต่างๆ
δP_r	คือ ค่าความไม่แน่นอนของผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
δP_E	คือ ค่าความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟารวมที่ป้อนให้อุปกรณ์ในระบบ
δP_e	คือ ค่าความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
δP_{fc}	คือ ค่าความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก
δP_{fh}	คือ ค่าความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก
δI	คือ ค่าความไม่แน่นอนของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์ต่างๆ
δV	คือ ค่าความไม่แน่นอนของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์ต่างๆ
$\delta \Delta T_r$	คือ ค่าความไม่แน่นอนของผลต่างอุณหภูมิด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
$\delta \dot{v}_f$	คือ ค่าความไม่แน่นอนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ
δu_r	คือ ค่าความไม่แน่นอนของความเร็วอากาศที่ไหลผ่านท่ออากาศด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
δw	คือ ค่าความไม่แน่นอนของความเร็วอากาศด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

δh คือ ค่าความไม่แน่นอนของความสูงท่ออากาศด้านเย็นของแผ่น-
เทอร์โมอิเล็กทริก

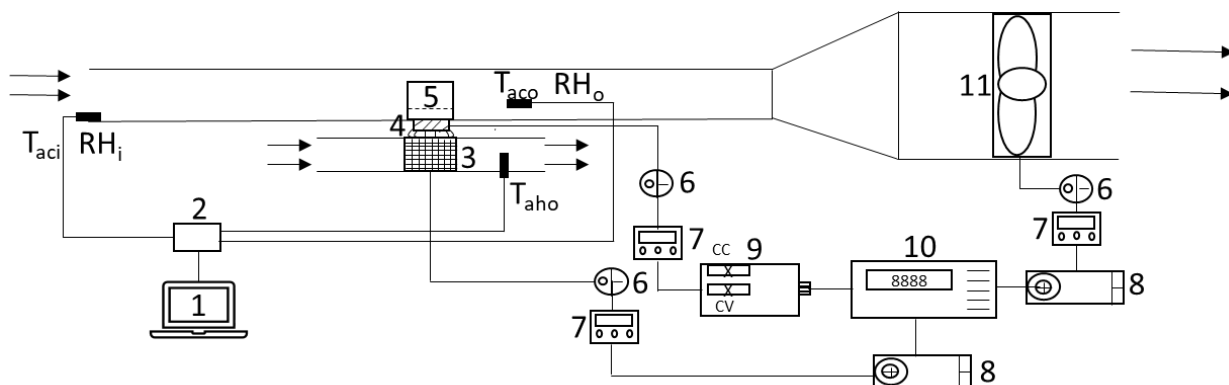
3.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในส่วนของสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นสมการพื้นฐานทั่วไป เกี่ยวกับเทอร์โมไดนามิกส์ การถ่ายเทความร้อน โดยจะใช้สมการที่ 2.2 และ 2.3 ในการคำนวณค่าอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) และ อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{th}) ตามลำดับ สมการที่ 2.4 และ 2.5 ใช้คำนวณสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_c) และ ผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_c) ตามลำดับ สมการที่ 2.6-2.8 ใช้คำนวณอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (\dot{m}_a) อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (\dot{V}_f) ตามลำดับ สมการที่ 2.10-2.12 ใช้คำนวณกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์ต่างๆ (P) สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และกำลังไฟฟ้ารวมที่ป้อนให้อุปกรณ์ในระบบ (P_E) ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty Analysis) จะใช้สมการที่ 3.10-3.18

3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

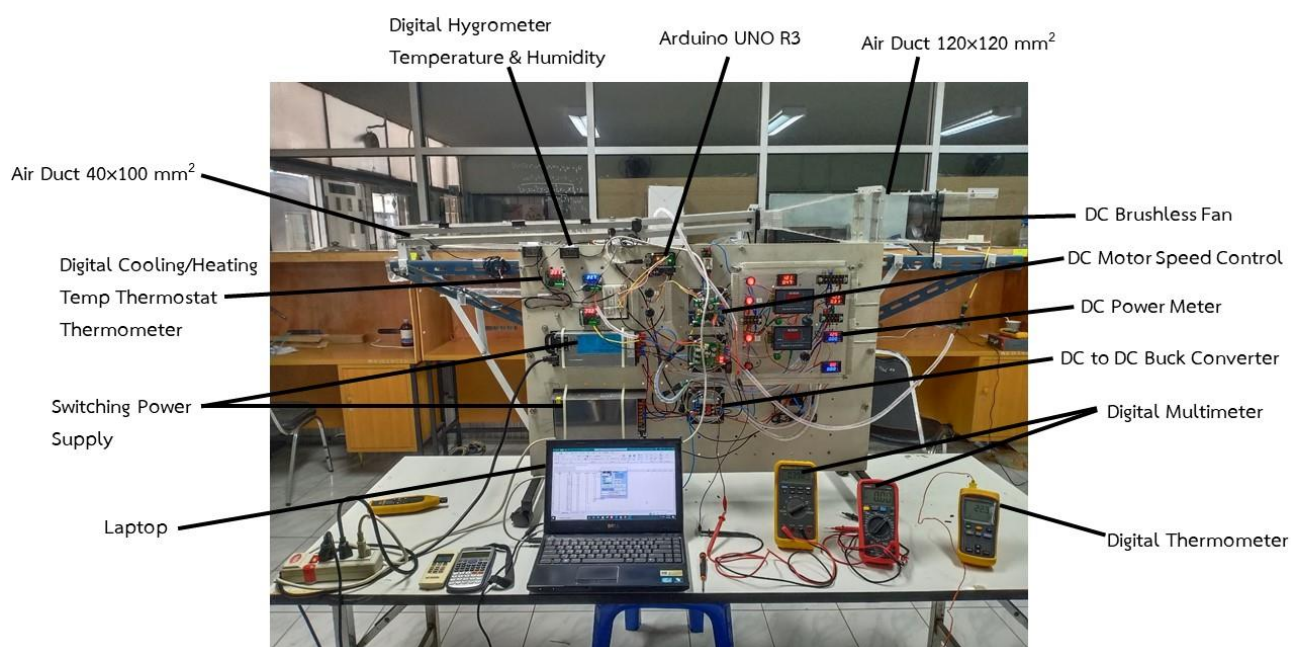
3.3.1 ชุดทดลอง

ชุดทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 ซึ่งประกอบด้วยท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดหน้าตัด $40 \times 100 \text{ mm}^2$ มีความยาว 1.5 m เพียงพอที่จะทำให้การไหลในท่อผ่านฮีทซิงค์เป็นแบบพัฒนาตัวแล้ว (Fully Developed Flow) จากนั้นมีการขยายหน้าตัดให้มีขนาด $120 \times 120 \text{ mm}^2$ เพื่อติดตั้งพัดลมใช้ในการดูดอากาศให้ไหลเข้าภายในท่ออากาศ ได้ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 และวัดความชื้นสัมพัทธ์เพื่อวัดผลต่างอุณหภูมิก่อนและหลังฮีทซิงค์ แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยใช้บอร์ด Arduino UNO R3 แล้วบันทึกเข้าคอมพิวเตอร์



1. Laptop
2. Arduino UNO R3
3. 6 Direct Contact Heat Pipes
4. TEC1-12715
5. Heat Sink
6. Switch
7. DC Power Meter
8. DC Motor Speed Control
9. DC to DC Buck Converter
10. Switching Power Supply

รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมชุดทดลอง



รูปที่ 3.4 ชุดทดลองจริงพร้อมรายละเอียด

3.3.2 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

ในการทดลองใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 ผลิตจากวัสดุ Bi_2Te_3 วัสดุเซรามิกส์ที่ใช้ปิดด้านนอกทำจากวัสดุ Al_2O_3 รายละเอียดและคุณสมบัติของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ดังตารางที่ 3.4 และมีข้อมูลสมรรถนะการทำงานดังภาคผนวก ฅ

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดและคุณสมบัติของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (TEC1-12715)

รายละเอียด/ คุณสมบัติ	
ขนาดของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (กว้าง×ยาว×หนา)	40×40×3.3 mm ³
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด	12 VDC
ความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อน-ด้านเย็นสูงสุด	62°C
Cooling Rate	142 W
Seebeck Coefficient (α)	0.054-0.056 V/K
Resistivity (R)	0.80-0.88 Ω
Device Thermal Conductance (K)	1.34-1.39 W/K

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองในบทที่ 3 โดยจะมีเนื้อหาประกอบดังนี้ 1) ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นจากการทดลองการศึกษาพารามิเตอร์การทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก 2) ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นจากการทดลองสมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ 3) ผลการวิเคราะห์จากการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (DOE) 4) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรและการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทดลองโดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง (RSM) 5) ผลการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของอุปกรณ์การวัด

4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

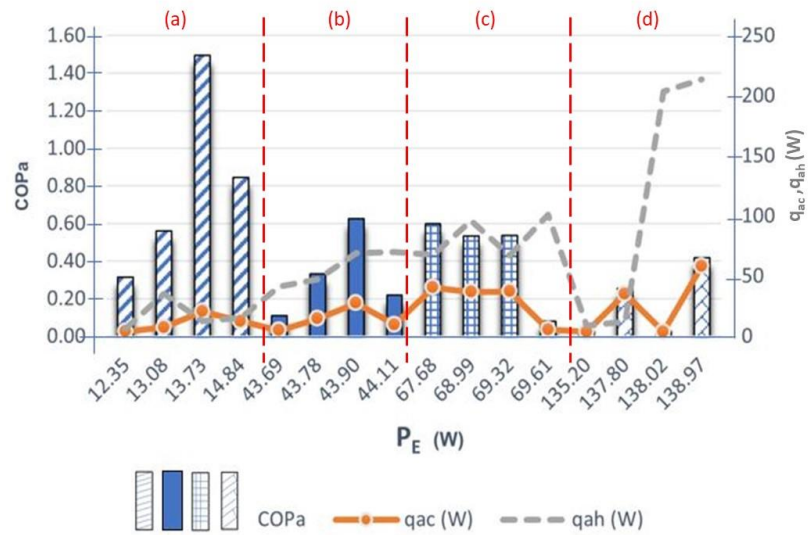
4.1.1 ผลการทดลองศึกษาพารามิเตอร์การทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

จากการศึกษาพารามิเตอร์การทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ได้แก่ P_E ในช่วง 12.35-138.97 W ฮีตซิงค์ที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก มีขนาด $60 \times 60 \times 30$ mm³ ปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านครีบทำความเย็นในช่วง 2.54-24.58 cfm อัตราการไหลของอากาศระบายความร้อนที่ด้านร้อนผ่านฮีทไปป์ในช่วง 3.36-27.46 cfm จากผลการทดลองพบว่าเงื่อนไขการทำงานที่ทำให้ได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศสูงสุดไม่ใช่ค่าที่สูงที่สุดของพารามิเตอร์ทั้งสาม (P_E , อัตราการไหลของอากาศผ่านครีบทำความเย็น อัตราการไหลของอากาศระบายความร้อนที่ด้านร้อนผ่านฮีทไปป์) แต่ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) ที่มากที่สุดคือ 1.49 ดังรูปที่ 4.1 มีอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) อยู่ที่ 20.50 W อัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ah}) อยู่ที่ 12.31 W อัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}/q_{ah}) อยู่ในช่วง 0.32-1.66 ดังตารางที่ 4.1

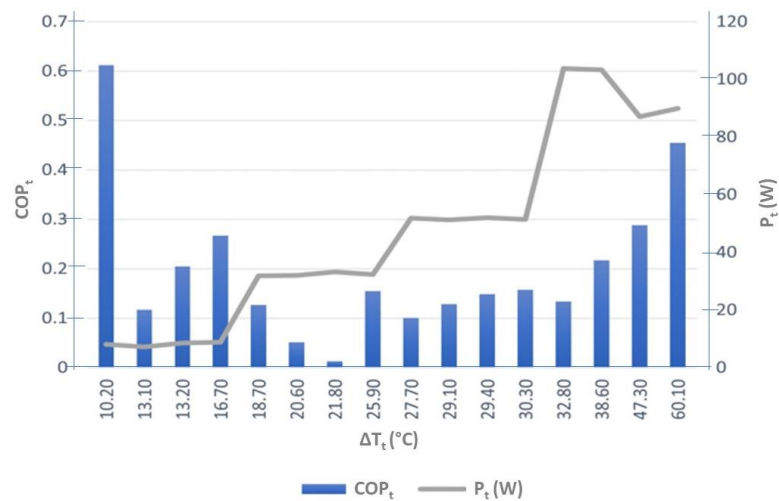
ตารางที่ 4.1 การพิจารณารูปที่ 4.1

Zone	COP _a	q _{ac} (W)	q _{ac} /q _{ah}
(a)	0.31-1.49	3.88-20.50	0.32-1.66
(b)	0.11-0.63	4.77-27.48	0.12-0.40
(c)	0.08-0.60	5.50-40.51	0.05-0.60
(d)	0.03-0.42	3.43-58.00	0.02-2.93

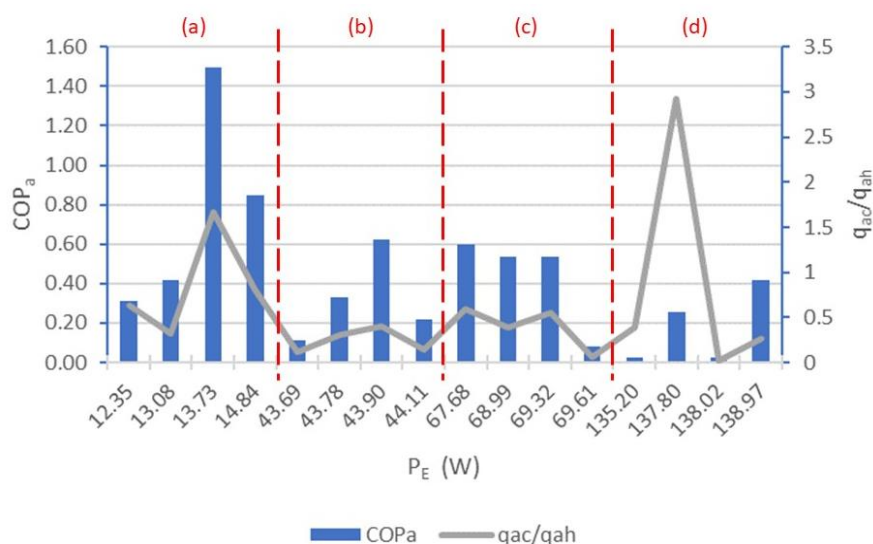
ค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_e) อยู่ที่ 11.6 W ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ หากต้องการอัตราการทำความเย็นที่สูงโดยไม่ต้องใช้กำลังไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสูงสุด สามารถให้กำลังไฟฟ้าแก่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกประมาณ 50% ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยให้รักษาอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไว้ในช่วง 40-55% ความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อน-ด้านเย็นที่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_t) มีค่าสูงขึ้นไม่ได้ทำให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_e) มีค่าสูงตามไปด้วย หากไม่สามารถระบายความร้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างเพียงพอจะส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนไปยังด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการป้อนกำลังไฟฟ้าที่ต่ำให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ดังในรูปที่ 4.2 แม้ว่าจะได้ค่า COP_a สูงสุดตามเงื่อนไขจากผลการศึกษาแต่ให้ความสามารถในการทำความเย็นค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ah}) ค่อนข้างต่ำจึงไม่สามารถลดอุณหภูมิด้านเย็นให้ต่ำลงได้ ขณะที่การทำความเย็นสูงสุดเท่ากับ 58 W (q_{ac}) ให้ค่า COP_a เท่ากับ 0.42 พบว่าอัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}/q_{ah}) เท่ากับ 0.27 ดังรูปที่ 4.3 และ ΔT_t เท่ากับ 18.4 °C



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้ารวมที่ป้อนให้อุปกรณ์ในระบบ (P_E) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ah}) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})



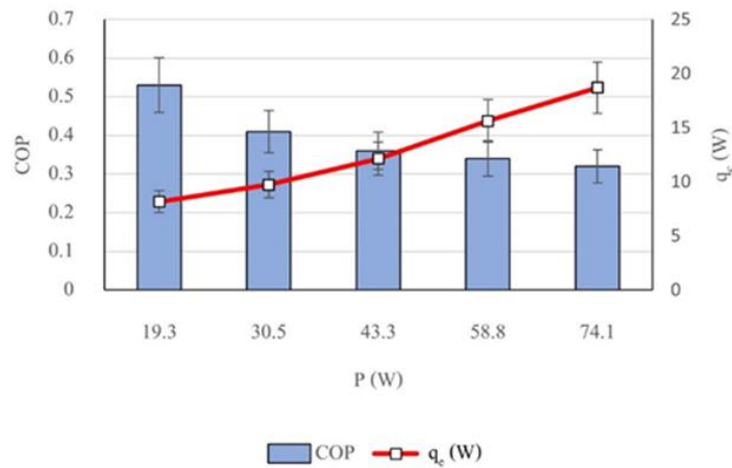
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของความแตกต่างอุณหภูมิผิวด้านร้อน-เย็นแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_t) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) และผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_t)



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้ารวมที่ป้อนให้อุปกรณ์ในระบบ (P_E) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}/q_{ah})

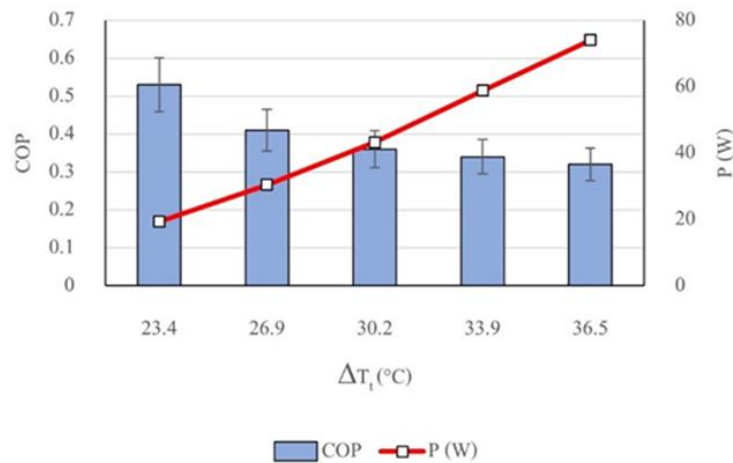
4.1.2 ผลการทดลองเพื่อทดสอบหาสมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

การทดลองเพื่อทดสอบหาสมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยทำการทดลองในกล่องขนาดความจุ 17.5 L โดยไม่มีภาระการทำความเย็น ทดลองป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 ตั้งแต่ 19.3-74.1 W ที่อัตราการหมุนเวียนอากาศเย็นภายในกล่อง 32 cfm อัตราหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกคงที่ที่ 90 L/h มีอุปกรณ์และผังชุดทดลองดังรูปที่ 3.1 จากผลการทดลองพบว่าเงื่อนไขการทำงานที่ทำให้ได้ COP_t สูงสุดไม่ได้เกิดขึ้นที่ค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ค่า COP_t ที่มากที่สุดเท่ากับ 0.53 ดังรูปที่ 4.4



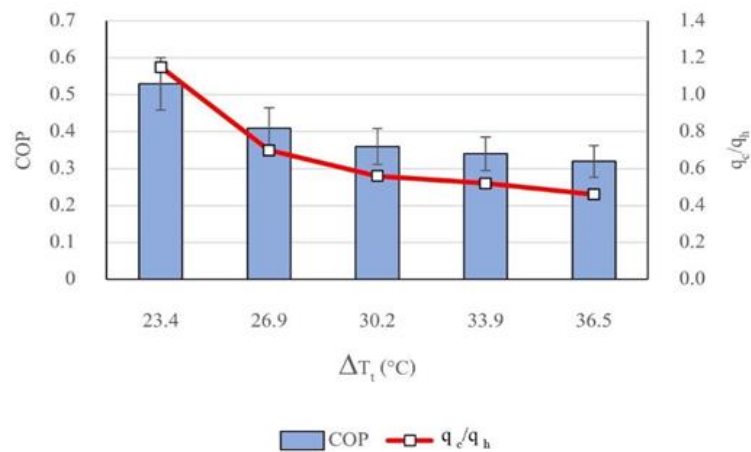
รูปที่ 4.4 ผลของกำลังไฟฟ้า (P_e) ที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc})

ที่ค่า COP_t สูงสุดนี้มีอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) เพียง 8.2 W อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{th}) อยู่ที่ 7.1 W โดยกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_e) อยู่ที่ 19.3 W และที่เงื่อนไขทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_t) เท่ากับ 23.4 °C ดังในรูปที่ 4.5

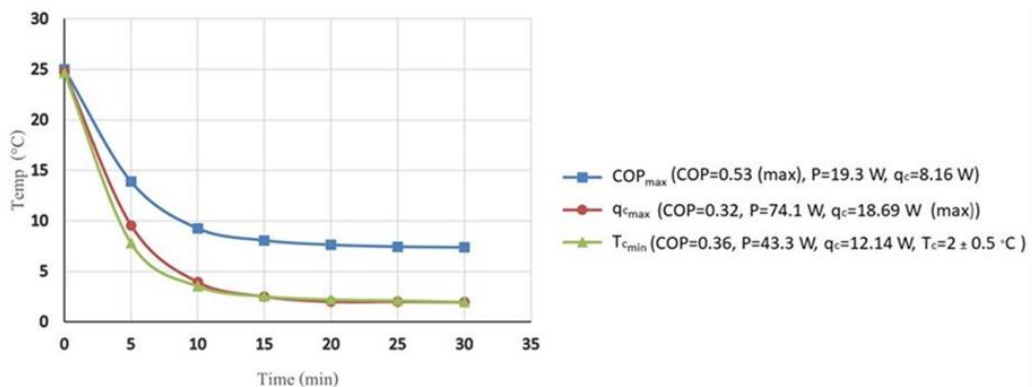


รูปที่ 4.5 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_t) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_e)

ที่ ΔT_t เท่ากับ $23.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อพิจารณาอัตราส่วน q_{tc}/q_{th} ในรูปที่ 4.6 จะเห็นว่ามีความเท่ากับ 1.15 แม้ว่าอัตราส่วน q_{tc}/q_{th} มีค่ามากกว่า 1 แต่ค่า q_{tc} ที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำและไม่สามารถลดอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นได้ต่ำกว่า $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนค่า COP_t ต่ำสุดอยู่ที่ 0.32 เมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 74.1 W (8 A) ได้ q_{tc} สูงสุดเท่ากับ 18.7 W ดังในรูปที่ 4.4 ขณะที่ ΔT_t เท่ากับ $36.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังในรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าอัตราส่วน q_{tc}/q_{th} เท่ากับ 0.46 ซึ่งน้อยกว่า 1 ดังในรูปที่ 4.6 และสามารถลดอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นให้มีค่าต่ำกว่า $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ได้ดังในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_t) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) และอัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}/q_{th})



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (เฉลี่ย) ในกล่องทำความเย็นตามเวลาในช่วงเวลา 30 นาที ที่เงื่อนไข COP_t (max), q_{tc} (max) และ T_c (min)

จะเห็นว่าหากต้องการ q_{tc} เพิ่มขึ้นและต้องการอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นที่ต่ำ จะต้องเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อสร้างความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและเย็น (ΔT_r) ให้เพิ่มขึ้นส่งผลให้ q_{th} มากกว่า q_{tc} แต่หากอุณหภูมิที่ด้านร้อนสูงเกินไปและไม่สามารถระบายความร้อนออกจากด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างเพียงพอก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนไปยังด้านเย็นส่งผลให้ด้านเย็นไม่สามารถรักษาอุณหภูมิในการทำความเย็นให้ต่ำได้ ถ้าต้องการได้อัตราการทำความเย็นของอากาศที่สูงเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก โดยที่ COP_r ยังมีค่าสูงแม้จะไม่สูงสุดก็ตามจะต้องเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในช่วง 43.3-58.8 W (~58-79%) ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการทดลองนี้ (74.1 W) และรักษาอัตราส่วน q_{tc}/q_{th} อยู่ที่ 0.5 จะได้ความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในช่วง 30.2-33.9 °C ดังรูปที่ 4.5 ทำให้สามารถเก็บรักษาอุณหภูมิอากาศ (เฉลี่ย) ในกล่องได้เท่ากับ 2.0 ± 0.5 °C ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งในกรณีที่ต้องการรักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 5 °C ในกล่องขนาด 17.5 L การใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีกำลังไฟฟ้าสูง (TEC1-12715) ให้ได้อัตราการทำความเย็นที่ดีควรใช้ระบบระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพและไม่จำเป็นต้องป้อนกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็สามารถเก็บรักษาความเย็นภายในกล่องให้มีค่าต่ำกว่า 5 °C ได้

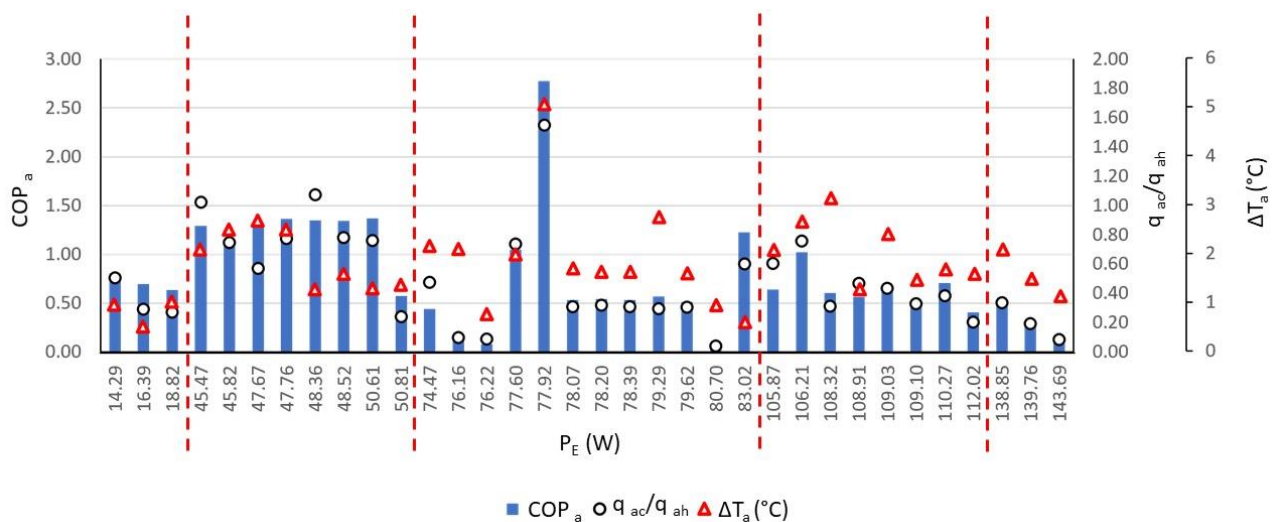
4.1.3 ผลการทดลองที่ได้จากวิธีการออกแบบการทดลอง (DOE)

จากการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) อัตราการทำความเย็นอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_r) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) ขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนและผลต่างอุณหภูมิด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกดังนี้

4.1.3.1 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.78 ที่กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ (P_E) เท่ากับ 77.92 W อัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 1.5 ($q_{ac}/q_{ah} > 1.0$) ซึ่งที่เงื่อนไขนี้ q_{ac} ที่ได้มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 216 W ที่ความแตกต่างอุณหภูมิของอากาศก่อนและหลังผ่านฮีทซิงค์ด้านเย็น (ΔT_a) เท่ากับ 5.2 °C ส่วนค่า COP_a ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.08 เมื่อป้อน P_E เท่ากับ 76.22 W อัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นอากาศที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.1 ($q_{ac}/q_{ah} < 1.0$) ซึ่งที่เงื่อนไขนี้ q_{ac} ที่ได้มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 6 W ส่งผลให้เกิด ΔT_a เท่ากับ 0.8 °C จากกราฟสังเกตได้ว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มตามช่วงที่ป้อนกำลังไฟฟ้ารวมให้ระบบ

ในช่วงต่ำๆ ไปจนถึงช่วงสูงๆ ตามเส้นประแนวตั้งในกราฟรูปที่ 4.8 โดยสามารถเฉลี่ยกำลังไฟฟ้ารวมที่ป้อนให้ระบบได้ดังนี้ 16.50, 48.13, 78.30, 108.72, และ 140.77 W จะสังเกตได้ว่าเงื่อนไขที่ทำให้ได้ COP_a ที่สูงที่สุดคือ กลุ่มที่ป้อนกำลังไฟฟ้ารวมเฉลี่ยในช่วงกลางๆ 78.30 W หรือประมาณ 55% ของกำลังไฟฟ้ารวมเฉลี่ยที่ป้อนให้ระบบ ซึ่งที่ค่า COP_a นี้ยังให้ค่า q_{ac} ที่สูงที่สุดอีกด้วย ทั้งนี้ได้ทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลองดังกล่าวจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวเป็นเงื่อนไขที่อัตราส่วน q_{ac}/q_{ah} สูงที่สุดเช่นกัน ($Re_c = 13,995$, $Re_h = 8,606$)



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ (P_E) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของอากาศ (COP_a) และอัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นต่ออัตราการระบายความร้อนของอากาศที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}/q_{ah}) และความแตกต่างอุณหภูมิของอากาศก่อนและหลังผ่านฮีทซิงค์ด้านเย็น (ΔT_a)

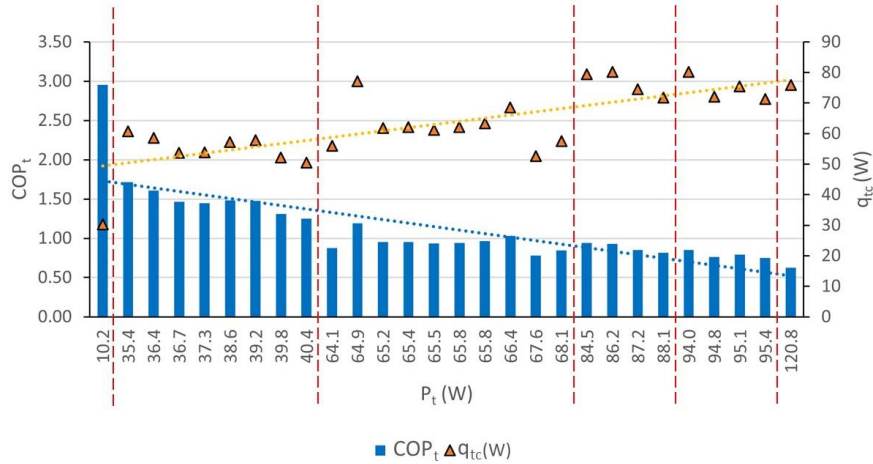
ดังนั้นเงื่อนไขจึงเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานจริง ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้ที่เงื่อนไขป้อนกำลังไฟฟ้ารวมเฉลี่ยในช่วงกลางๆ หรือประมาณ 55% ของกำลังไฟฟ้ารวมเฉลี่ยที่ป้อนให้ระบบทำให้ได้ค่า COP_a และ q_{ac} มีค่าสูงสุด เนื่องจากอัตราส่วน q_{ac}/q_{ah} ที่สูงทำให้ ΔT_a มีค่าสูงส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิอากาศหลังผ่านฮีทซิงค์มีค่าต่ำลงส่งผลให้ผลต่างเอนทัลปีที่ก่อนและหลังผ่านฮีทซิงค์ด้านเย็นมีค่าที่สูง (จากสมการที่ 2.6) ซึ่งจะทำให้ค่า q_{ac} และ COP_a มีค่าสูง จะเห็นได้ว่า P_E ที่สูงไม่ส่งผลกับค่า COP_a และค่า q_{ac} พร้อมกันสังเกตจากเงื่อนไขที่ป้อน P_E สูงสุดไม่ใช่เงื่อนไขที่ทำให้ได้ค่า COP_a และ q_{ac} มากที่สุด แต่เงื่อนไขที่ให้ค่า COP_a และ q_{ac} สูงสุดอยู่ที่ป้อน P_E เพียง 55% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ จิรายุสวัณ และคณะ, 2562 ดังนั้นปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อค่า COP_a และ q_{ac} ของอากาศคือ ผลต่างอุณหภูมิของอากาศเย็นก่อนและหลังผ่านฮีทซิงค์ ความชื้น

สัมพัทธ์ของอากาศเย็นและอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสม

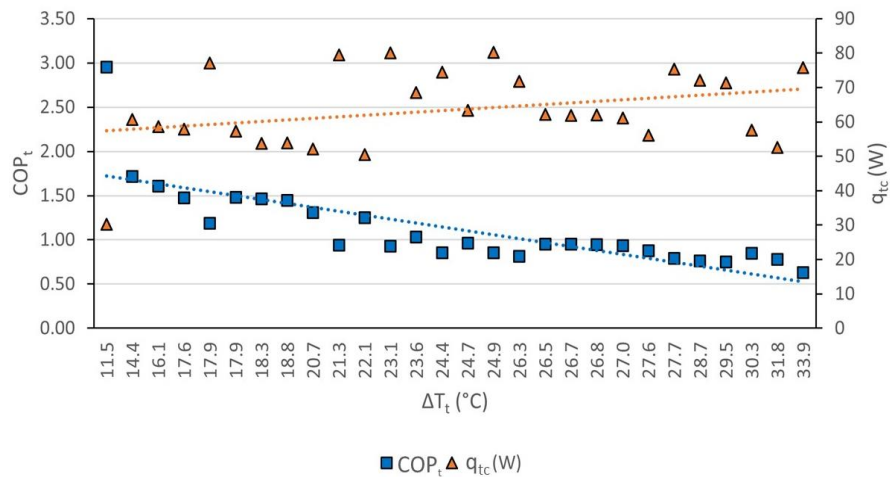
4.1.3.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_c) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc})

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_c) ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.95 ที่ผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_r) เท่ากับ 10.2 W อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) เท่ากับ 30.21 W ที่เงื่อนไขนี้ทำให้เกิดผลต่างอุณหภูมิผิวด้านร้อน-เย็นแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_r) เท่ากับ 11.5 °C ดังรูปที่ 4.10 ส่วนค่า COP_c ที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.63 ที่ P_r เท่ากับ 120.81 W q_{tc} เท่ากับ 75.83 ที่เงื่อนไขนี้ทำให้เกิด ΔT_r เท่ากับ 33.9 ดังรูปที่ 4.10 จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.9 จะสังเกตได้ว่าสามารถแบ่งกราฟออกได้เป็น 6 กลุ่ม คือในช่วงที่ P_r อยู่ในช่วงต่ำๆ ไปจนถึง P_r อยู่ในช่วงสูงๆ โดยสามารถเฉลี่ย P_r ได้ดังนี้ 10.2, 38.0, 65.9, 86.5, 94.8, และ 120.8 W สังเกตได้ว่าเงื่อนไขที่ทำให้ได้ COP_c ที่สูงคือ กลุ่มที่ P_r อยู่ในช่วงต่ำๆ แต่ที่เงื่อนไขไม่ใช่เงื่อนไขที่ได้ q_{tc} ที่สูง เนื่องจากอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าลดลงทำให้ความร้อนถ่ายเทจากด้านร้อนไปยังด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า COP_c ลดลง แต่ q_{tc} ที่สูงเกิดที่เงื่อนไขที่ P_r อยู่ในช่วงสูงๆ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ผลของ Cai et al., 2017, Kabeel et al., 2016 และเจริญพร, 2546 จากกราฟรูปที่ 4.9 ไม่สามารถเลือกเงื่อนไขที่ทำให้ได้ COP_c สูงที่สุดไปใช้งานได้เพราะจะได้ q_{tc} ที่ต่ำ ดังนั้นควรเลือกช่วง COP_c ที่มีค่าต่ำลงมาและ q_{tc} ก็ไม่ได้มีค่าต่ำเกินไป ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่น่าสนใจเพราะผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_r) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 65.9 W (55% ของผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสูงสุด) และที่เงื่อนไขนี้ทำให้เกิด ΔT_r ในช่วง 14.4-20.7 ดังรูปที่ 4.10 และจากผลการทดลองดังรูปที่ 4.10 ทำให้ทราบว่า ΔT_r มีค่าสูงขึ้นไม่ได้ทำให้ค่า COP_c มีค่าสูงตามไปด้วยแต่จะมีแนวโน้มลดลง ในทางตรงกันข้ามที่ ΔT_r มีค่าสูงจะทำให้ q_{tc} มีแนวโน้มที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) แต่ละหน่วย (Watt) ที่เพิ่มขึ้นต่อความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT_r) ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ องศาเซลเซียสค่อนข้างสูง ($q_{tc}/\Delta T_r > 1 \text{ W/}^\circ\text{C}$) ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่า COP_c มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อ ΔT_r เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากหากไม่สามารถระบายความร้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างเพียงพอจะส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนไปยังด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น ทำให้ผลต่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นที่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงขึ้นและจะทำให้ค่า COP_c มีค่า

ต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ผลการทดลองของ จิระประภา, 2557 และสาเหตุที่ทำให้ q_{tc} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ ΔT_t เพิ่มขึ้น เนื่องจาก q_{tc} ขึ้นอยู่กับค่า ΔT_t และ P_t ดังสมการ 2.2



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_t) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc})



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างอุณหภูมิของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน-เย็น (ΔT_t) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc})

4.1.4 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และ อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ด้วยระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM)

จากการศึกษาผลตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว ดังหัวข้อ 3.1.4 ประกอบด้วย อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Power Ratio, P_R) อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c) และอัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (Flow Area/Heat Transfer Area, A_R) ที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) โดยควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลองให้อยู่ในช่วง $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ หลังจากการวิเคราะห์ผลด้วยระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) จะต้องพิจารณานัยสำคัญของสัมประสิทธิ์ในสมการทำนายผลตอบสนองแต่ละพจน์ โดยตัดพจน์ที่มีนัยสำคัญน้อยบางพจน์ออกไป แต่ยังคงบางพจน์ไว้ได้เพื่อให้ค่า R^2 และ $R^2_{\text{Prediction}}$ ที่ดี ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่า p-value โดยถ้าค่า p-value มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าพจน์นั้นมีนัยสำคัญน้อยแต่ถ้าค่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าพจน์นั้นมีนัยสำคัญมาก หลังจากพิจารณาค่า p-value เสร็จสามารถสร้างสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว กับผลตอบสนองทั้งสองตัวดังสมการที่ 4.1 และสมการที่ 4.2 โดยสมการที่ 4.1 แสดงถึงผลตอบสนองของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.949 มีค่า R^2_{adjusted} เท่ากับ 0.918 และมีค่า $R^2_{\text{Prediction}}$ เท่ากับ 0.609 และสมการที่ 4.2 แสดงถึงผลตอบสนองของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.988 มีค่า R^2_{adjusted} เท่ากับ 0.974 และมีค่า $R^2_{\text{Prediction}}$ เท่ากับ 0.903 ค่า p-value ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) ดังตารางที่ 4.2 และค่า p-value ของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ดังตารางที่ 4.3 ตามลำดับ และได้ผลการทดลองที่เงื่อนไขต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.4

$$COP_a = b_0 + b_1 A_R^2 + b_2 P_R A_R^2 + b_3 A_R^3 + b_4 P_R^2 A_R + b_5 Re_c^3 + b_6 Re_c Re_h^2 + b_7 Re_h^2 + b_8 P_R Re_c Re_h + b_9 A_R Re_h + b_{10} A_R Re_c + b_{11} P_R^3 \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์และค่า p-value ของสมการทำนายสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a)

Term	Value	p-value
b ₀	0.622	2.29365×10 ⁻¹⁰
b ₁	1.418	5.82045×10 ⁻¹⁰
b ₂	-2.023	4.09295×10 ⁻⁷
b ₃	-0.865	3.48161×10 ⁻⁷
b ₄	1.512	1.81702×10 ⁻⁵
b ₅	0.520	0.00018
b ₆	-0.855	0.00034
b ₇	-0.453	0.00117
b ₈	0.735	0.03072
b ₉	0.337	0.04512
b ₁₀	0.308	0.06545
b ₁₁	-0.200	0.08792

หมายเหตุ: R²=0.949, R²_{adjusted}=0.918, R²_{Prediction}=0.609

$$q_{ac} = b_0 + b_1 A_R^2 + b_2 A_R^3 + b_3 A_R + b_4 \text{Re}_h^2 + b_5 \text{Re}_c^2 + b_6 \text{Re}_c^3 + b_7 \text{Re}_c \text{Re}_h^2 + b_8 A_R \text{Re}_h + b_9 A_R \text{Re}_c + b_{10} P_R \text{Re}_c \text{Re}_h + b_{11} P_R + b_{12} P_R \text{Re}_c + b_{13} P_R A_R + b_{14} \text{Re}_c^2 \text{Re}_h + b_{15} P_R \text{Re}_h^2 + b_{16} P_R^2 + b_{17} P_R A_R \text{Re}_c \quad (4.2)$$

โดยที่ b_1, b_2, \dots, b_n คือ สัมประสิทธิ์แต่ละเทอมในสมการ

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์และค่า p-value ของสมการทำนายอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})

Term	Value	p-value
b ₀	42.21	1.09910×10 ⁻⁹
b ₁	107.62	1.99627×10 ⁻¹²
b ₂	-102.84	5.49874×10 ⁻¹⁰
b ₃	33.60	2.35979×10 ⁻⁶

หมายเหตุ: R²=0.988, R²_{adjusted}=0.974, R²_{Prediction}=0.903

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์และค่า p-value ของสมการทำนายอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})

Term	Value	p-value
b_4	-32.20	1.14799×10^{-5}
b_5	17.63	0.00327
b_6	44.10	1.00627×10^{-7}
b_7	-85.11	1.39181×10^{-6}
b_8	27.10	0.00071
b_9	25.59	0.00113
b_{10}	48.68	0.00167
b_{11}	16.75	0.00013
b_{12}	-18.56	0.01038
b_{13}	-13.99	0.01971
b_{14}	-22.95	0.03271
b_{15}	-30.85	0.00308
b_{16}	-13.38	0.01350
b_{17}	23.72	0.07961

หมายเหตุ: $R^2=0.988$, $R^2_{adjusted}=0.974$, $R^2_{Prediction}=0.903$

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลแสดงผลของการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ที่เงื่อนไขต่างๆ

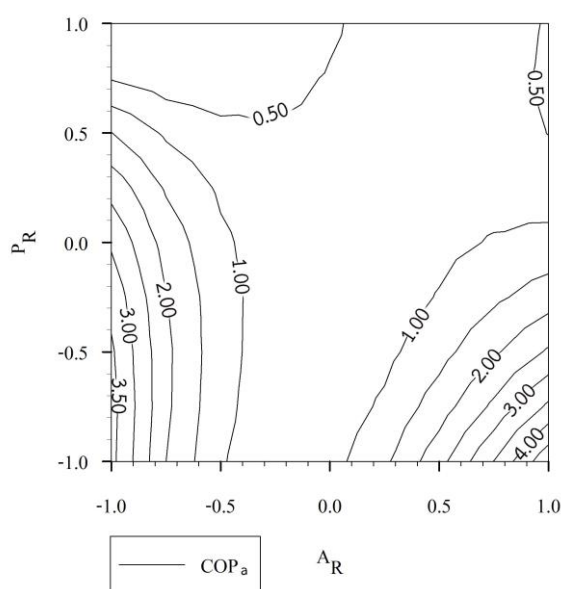
NO.	P_R	A_R	Re_c	Re_h	COP_a	q_{ac} (W)
1.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)	0.60	65
2.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	-1 (3,074)	0.08	6
3.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)	0.53	42
4.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)	0.57	29
5.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)	0.47	51
6.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)	1.35	65
7.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)	1.36	65

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ข้อมูลแสดงผลของการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ที่เงื่อนไขต่างๆ

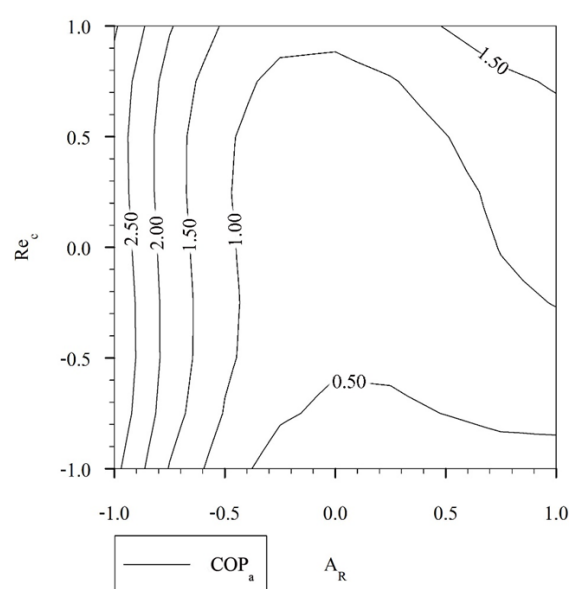
NO.	P_R	A_R	Re_c	Re_h	COP_a	q_{ac} (W)
8.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)	1.10	50
9.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)	1.29	59
10.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)	0.56	61
11.	0 (0.545)	1 (0.306)	0 (13,995)	0 (8,606)	1.05	81
12.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)	0.71	78
13.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)	0.54	43
14.	0 (0.545)	-1 (0.042)	0 (13,995)	0 (8,606)	2.78	216
15.	-1 (0.090)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)	0.70	11
16.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)	0.40	46
17.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)	0.53	42
18.	0 (0.545)	0 (0.174)	1 (25,613)	0 (8,606)	1.22	102
19.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)	1.34	65
20.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)	1.37	69
21.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)	0.64	68
22.	1 (1.000)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)	0.30	43
23.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)	1.02	109
24.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)	1.28	61
25.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)	0.51	41
26.	0 (0.545)	0 (0.174)	-1 (2,378)	0 (8,606)	0.18	13
27.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	1 (14,139)	0.09	7
28.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)	0.68	74

จากผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) พบว่าตัวแปรอิสระที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) จากมากไปน้อยคือ อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (Flow Area/Heat Transfer Area, A_R) อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Power Ratio, P_R) อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้าน

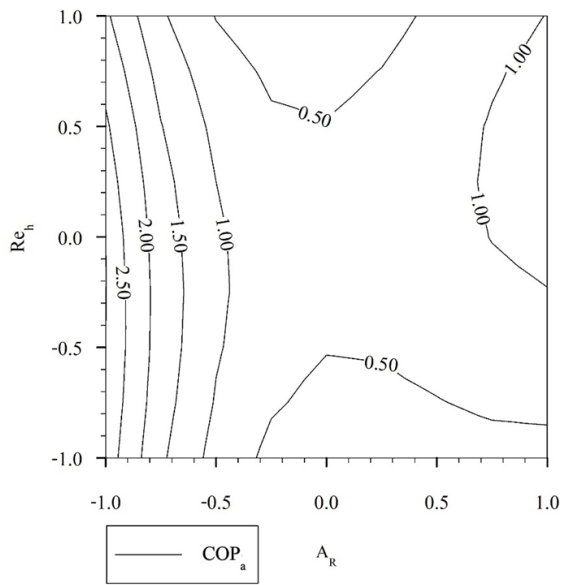
ร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c) ตามลำดับ โดยพิจารณาจากค่า p-value ในตารางที่ 4.2 และตัวแปรอิสระที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) จากมากไปน้อยคือ อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (Flow Area/Heat Transfer Area, A_R) อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c) และอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Power Ratio, P_R) ตามลำดับ โดยพิจารณาจากค่า p-value ในตารางที่ 4.3 นอกจากนี้สมการที่ 4.1 และสมการที่ 4.2 สามารถนำมาสร้างเป็นแผนภาพเส้นระดับ (Contour Plot) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) ดังรูปที่ 4.11a-รูปที่ 4.11f และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ดังรูปที่ 4.12a-รูปที่ 4.12f



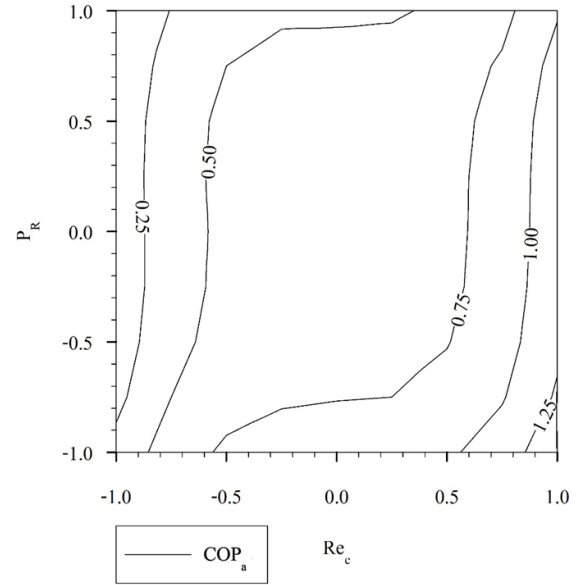
(a)



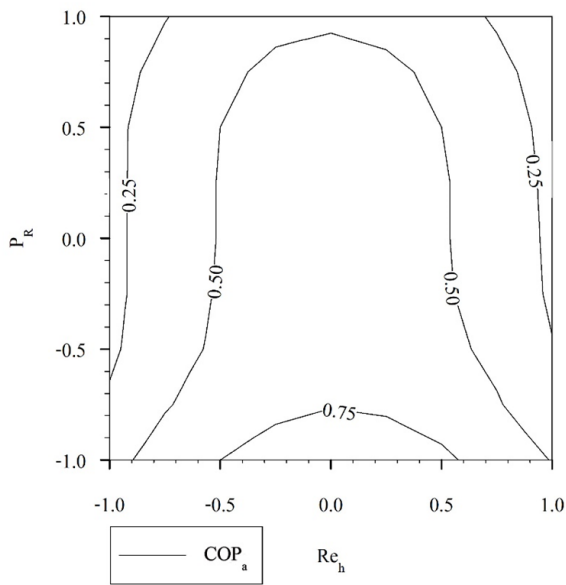
(b)



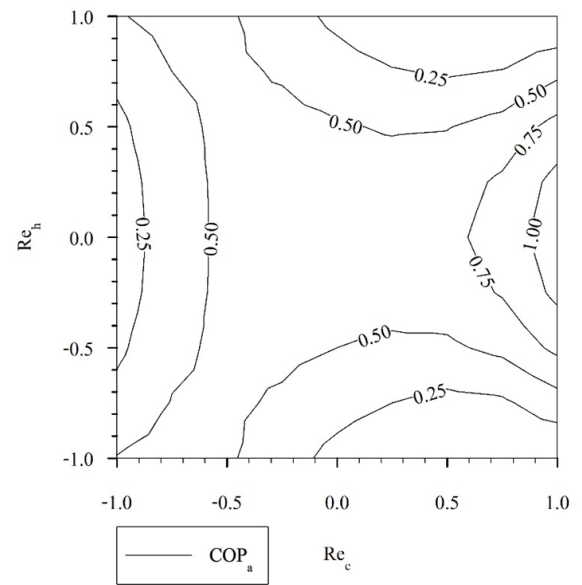
(c)



(d)



(e)



(f)

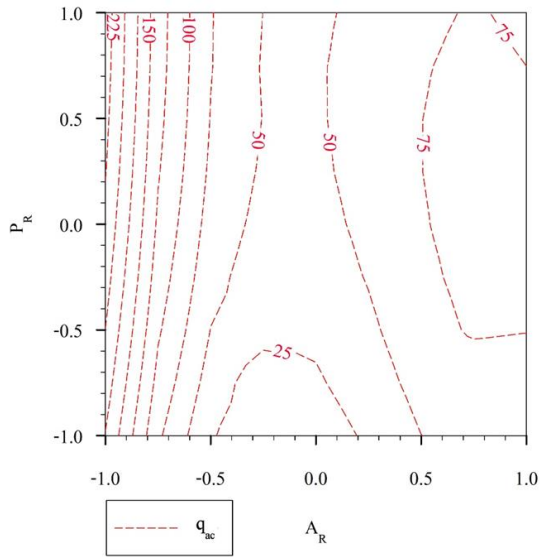
รูปที่ 4.11 กราฟเส้นระดับแสดงผลของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) ระหว่าง (a) P_R กับ A_R , (b) Re_c กับ A_R , (c) Re_h กับ A_R , (d) P_R กับ Re_c , (e) P_R กับ Re_h และ (f) Re_h กับ Re_c

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำ
ความเย็นอากาศ (COP_a) จากรูปที่ 4.11a-รูปที่ 4.11f

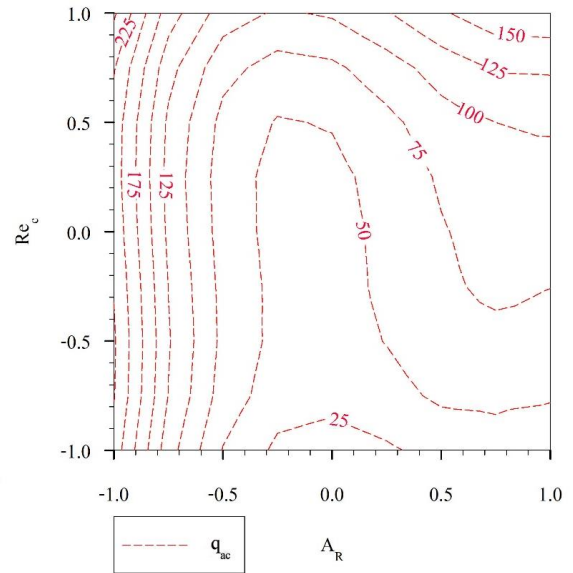
รูปที่ 4.11	Variables	Coded	COP_a (max)
(a)	P_R vs A_R	P_R (0.80-1.00), A_R ((-1.00)-(-0.80)) Re_c (0), Re_h (0)	4.00
(b)	Re_c vs A_R	Re_c ((-1.00)-1.00), A_R ((-1.00)-(-0.90)) P_R (0), Re_h (0)	2.50
(c)	Re_h vs A_R	Re_h ((-1.00)-0.60), A_R ((-1.00)-(-0.90)) P_R (0), Re_c (0)	2.50
(d)	P_R vs Re_c	P_R ((-1.00)-(-0.70)), Re_c (0.80-1.00) A_R (0), Re_h (0)	1.25
(e)	P_R vs Re_h	P_R ((-1.00)-(-0.80)), Re_h ((-0.50)-0.60) A_R (0), Re_c (0)	0.75
(f)	Re_h vs Re_c	Re_h ((-0.30)-0.30), Re_c (0.90-1.00) P_R (0), A_R (0)	1.00

จากรูปที่ 4.11a-รูปที่ 4.11f สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่า A_R อยู่ในช่วง (0.042-0.068) P_R อยู่ในช่วง (0.909-1.000) Re_h อยู่ในช่วง (8,606) และ Re_c อยู่ในช่วง

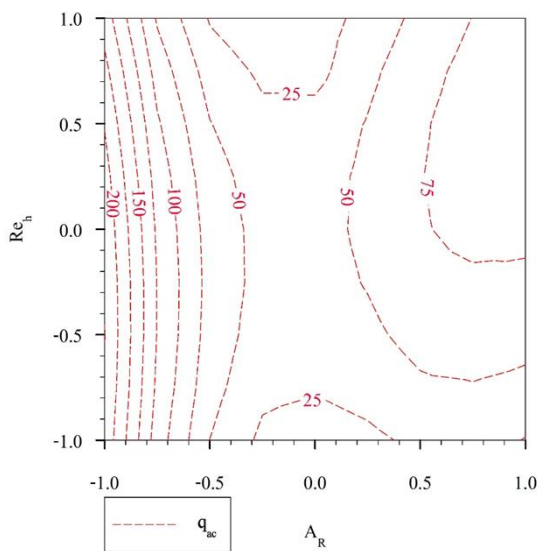
(13,995) ส่งผลทำให้ค่า COP_a มีค่าที่สูง จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่า P_R และ A_R เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อ COP_a อย่างมีนัยสำคัญมากกว่า Re_c และ Re_h



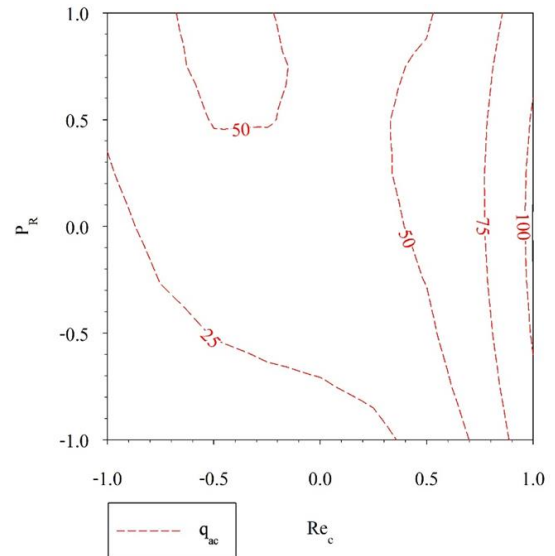
(a)



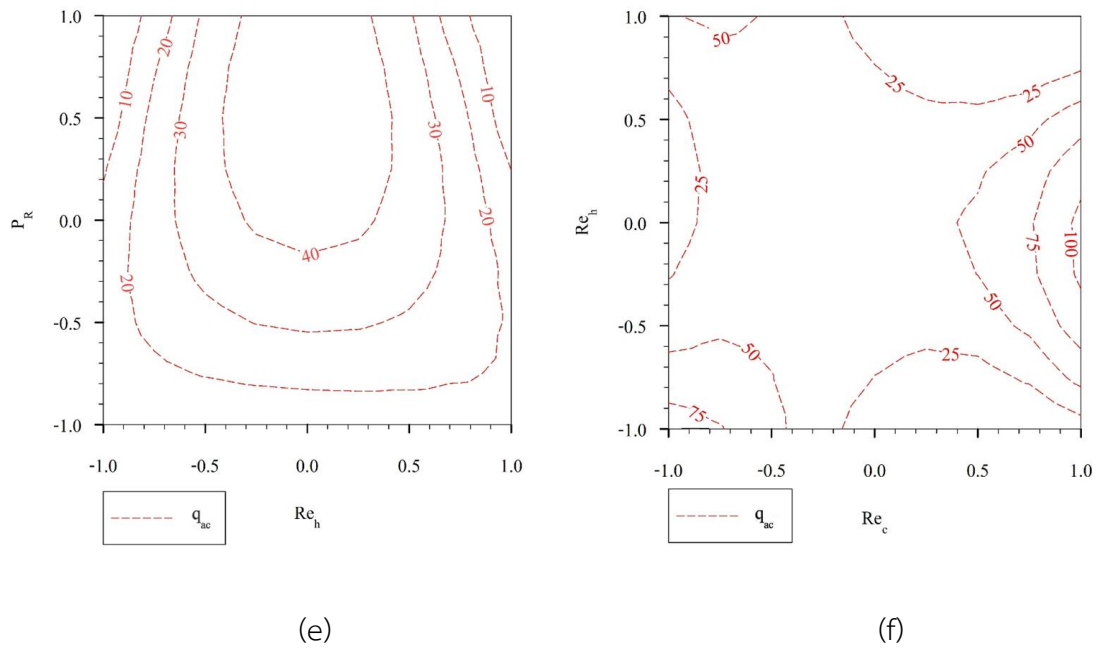
(b)



(c)



(d)



รูปที่ 4.12 กราฟเส้นระดับแสดงผลของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ระหว่าง (a) P_R กับ A_R , (b) Re_c กับ A_R , (c) Re_h กับ A_R , (d) P_R กับ Re_c , (e) P_R กับ Re_h และ (f) Re_h กับ Re_c

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการวิเคราะห์อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) จากรูปที่ 4.12a-รูปที่ 4.12f

รูปที่ 4.12	Variables	Coded	q_{ac} (max) (W)
(a)	P_R vs A_R	P_R (0.20-1.00), A_R ((-1.00)-(-0.95)) Re_c (0), Re_h (0)	225
(b)	Re_c vs A_R	Re_c (0.70-1.00), A_R ((-1.00)-(-0.90)) P_R (0), Re_h (0)	225
(c)	Re_h vs A_R	Re_h ((-1.00)-0.40), A_R ((-1.00)-(-0.95)) P_R (0), Re_c (0)	200

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) สรุปผลการวิเคราะห์อัตราการทำความเย็นของอากาศที่
ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) จากรูปที่ 4.12a-
รูปที่ 4.12f

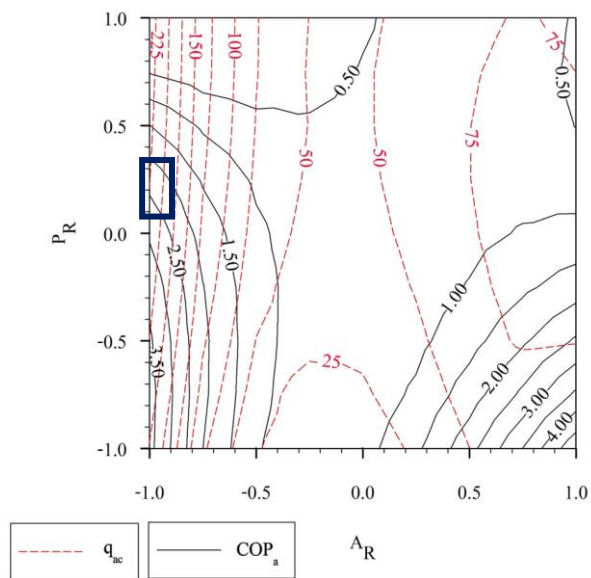
รูปที่ 4.12	Variables	Coded	$q_{ac (max)}$ (W)
(d)	P_R vs Re_c	P_R ((-0.60)-0.60), Re_c (0.95-1.00) A_R (0), Re_h (0)	100
(e)	P_R vs Re_h	P_R ((-0.2)-1.00), Re_h ((-0.40)-0.40) P_R ((-0.2)-1.00), Re_h ((-0.40)-0.40) A_R (0), Re_c (0)	40
(f)	Re_h vs Re_c	Re_h ((-0.30)-0.10), Re_c (0.95-1.00) P_R (0), A_R (0)	100

จากรูปที่ 4.12a-รูปที่ 4.12f สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่า A_R อยู่ในช่วง (0.042-0.049) P_R อยู่ในช่วง (0.636-1.000) Re_h อยู่ในช่วง (8,606) และ Re_c อยู่ในช่วง (13,995) และ A_R อยู่ในช่วง (0.042-0.055) P_R อยู่ในช่วง (0.0545) Re_h อยู่ในช่วง (8,606) และ Re_c อยู่ในช่วง (22,128-25,676) ส่งผลทำให้ค่า q_{ac} มีค่าที่สูง จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ q_{ac} นอกจาก P_R และ A_R แล้ว Re_c ก็มีผลต่อ q_{ac} เช่นกัน

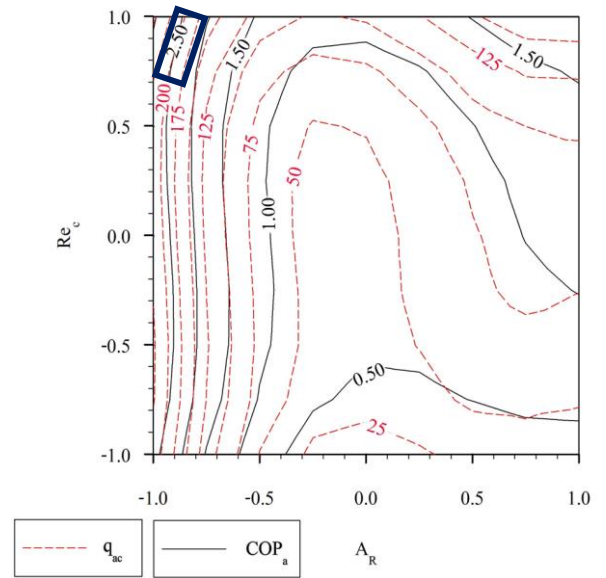
4.2 ผลการหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการทำอากาศเย็น

จากการศึกษาพฤติกรรมของตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว ได้แก่ อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (Flow Area/Heat Transfer Area, A_R) อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Power Ratio, P_R) อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c) ที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็ก-

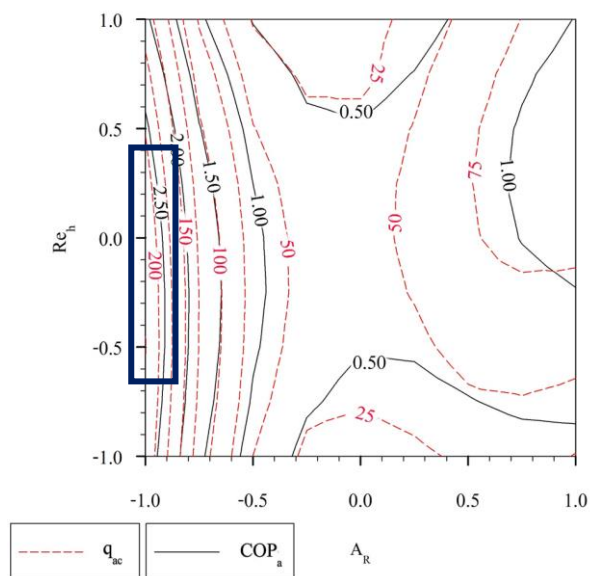
ทริก (q_{ac}) ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น หลังจากนั้นได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำอากาศเย็น โดยทำการซ้อนกราฟเส้นระดับ (Contour Plot) ของตัวแปรอิสระต่อผลของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำอากาศเย็น (COP_a) และผลของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ดังรูปที่ 4.13a-รูปที่ 4.13f



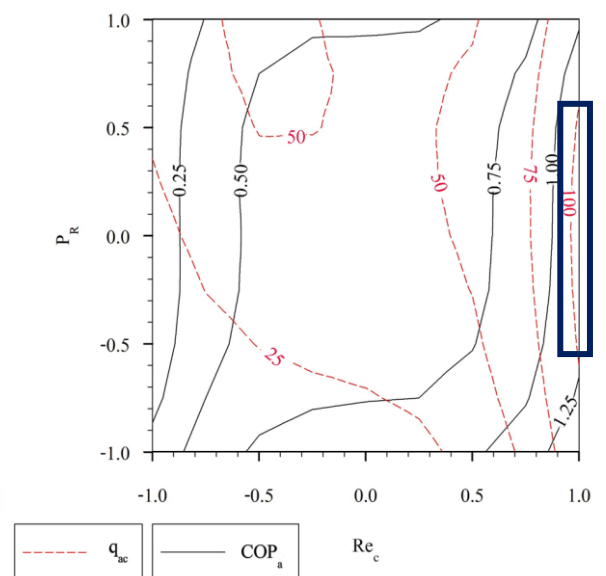
(a)



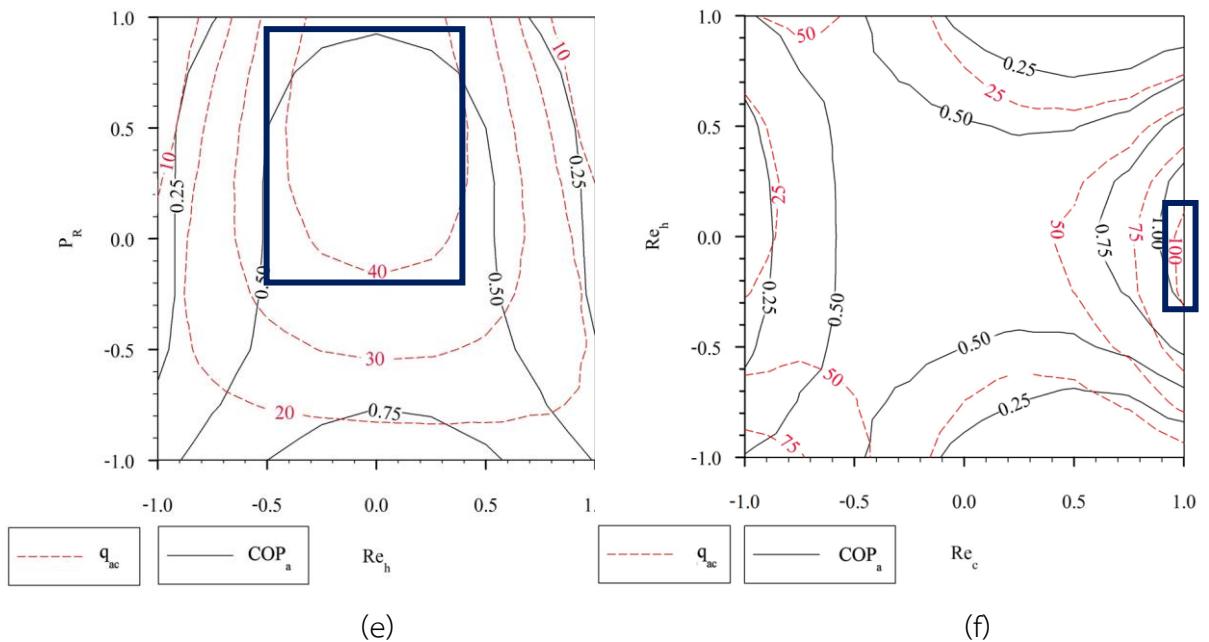
(b)



(c)



(d)



รูปที่ 4.13 กราฟเส้นระดับแสดงผลของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และ อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ระหว่าง (a) P_R กับ A_R, (b) Re_c กับ A_R, (c) Re_h กับ A_R, (d) P_R กับ Re_c, (e) P_R กับ Re_h และ (f) Re_h กับ Re_c

จากผลของการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำอากาศเย็นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) มีค่าเท่ากับ 3.5 อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) มีค่าเท่ากับ 225 W ดังรูปที่ 4.13a โดยเกิดขึ้นที่เงื่อนไข A_R ในช่วง (-1.00) - (-0.90) และ P_R ในช่วง (0.10) - (0.30) ในขณะที่ Re_h และ Re_c อยู่ที่ค่ากลาง (0) เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำอากาศเย็น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองดังรูปที่ 4.8 ที่กำลังไฟฟ้า 77.92 W อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์เท่ากับ -1 (80×80×30 mm³ (M2)) อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อนและด้านเย็น 8,606 และ 13,995 ตามลำดับ ทำให้เกิดสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 2.78 อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) มีค่าเท่ากับ 216.44 W โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำอากาศเย็นเกิดขึ้นที่เงื่อนไขที่ A_R มีค่าต่ำ (ฮีทซิงค์ขนาด (80×80×30 mm³ (M2)) P_R, Re_c และ Re_h มีค่าอยู่ในช่วงกลาง เนื่องจากมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์เพิ่มขึ้นเทียบกับไม่มีฮีทซิงค์หรือเทียบกับฮีทซิงค์ที่ A_R มากสุดทำให้ความดันตกคร่อมระหว่างฮีทซิงค์เพิ่มขึ้น (จากการวัดค่า ΔP=2.5 cmH₂O ที่ Re_c=13,995) ส่งผลให้ค่า

ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านท่ออากาศด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (u_f) มีค่าเพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนส่งผลให้ q_{ac} มีค่าสูงขึ้น (สมการที่ 2.6) ตามไปด้วย ซึ่งความดันตกคร่อมก่อน-หลังผ่านฮีทซิงค์ที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำกว่าฮีทซิงค์ที่พื้นที่ถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า ซึ่งมีอัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (A_R) มีค่าสูง (ฮีทซิงค์ขนาด $40 \times 40 \times 30 \text{ mm}^3$) (จากการวัดค่า $\Delta P = 0.7 \text{ cmH}_2\text{O}$) โดยค่า P_R จะต้องมีค่าอยู่ในช่วงกลางในขณะที่ A_R อยู่ในช่วงที่ต่ำ Re_c และ Re_h อยู่ในช่วงกลาง เนื่องจากถ้าป้อนกำลังไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสูงเกินไปจะทำให้ไม่สามารถระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้ทัน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนมายังด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ส่งผลให้ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกน้อยเกินไปก็จะส่งผลให้อุณหภูมิด้านเย็นไม่ต่ำพอ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีผลต่อการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก จากกราฟพฤติกรรมของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกใน Datasheet TEC1-12715 มีรายละเอียดดังภาคผนวก และสมการคำนวณอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) (สมการที่ 2.2) ส่วน Re_c ก็ควรมีค่าอยู่ในช่วงกลางในขณะที่ A_R อยู่ในช่วงต่ำ P_R และ Re_h อยู่ในช่วงกลาง เนื่องจากถ้าค่า Re_c มีค่าสูงจะทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิอากาศก่อน-หลังผ่านฮีทซิงค์มีค่าต่ำซึ่งเป็นผลจากระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนจากอากาศที่ไหลผ่านฮีทซิงค์แต่ละหน่วยปริมาตรการไหลใช้เวลานั้นลง ซึ่งจะส่งผลมากในระบบทำความเย็นแบบเปิดซึ่งไม่ได้มีการหมุนเวียนอากาศเย็นกลับมาในระบบดังชุดทดลองที่ใช้ในการศึกษาทดลองนี้ ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า Re_c ต่ำเกินไป นั่นคือค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (m_d) มีค่าต่ำส่งผลให้ค่า COP_a และ q_{ac} มีค่าลดลงตามไปด้วย ส่วน Re_h ควรมีค่าอยู่ในช่วงกลางในขณะที่ A_R อยู่ในช่วงต่ำ P_R และ Re_c อยู่ในช่วงกลาง เนื่องจากถ้าค่า Re_h มีค่าสูงไม่ได้ทำให้ค่า COP_a และ q_{ac} มีค่าที่สูงตามไปด้วยดังรูปที่ 4.13c แต่จะทำให้การป้อนกำลังไฟฟารวมที่ป้อนให้อุปกรณ์ในระบบมีค่าเพิ่มเล็กน้อยซึ่งไม่ได้ส่งผลทำให้ค่า COP_a และ q_{ac} ลดลงถ้าค่า Re_h มีค่าต่ำเกินไป จะทำให้ความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกถ่ายเทไปที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่า COP_a และ q_{ac} มีค่าลดลงเช่นกัน

4.3 ผลวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของอุปกรณ์การวัด

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) สัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_t) อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) และอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{th}) จะต้องมีการวัดค่าตัวแปรต่างๆมาใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งเครื่องมือวัดแต่ละเครื่องมือมีความไม่แน่นอนในการวัด ดังนั้นจึงต้องมี

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัดเพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) จากการตรวจวัดที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.10-3.18 มีค่าความไม่แน่นอนสัมพัทธ์ของ COP_a เท่ากับ 8.97% ของ q_{ac} มีค่าเท่ากับ 8.14% ของ COP_t มีค่าเท่ากับ 6.77% และของ q_{tc} มีค่าเท่ากับ 2.92%

ตารางที่ 4.7 ตารางความไม่แน่นอนของเครื่องมือที่ใช้วัดในการทดลอง

No.	Value	Symbol	Instrument	Uncertainty	Resolution
1.	Temperature s1, s2 (Cool)	T_{ac}	Sensor DS18B20	± 0.5 °C	-
2.	Temperature s3 (Hot)	T_{ah}	Sensor DS18B20	± 0.5 °C	-
3.	Temperature of Thermoelectric (Cool)	T_{tc}	NTC Thermistor Sensor	$\pm 1\%$ °C	-
4.	Temperature of Thermoelectric (Hot)	T_{th}	NTC Thermistor Sensor	$\pm 1\%$ °C	-
5.	DC Current (Fan)	I	Fluke-83-iii	$\pm(0.4\%+4)$	1mA
6.	DC Voltage (Fan)	V	UT890C	$\pm(0.7\%+3)$	0.01v
7.	DC Current (TEC)	I	Dual Display Digital Volt-Amp Meter	$\pm 1\%$	-
8.	DC Voltage (TEC)	V	Dual Display Digital Volt-Amp Meter Digital	$\pm 0.1\%$	-
9.	Humidity	%	Hygrometer Temp & Humidity	$\pm 5\%$	-

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ตารางความไม่แน่นอนของเครื่องมือที่ใช้วัดในการทดลอง

No.	Value	Symbol	Instrument	Uncertainty	Resolution
10.	Air Velocity	u_i	Anemometer	$\pm[5\%+1 \text{ m/s}]$	0.1 m/s
11.	Flow Rate	A	Ruler 30 cm	$\pm 0.5 \text{ mm}$	-

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำงานของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง (RSM) โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามี 4 ปัจจัยได้แก่ อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c) อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีตซิงค์ด้านเย็น (A_R) กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปแบบของอัตราส่วนกำลังไฟฟ้า (P_R) สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})

จากผลการทดลองการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) โดยการปรับอัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีตซิงค์ด้านเย็น (A_R) ให้มีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0.042-0.306 ปรับอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_R) ระหว่างช่วง 0.09-1.00 อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) ระหว่าง 3,081-14,174 และด้านเย็น (Re_c) ระหว่าง 2,384-25,676 พบว่าที่อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีตซิงค์ด้านเย็น (A_R) เท่ากับ 0.042 ($80 \times 80 \text{ mm}^2$ (M2)) อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_R) เท่ากับ 0.545 (74 W) อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) เท่ากับ 8,606 อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านเย็น (Re_c) เท่ากับ 13,995 ทำให้เกิดสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) มีค่าสูงสุด (2.78) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) มีค่าสูงสุด (216 W)

5.1.2 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนอง (RSM)

สำหรับเงื่อนไขที่เหมาะสมของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ระเบียบวิธีผิวตอบสนองเข้ามาช่วยวิเคราะห์ พบว่าอัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีตซิงค์ด้านเย็น (A_R) ต้องอยู่ในช่วงต่ำ 0.042-0.055 อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_R) ต้องอยู่ในช่วงกลาง 0.590-0.681 อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) ต้องอยู่ในช่วงกลาง 8,606 และอัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านเย็น (Re_c) ต้องอยู่ในช่วงกลาง 13,995 จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ที่สูง ที่เงื่อนไขนี้เหมาะสำหรับนำเอาเทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้งานแม้ว่าจะไม่ใช่เงื่อนไขที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ที่สูงที่สุดเนื่องจากที่เงื่อนไขที่ทำให้ค่า COP_a สูงสุดจะไม่ทำให้ค่า q_{ac} สูงสุดแต่ในการใช้งานจริงจะต้องประเมินความเหมาะสมของตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัวแปร ได้แก่ อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีตซิงค์ด้านเย็น (A_R) อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_R) อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_h) และด้านเย็น (Re_c) โดยเลือกเงื่อนไขที่ตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัวแปร ทำให้ค่า COP_a สูงและในขณะเดียวกันค่า q_{ac} ไม่ได้ต่ำจนเกินไป เงื่อนไขนี้จึงเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้งานจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 การเพิ่มขนาดฮีตซิงค์ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (A_R ต่ำกว่าที่ทดลอง) เพื่อให้ช่วงการทดลองกว้างขึ้น
- 5.2.2 การเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เสถียรสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าให้คงที่แม่นยำได้ตลอดการทดลองจะช่วยลดค่าความไม่แน่นอนจากการวัดได้
- 5.2.3 การศึกษาปรับขนาดฮีตซิงค์ด้านเย็นโดยคง Solid Volume ให้คงที่เพื่อลดผลกระทบของมวลความร้อนที่แตกต่างกันของฮีตซิงค์และเปรียบเทียบผลการทดลองกับการปรับขนาดฮีตซิงค์ตามอัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีตซิงค์ด้านเย็น (A_R)
- 5.2.4 การศึกษาระบบทำอากาศเย็นที่มีการหมุนเวียนอากาศเย็นและมีภาระความร้อนในสภาพแวดล้อมจริงโดยนำผลการศึกษาวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อจะทำให้การประยุกต์ใช้ TEC ในการปรับอากาศเป็นรูปธรรมมากขึ้น

บรรณานุกรม

- Ahammed, N., Asirvatham, L.G., Wongwises, S. (2016). Thermoelectric cooling of electronic devices with nanofluid in multiport minichannel heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 74, 81-90.
- Anwar, K., & Anggara, M. B. (2016). Experimental study of thermoelectric refrigerator performances: effect of air flow rate at the cold side heat sink. *Proceeding of The 3rd International Symposium on Smart Material and Mechatronics* (pp. 127-133). Gowa: Tadulako University.
- Balayanan, S. R. R., Velmurugan, V., Sudhakaran, R., & Moorthy, N. S. (2011). Optimization of thermal performance of water to air thermosyphon solar heat pipe heat exchanger using response surface methodology. *European Journal of Scientific Research*, 59(4), 451-459.
- Benke, M. R., Tanna, M., Kale, S., Shah, S., & Maral, D. (2020). Design of compact air cooling system using thermoelectric module (Peltier Element). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(6), 2596-2600.
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escalera, L. A. (2008). Response Surface Methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965-977.
- Cai, Y., Liu, D., Yang, J.-J., Wang, Y., & Zhao, F.-Y. (2017). Optimization of thermoelectric cooling system for application in CPU cooler. *Energy Procedia* (pp. 1644-1650). Qingdao: University of Petroleum.
- Gołębniowska, J., Żelazna, A., & Suchorab, Z. (2019). Thermoelectric cooling and heating system of increased efficiency. *AIP Conference Proceedings* (pp. 1-5). Banska Bystrica: Slovakia.
- Makadia, J., Meghpara, N., & Pandya, S. (2019). Enhancement in the COP of thermoelectric cooler used for cooling of small electronic circuits. *Journal of Refrigeration, Air Conditioning, Heating and Ventilation*, 6(3), 20-23.

- Joon Hoong, L., Cheow Keat, Y., Chik, A., Pei Leng, T. (2016). Optimization parameter for thermoelectric properties of ZnO using response surface methodology. *Malaysian Journal of Analytical Science*, 20(5), 1001–1010.
- Kabeel, A. E., Mousa, M. G., Abdelaziz, M. M., Sathyamurthy, R., & Abdelgaied, M. (2020). Performance of the novel design thermoelectric cooling system. *Heat Transfer*, 49(8), 4134–4152.
- Meris, P. R. V., Bregonia, J. B., Cabago, A. J., Dela Cruz, J. C., Hanopol, G. L., Hufalar, J. K. N., Moredo, J. R. R., & Manuel, M. C. E. (2020). Design, fabrication and testing of portable thermoelectric refrigerator with arduino-based temperature controller for prevnar 13 vaccine. *IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*, 306–311.
- Montoro, S. R., de Fatima Medeiros, S., Martins dos Santos, A., Borges Silva, M., and Luiza Tebaldi, M. (2013). Application of 2K Experimental Design and Response Surface Methodology in the Optimization of the Molar Mass Reduction of Poly (3-Hydroxybutyrate-co-3-Hydroxyvalerate) (PHBHV). *Design of Experiments - Applications*, 1-21.
- Patel, U., Panchal, N., Modi, S., Bhasker, P., & Parikh, K. (2019). Fabrication and analysis of thermoelectric cooling system. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 6(4), 332-336.
- Patel, V., Patel, R., & Patel, J. (2020). Theoretical and experimental investigation of bubble column humidification and thermoelectric cooler dehumidification water desalination system. *International Journal of Energy Research*, 44(2), 890–901.
- Kumar Pathak, P., Boriwal, L., & Singh, A. (2017). Performance Analysis of Water Cooled Thermoelectric Module TEC- 12715. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6(4), 257-261.
- Sujith, G., Varghese, A., Achankunju, A., Mathew, R., George, R., & Vishnu V. (2016). Design and Fabrication of Thermoelectric Refrigerator with Thermosiphon System. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)*, 2(4), 373-379.

- Thorat, S. (2017). Types of Cooling fins, Fin efficiency, Applications, Advantages. [Online]. Available from : <https://learnmech.com/types-of-fins-heat-transfer-equation/>. (cited 28 October 2021).
- Qader, B. S., Supeni, E. E., Ariffin, M. K. A., & Talib, A. R. A. (2019). RSM approach for modeling and optimization of designing parameters for inclined fins of solar air heater. *Renewable Energy*, 136, 48–68.
- Venkatesan, K., & Venkataramanan, M. (2020). Experimental and Simulation Studies on Thermoelectric Cooler: A Performance Study Approach. *International Journal of Thermophysics*, 41(4), 1-23.
- Wang, X., Chen, M., & Tate, D. (2018). Multi-factors Optimization Design of Pin-Fin Structure Using Response Surface Method. *Advances in Engineering Research*, 166, 731-736.
- Zhu, L., Tan, H., & Yu, J. (2013). Analysis on optimal heat exchanger size of thermoelectric cooler for electronic cooling applications. *Energy Conversion and Management*, 76, 685–690.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2553). ระบบทำความเย็น. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_15.pdf (สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2564).
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2553). ระบบปรับอากาศ. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_14.pdf (สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2564).
- กาญจนา จันทร์ประเสริฐ. (2561). การพัฒนาตู้เย็นทำความเย็นวัคซีนแบบพกพาโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล. เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ สมุทรปราการ: 6 มิถุนายน พ.ศ. 2561.
- กิตติ นิลผึ้ง. (2558). กล้องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกขับเคลื่อนโดยเซลล์แสงอาทิตย์. เอกสารการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี: 4-6 พฤศจิกายน 2558.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). สถานการณ์พลังงาน. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ https://www.dede.go.th/download/stat62/fontpagesit2_jun_2020.pdf (สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2563).

- กฤษกร พงศ์รักธรรม. (2563). การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ท่อผสมแบบสถิตกลายรูปแบบ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จรัล ทรัพย์เสรี. (2552). DOE Central Composite Design. QM for Quality Management. Nov. 2552, 72-74.
- จิระประภา กิมสุนทร. (2556). การศึกษาการทำงานของระบบทำความเย็นโดยระบบปรับอากาศแบบระเหยของน้ำ. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณปีที่ 16, 1, 25-33.
- จิระประภา กิมสุนทร. (2557). การออกแบบจำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกและขนาดของแหล่งระบายความร้อนเพื่อให้ทำงานร่วมกันอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด. วารสารวิจัยราชภัฏพระนครปีที่ 9, 2, 59-78.
- จิระพงศ์ กสิวิทย์อำนวย. (2556). การวิเคราะห์ความผิดพลาดเบื้องต้นการศึกษาค่าความไม่แน่นอนในการวัดทางกายภาพ. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิระวัฒน์ แดงไทย. (2553). การลดของเสียที่เกิดจากโพรงอากาศในกระบวนการขึ้นรูปไมโครชิป. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิรายุสวัฒน์ ประสม, สิทธิโชค สืบแต่ตระกูล, และ ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์. (2562). การศึกษาคูณลักษณะของการทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก. เอกสารการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33, โรงแรมเซ็นทาราแอนด์คอนเวนชันเซ็นเตอร์ อุตรธานี: 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562.
- เจริญพร เลิศสถิตธนกร. (2546). การศึกษาเชิงทดลองตู้ทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยนเรศวร ปีที่ 11, 2, 1-9.
- ชยาภรณ์ พร้อมมูล. (2557). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทผิดไม่เต็มแบบในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กรณีศึกษา : โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชวัลณัฐ์ เจริญเชษฐมณีสุข. (2561). Performance of Air conditioning system. (ออนไลน์)
เข้าถึงได้ที่
https://www.eg.mahidol.ac.th/dept/egme/wpcontent/uploads/PDF_Documents/Staff/Chawannat%20J/EGME371/EGME371_Performance%20of%200AC%20system.pdf (สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2564).

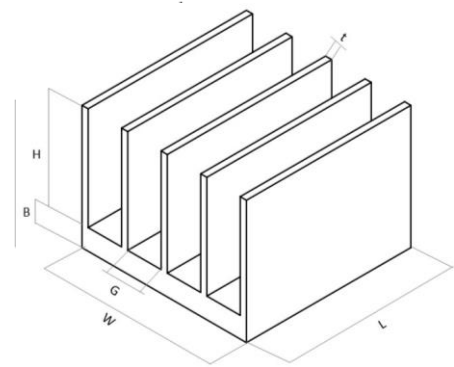
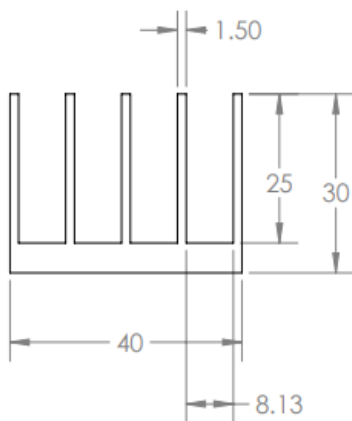
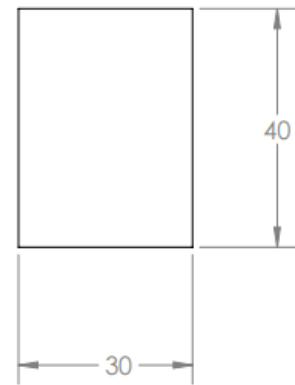
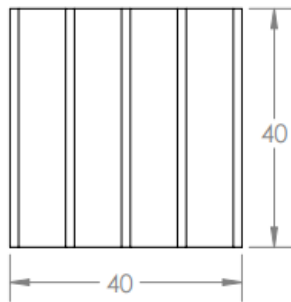
- ชุตติชัย หอมมาลี, สงกรานต์ วิริยะศาสตร์, และ ไพศาล นาผล. (2562). การศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในฮีทซิงค์สำหรับชุดโมดูลการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 14, 2, 48-60.
- ชาติรี อินทรพิ้ว. (2560). อุปกรณ์ทำความเย็นแก่ร่างกายเฉพาะจุดบริเวณหลังด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการนวัตกรรมเพื่อธุรกิจและอุตสาหกรรม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ถิรายุ ปิ่นทอง. (2558). การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 20, 2, 150-163.
- ธีรเดช ภัทรวโรดม. (2552). กระจกเก็บวักซ์ขนาดเล็กโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นิตยา आयูยีน, ศิริनुช จินดารักษ์ และ สมชาย มณีวรรณ. (2548). การศึกษาผลกระทบทิศทางการไหลของอากาศของระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก. เอกสารการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ: 1-4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548.
- บุญชัย อารยสนองกุล. (2550). การเพิ่มประสิทธิผลของเครื่องปั๊มแม่เหล็กด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ปรัชญา พนมอุปถัมภ์. (2559). การพัฒนาระบบลดความชื้นด้วยชุดทำความเย็นที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บุญยภัทร ภูมิภาค. (2560). เทอร์โมอิเล็กทริก. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <https://sites.google.com/site/powermut/phost-him/thexrmoxilekthrik> (สืบค้นเมื่อ 9 กรกฎาคม 2563).
- ยุทธนา เทพจันทร์. (2555). การเพิ่มสมรรถนะการทำความเย็นของระบบปรับอากาศรถยนต์โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- วริษฐา รัศมี. (2557). ประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นผ้าเย็บที่ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวทำความเย็น. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิฑูรย์ ทรัพย์แสนพรหม, มลฤดี บุญยะศรี และ เจริญพร เลิศสถิตธนกร. (2562). การศึกษาเครื่องปรับอากาศแบบพัดลมไอเย็นโดยใช้ชุดทำน้ำเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก. เอกสารการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33, โรงแรมเซ็นทาราแอนด์คอนเวนชันเซ็นเตอร์ อุตรธานี: 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562.
- วีรยา สัจจวาที. (2560). การศึกษาสมรรถนะระบบการผลิตไฟฟ้าและความเย็นร่วมเทอร์โมอิเล็กทริก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศักดิ์รินทร์ ธรรมบัวชา. (2559). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบลดความชื้นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เคลือบด้วยซิลิกาเจล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศาสตรา เพาะชนะ. (2561). การพัฒนากระเป๋าบรรจุเวชภัณฑ์ยาที่ทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีคุณภาพ, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สงกรานต์ วิริยะศาสตร์. (2551). การถ่ายเทความร้อนโดยใช้ของเหลวของชุดระบายความร้อนที่มีครีบนขนาดเล็กที่มีและไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับซีพียูของคอมพิวเตอร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน). (2561). เทอร์โมอิเล็กทริก Thermoelectric (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <https://www.slri.or.th/th/slriresearch/thermoelectrics.html> (สืบค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2563).
- สถาพร หมั่นสิน. (2557). การเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแผ่นความร้อนเครื่องอบชิ้นงานพรมในรถยนต์, สาขาการจัดการงานวิศวกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สยมภู ภู่วงษ์. (2547). การพัฒนาตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุนิรัตน์ พุกตะ. (2562). แนวโน้มพลังงานแห่งอนาคต (Future Energy Trend). (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <https://www.greennetworkthailand.com> (สืบค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2563).

- อชนิษฐ เครืออนันต์. (2562). การทดลองสภาวะการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกส์ทำความเย็น เพื่อรักษาอุณหภูมิวัคซีนยา. วารสารการอาชีวศึกษาภาคกลาง สถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 1-5 ปีที่ 2, 1, 17-24.
- อนุสรณ์ สุขเกษม. (2550). การศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยการพาของครีบน้ำแข็งในถังทรงกระบอก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- อาภาภรณ์ จันทร์ปรีกษ์, พัชราภรณ์ ดำนิล, และ อมรรัตน์ หงษ์ผั่ว. (2561). ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกาแฟ (โรบัสต้า/อะราบิก้า) ด้วยเอกเซนโดยใช้วิธีวิทยาพื้นผิวตอบสนอง. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 4, 799-811.

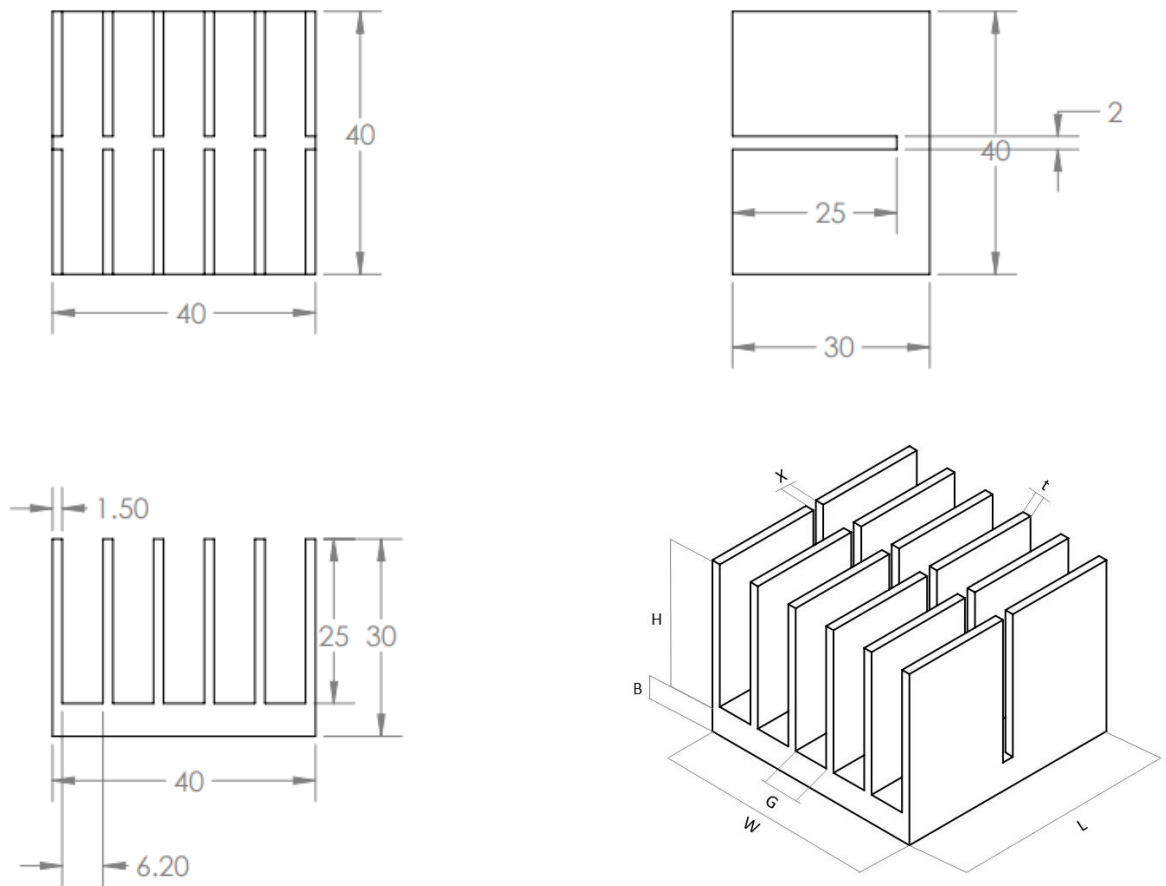
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
(ขนาดของอิทธิพลด้านเย็นที่ใช้ทดลอง)



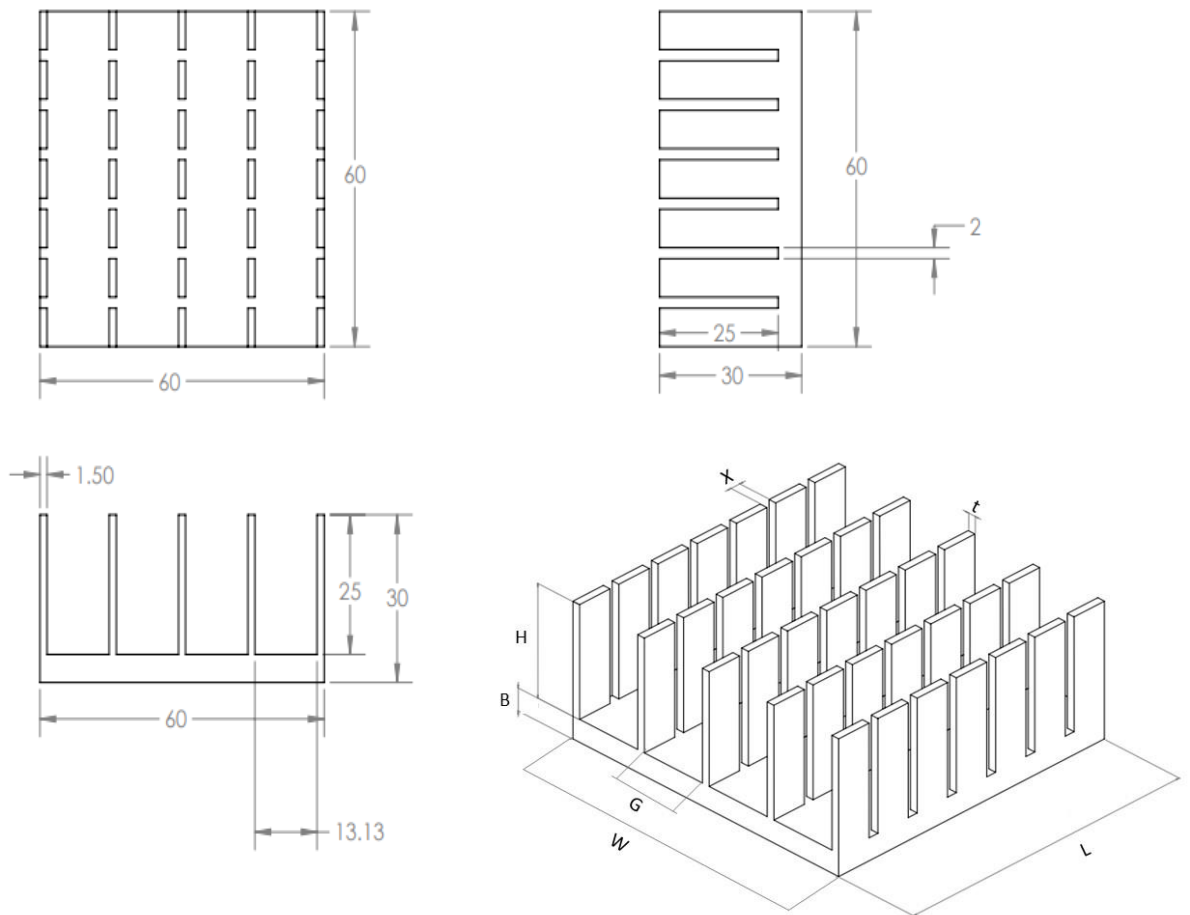
(หน่วย: มิลลิเมตร)

รูปที่ ก.1 อีทซิงค์ขนาด 40×40



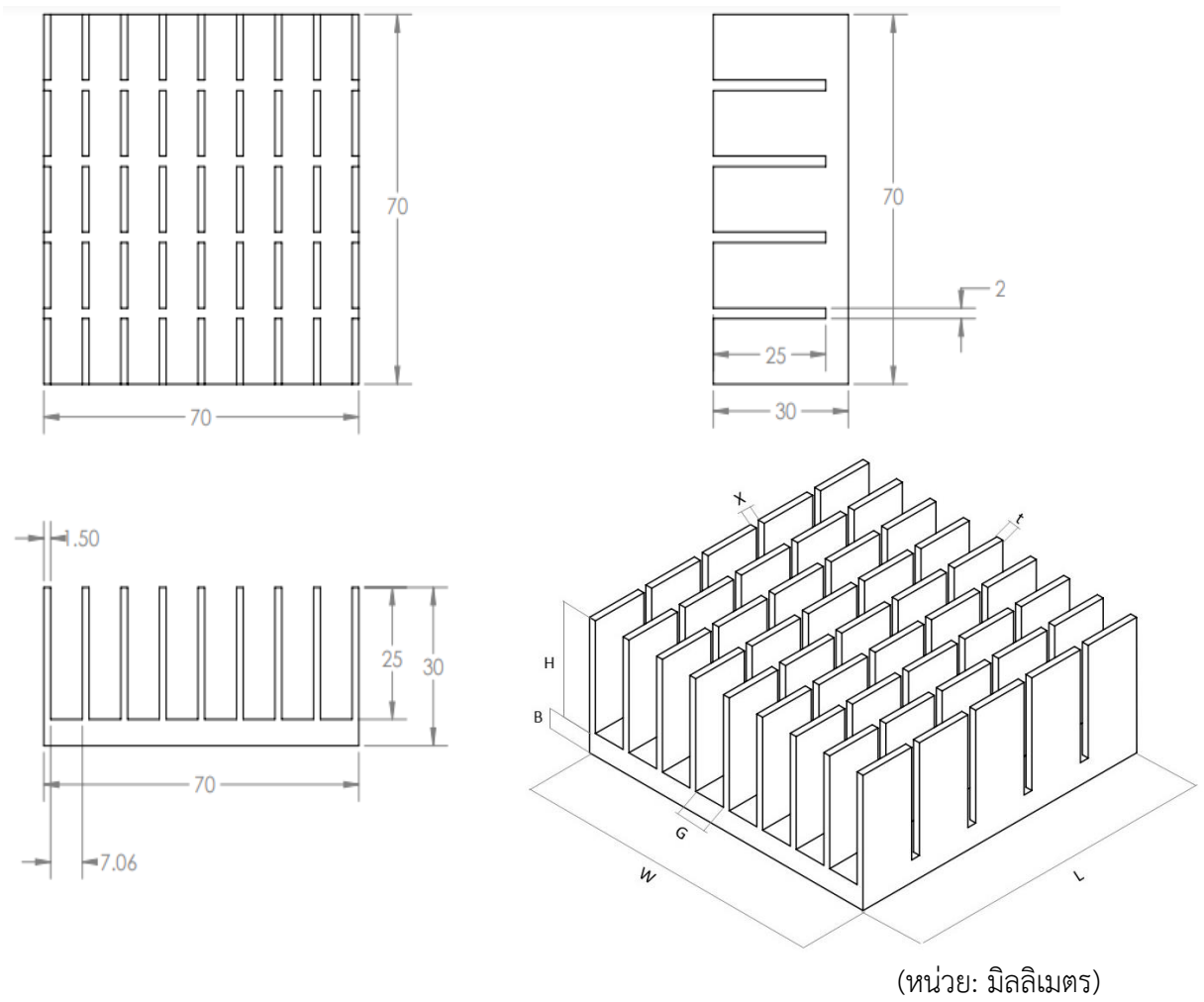
(หน่วย: มิลลิเมตร)

รูปที่ ก.2 อีทซิงค์ขนาด 40×40 (M1)

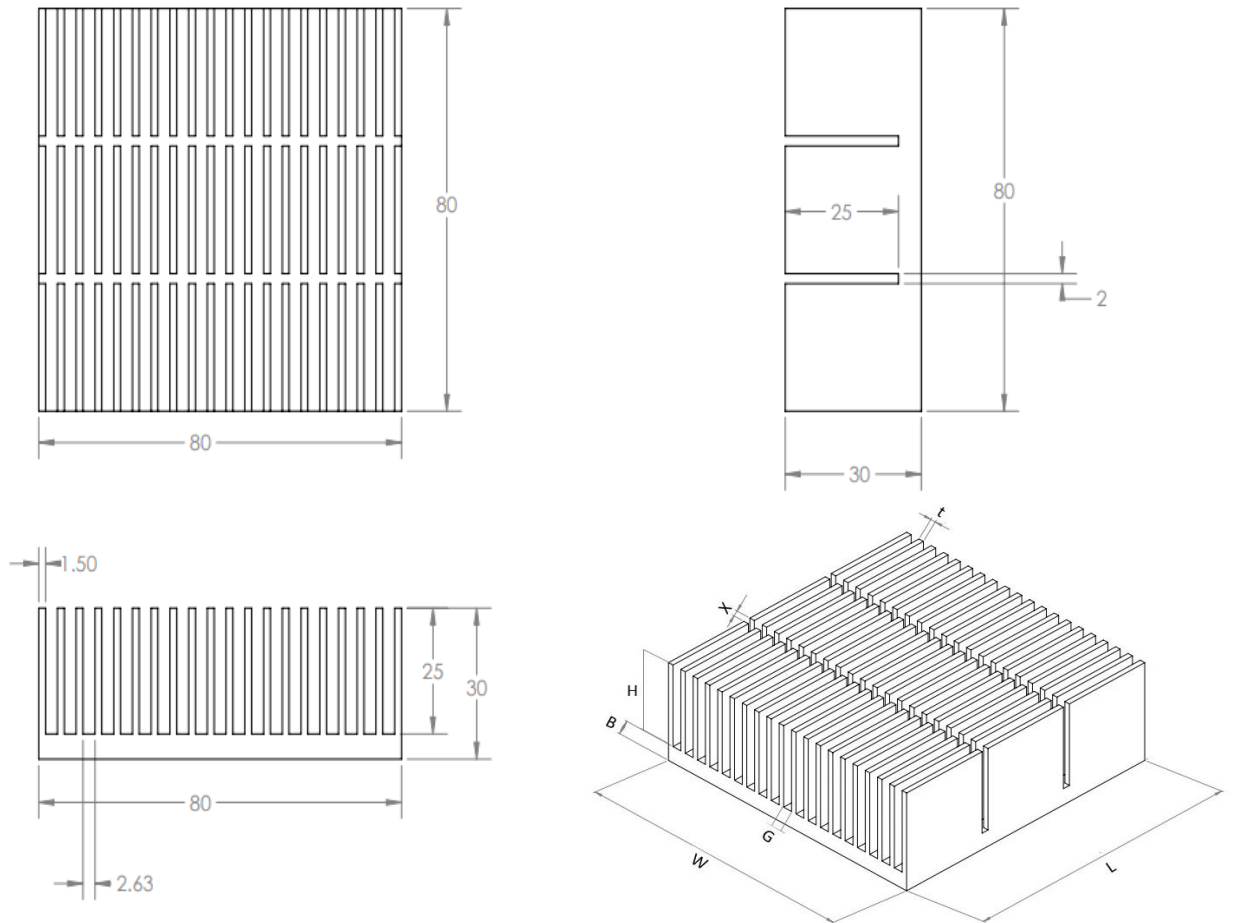


(หน่วย: มิลลิเมตร)

รูปที่ ก.3 อีทซิงค์ขนาด 60×60 (M6)



รูปที่ ก.4 อีทซิงค์ขนาด 70×70 (M4)



(หน่วย: มิลลิเมตร)

รูปที่ ก.5 ฮีทซิงค์ขนาด 80×80 (M2)

ภาคผนวก ข

(ชุดคำสั่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 สำหรับใช้วัดอุณหภูมิ)


```
1 // Include the libraries we need
2 #include <OneWire.h>
3 #include <DallasTemperature.h>
4
5 // Data wire is plugged into port 2 on the Arduino
6 #define ONE_WIRE_BUS 2
7 #define ONE_WIRE_BUS2 4
8 #define ONE_WIRE_BUS3 6
9 // Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices (not just
10 Maxim/Dallas temperature ICs)
11 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
12 OneWire oneWire2(ONE_WIRE_BUS2);
13 OneWire oneWire3(ONE_WIRE_BUS3);
14 // Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
15 DallasTemperature sensors1(&oneWire);
16 DallasTemperature sensors2(&oneWire2);
17 DallasTemperature sensors3(&oneWire3);
18 int x = 0;
19 int row = 0;
20 /*
21 * The setup function. We only start the sensors here
22 */
23 void setup(void)
24 {
25 // start serial port
26 Serial.begin(9600);
27 //Serial.println("Dallas Temperature IC Control Library Demo");
28 // Start up the library
29 sensors1.begin();
30 sensors2.begin();
31 sensors3.begin();
```

```
32 Serial.println("CLEARDATA");
33 Serial.println("LABEL,index,Time,sensors1,sensors2,sensors3");
34 }
35
36 /*
37 * Main function, get and show the temperature
38 */
39 void loop(void)
40 {
41 // call sensors.requestTemperatures() to issue a global temperature
42 // request to all devices on the bus
43 //Serial.print("Requesting temperatures...");
44 sensors1.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
45 sensors2.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
46 sensors3.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
47 //Serial.println("DONE");
48 // After we got the temperatures, we can print them here.
49 // We use the function ByIndex, and as an example get the temperature from the
50 first sensor only.
51 //Serial.print("Temperature for the device 1 (index 0) is: ");
52 row++;
53 x++;
54 Serial.print("DATA");
55 Serial.print(",");
56 Serial.print(x);
57 Serial.print(",");
58 Serial.print("TIME");
59 Serial.print(",");
60 Serial.print(sensors1.getTempCByIndex(0));
61 Serial.print(",");
62 Serial.print(sensors2.getTempCByIndex(0));
```

```
63 Serial.print(",");  
64 Serial.println(sensors3.getTempCByIndex(0));  
65  
66 }
```

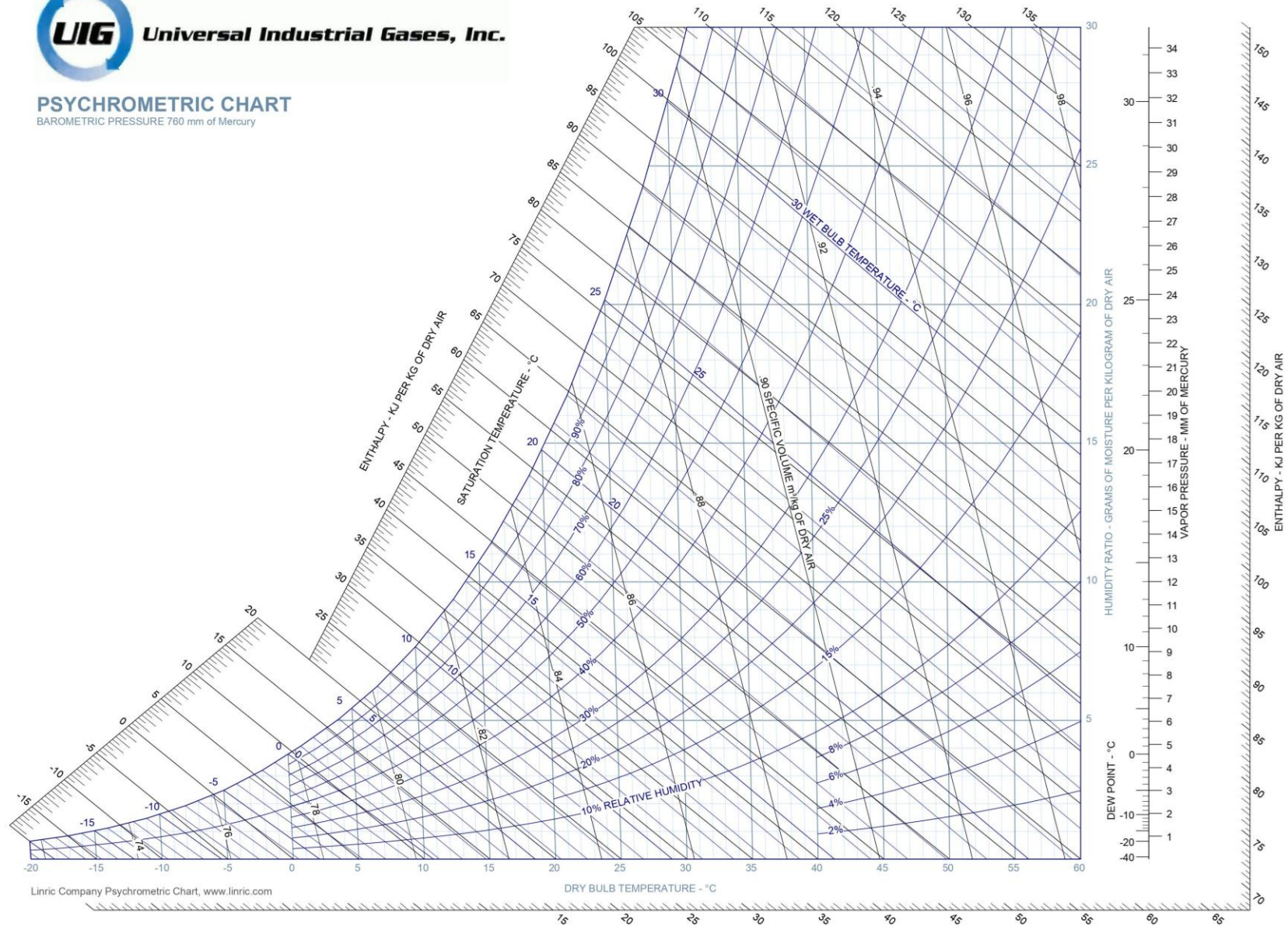
ภาคผนวก ค
(แผนภาพไซโครเมตริก)



Universal Industrial Gases, Inc.

PSYCHROMETRIC CHART

BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury



รูปที่ ค.1 แผนภาพไซโครเมตริก ที่มา: (http://www.uigi.com/UIGI_SI.PDF, Mar. 14, 2022)

ภาคผนวก ง
(ตารางคุณสมบัติอากาศ)

TABLE A-9

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat c_p $\text{J/kg}\cdot\text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Note: For ideal gases, the properties c_p , k , μ , and Pr are independent of pressure. The properties ρ , ν , and α at a pressure P (in atm) other than 1 atm are determined by multiplying the values of ρ at the given temperature by P and by dividing ν and α by P .

Source: Data generated from the EES software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. Original sources: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, and P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

รูปที่ ง.1 ตารางคุณสมบัติอากาศที่ความดันบรรยากาศ 1 atm ที่มา:

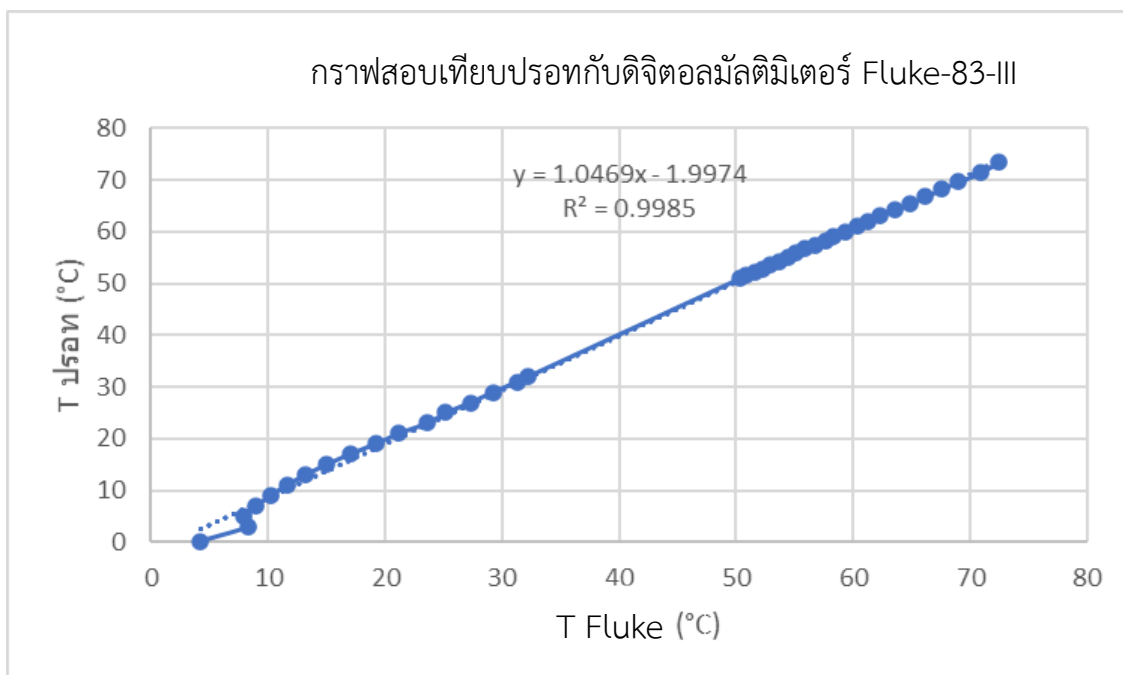
(<https://www.me.psu.edu/cimbala/me433/>

Links/Table_A_9_CC_Properties_of_Air.pdf,

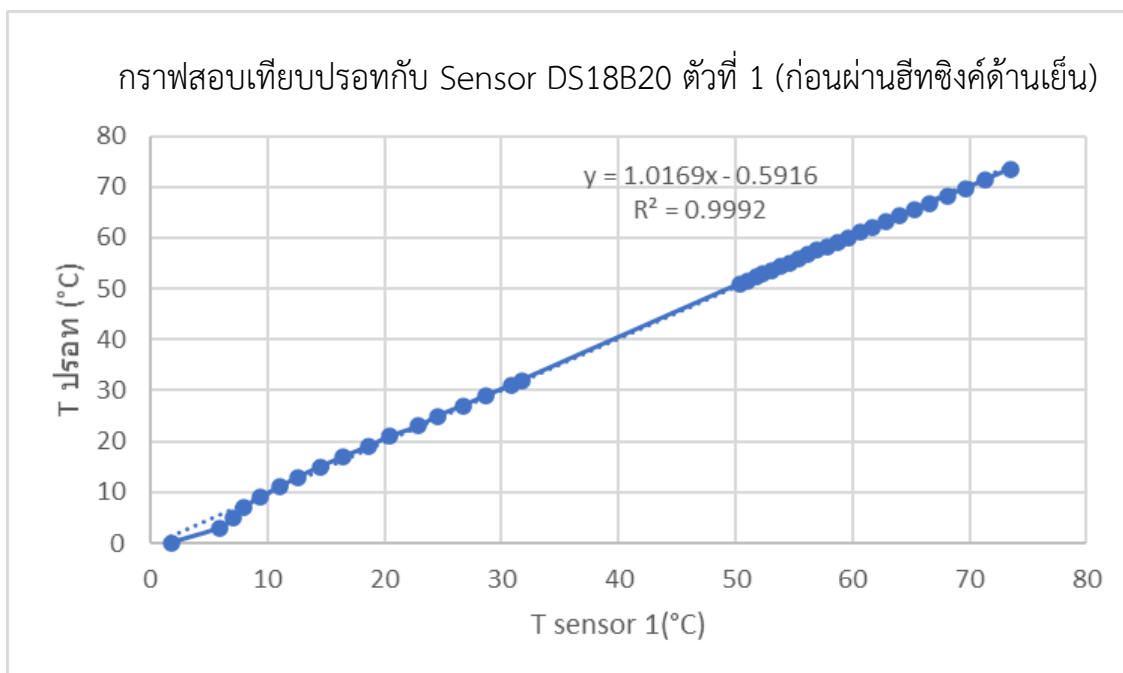
Nov. 3, 2021)

ภาคผนวก จ
(การสอบเทียบเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ)

สอบเทียบเครื่องมือวัด

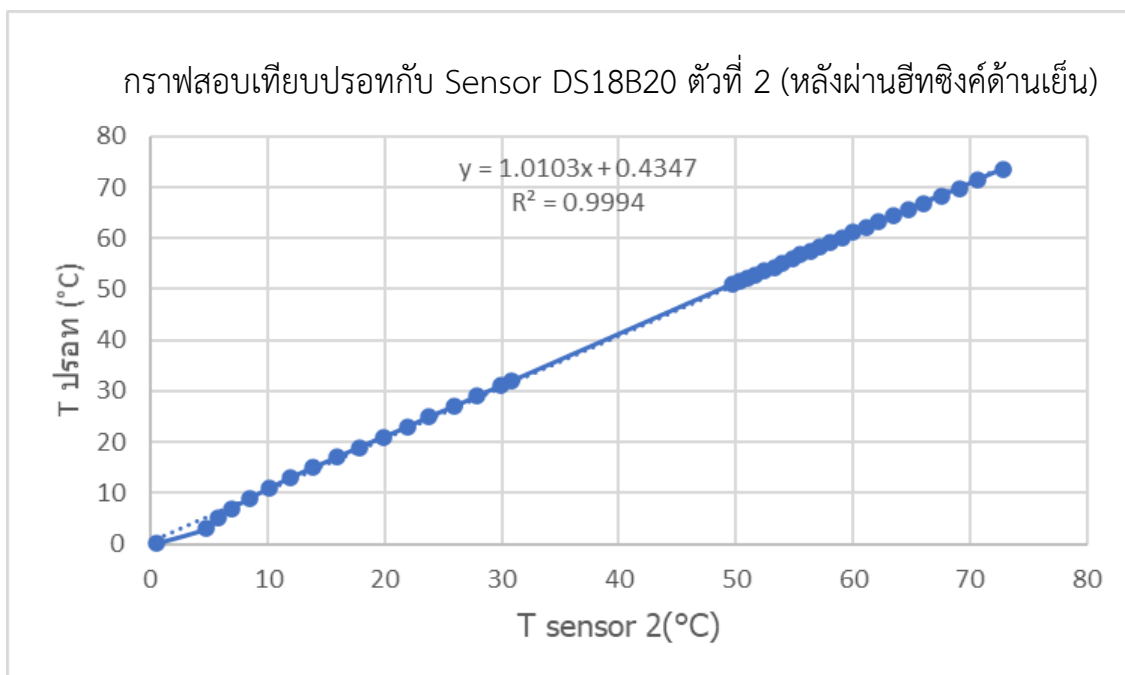


รูปที่ จ.1 กราฟสอบเทียบปรอทกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ Fluke-83-III

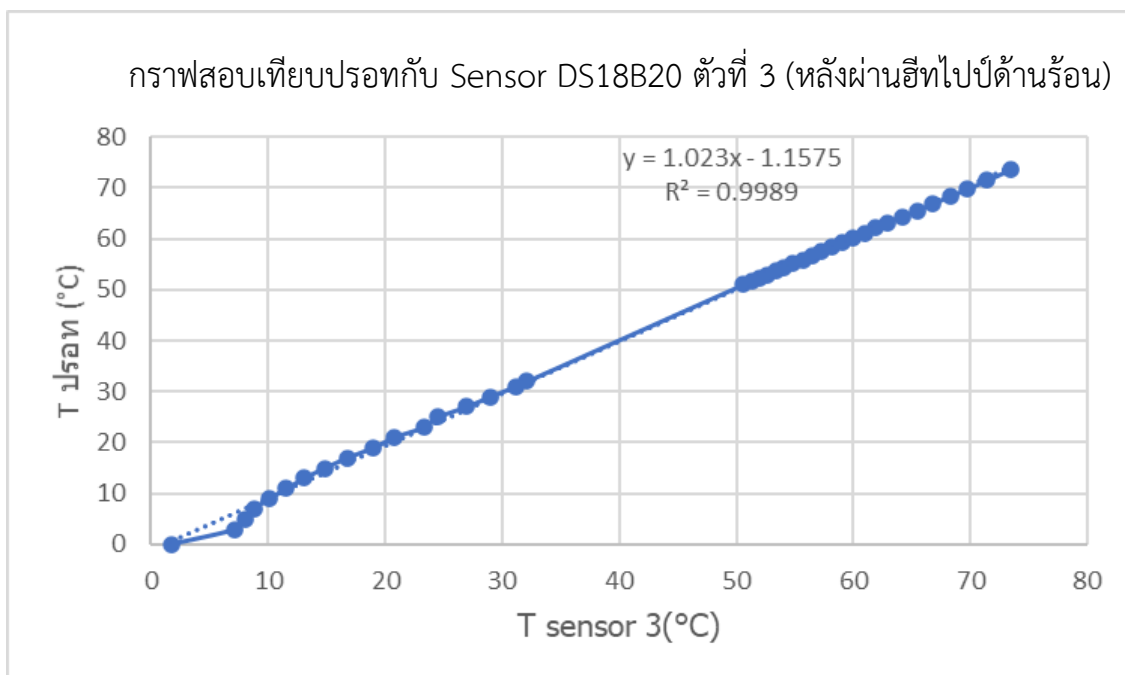


รูปที่ จ.2 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor DS18B20 ตัวที่ 1 (ก่อนผ่านฮีทซิงค์ด้านเย็น)

สอบเทียบเครื่องมือวัด (ต่อ)

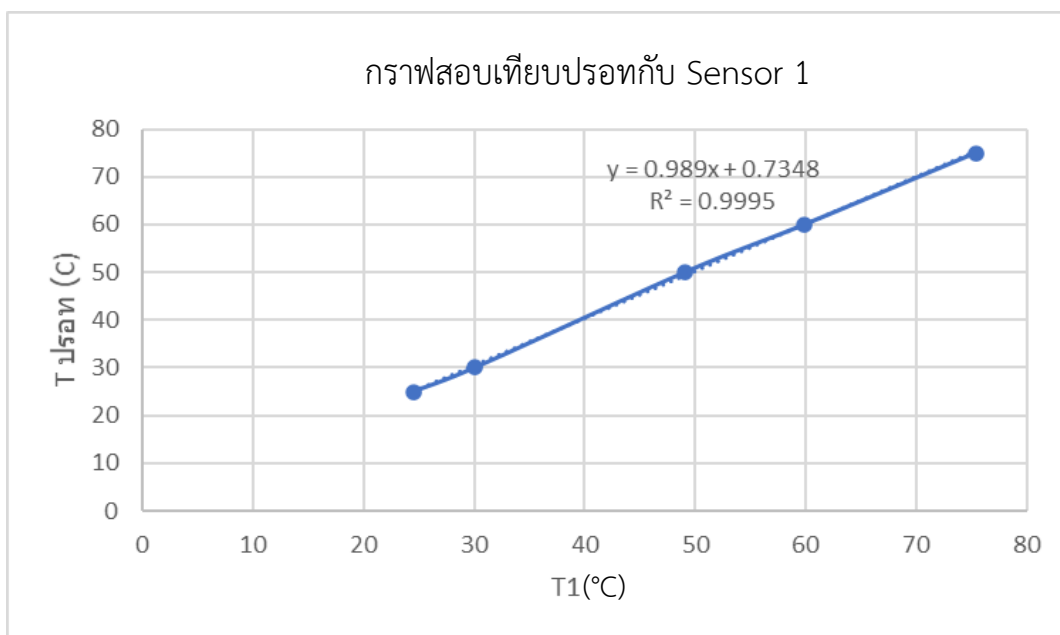


รูปที่ จ.3 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor DS18B20 ตัวที่ 2 (หลังผ่านฮีทซิงค์ด้านเย็น)

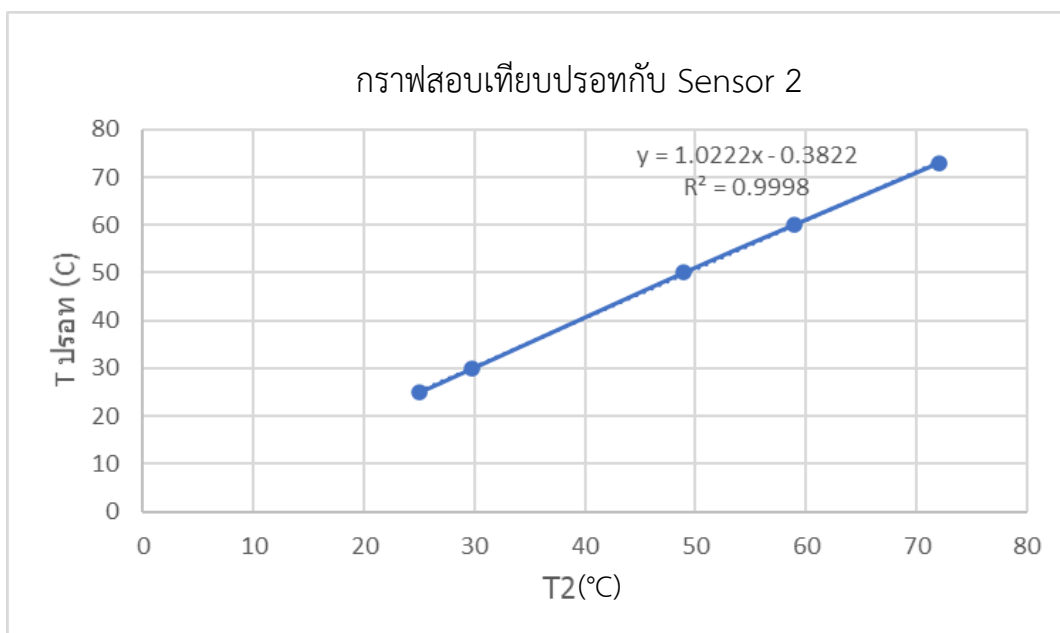


รูปที่ จ.4 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor DS18B20 ตัวที่ 3 (หลังผ่านฮีทไปป์ด้านร้อน)

สอบเทียบ Sensor ฝั่งเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน

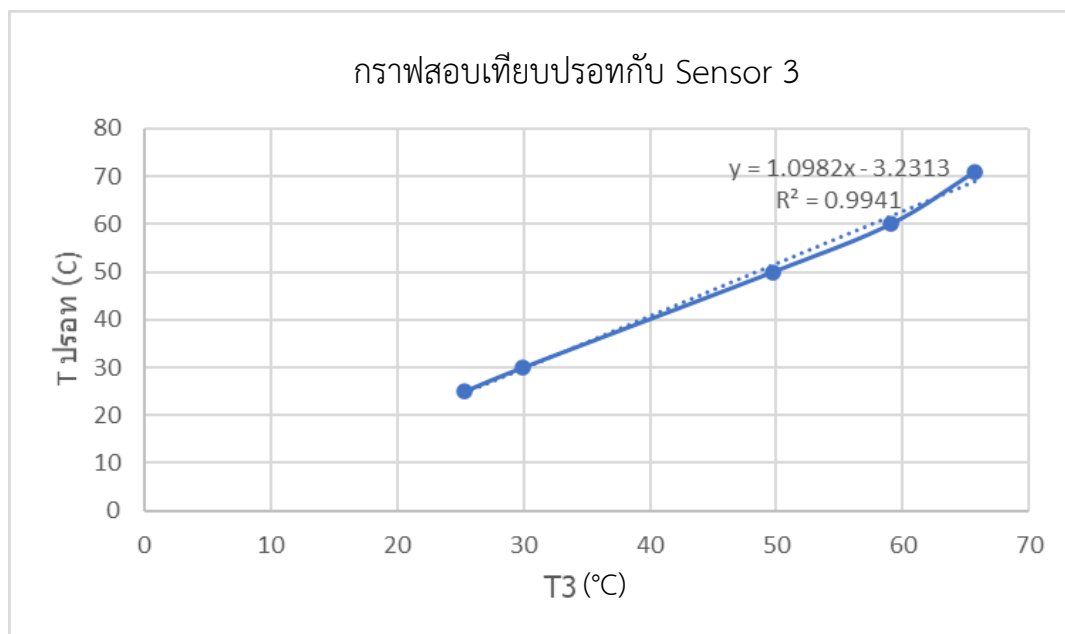


รูปที่ จ.5 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor 1

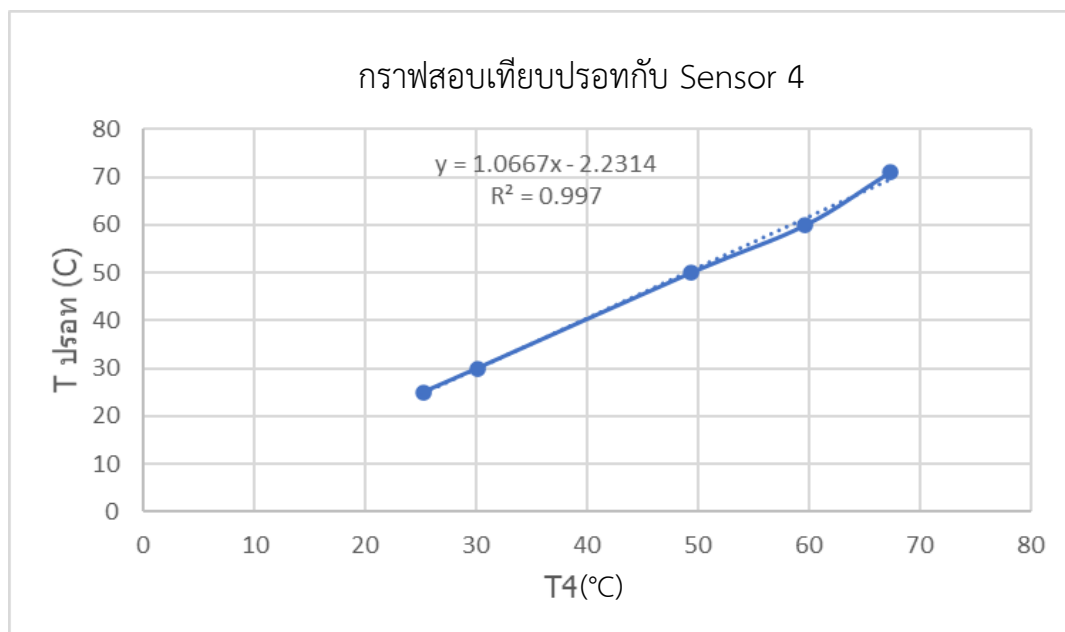


รูปที่ จ.6 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor 2

สอบเทียบ Sensor ฝั่งเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน (ต่อ)

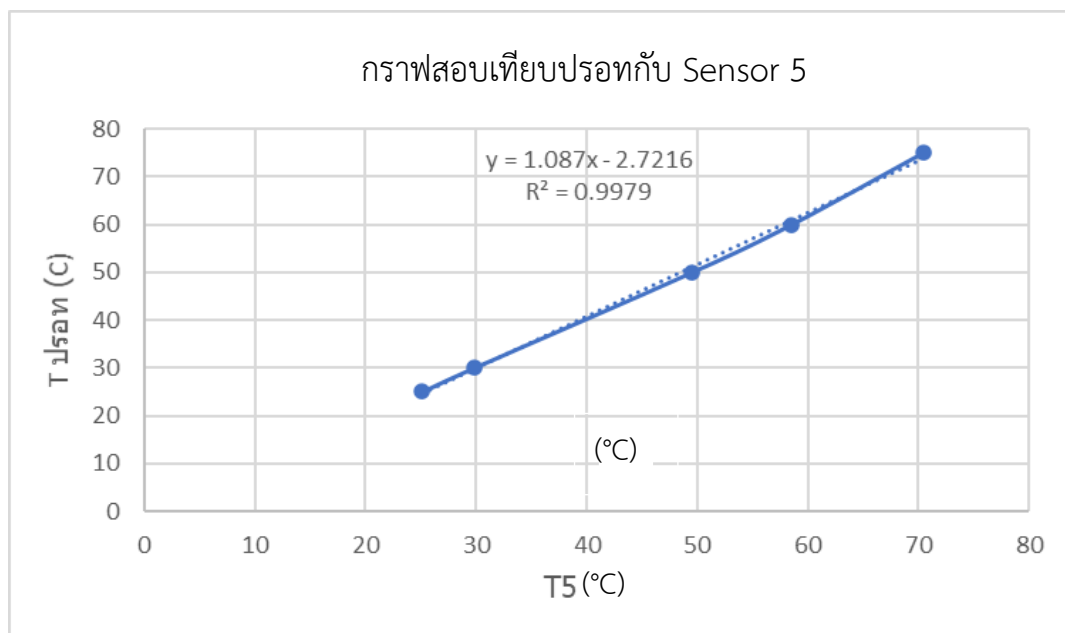


รูปที่ จ.7 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor 3



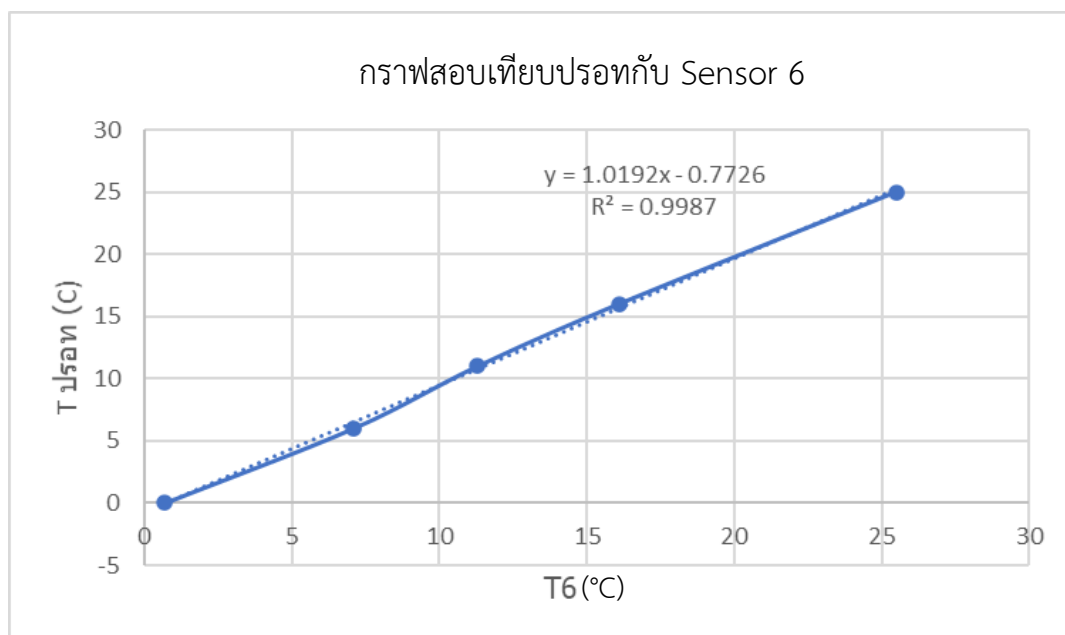
รูปที่ จ.8 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor 4

สอบเทียบ Sensor ฝั่งเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน (ต่อ)

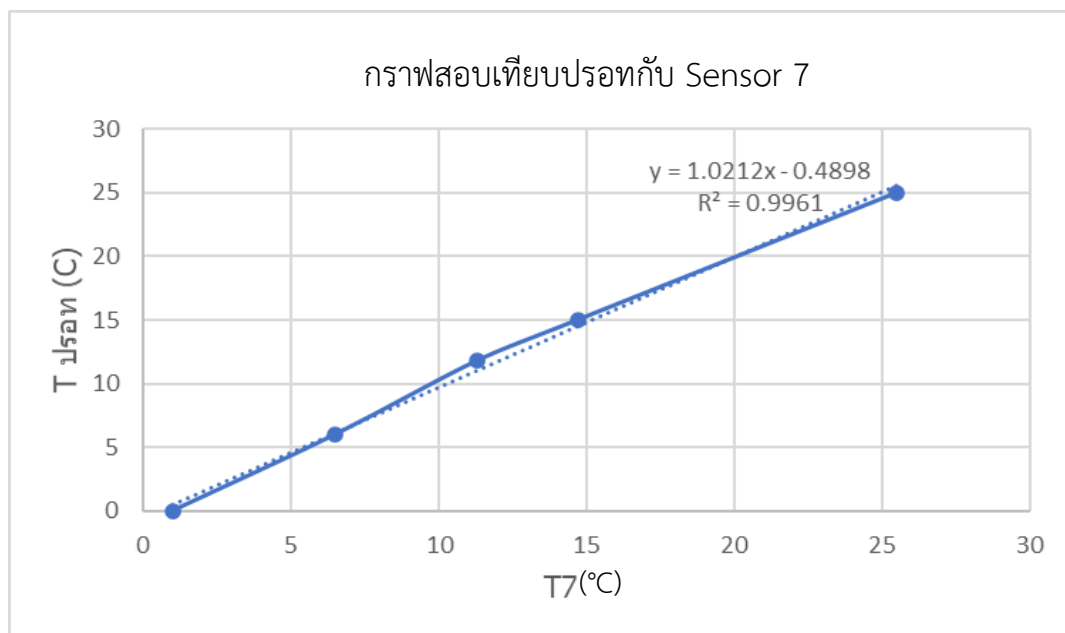


รูปที่ จ.9 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor 5

สอบเทียบ Sensor ฝั่งเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น

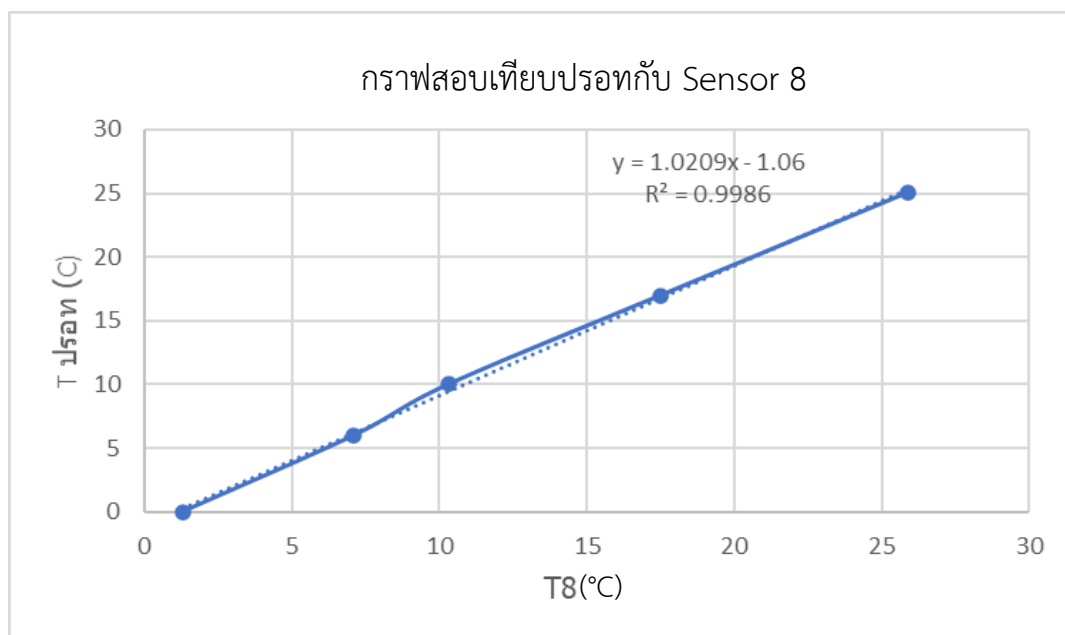


รูปที่ จ.10 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor 6

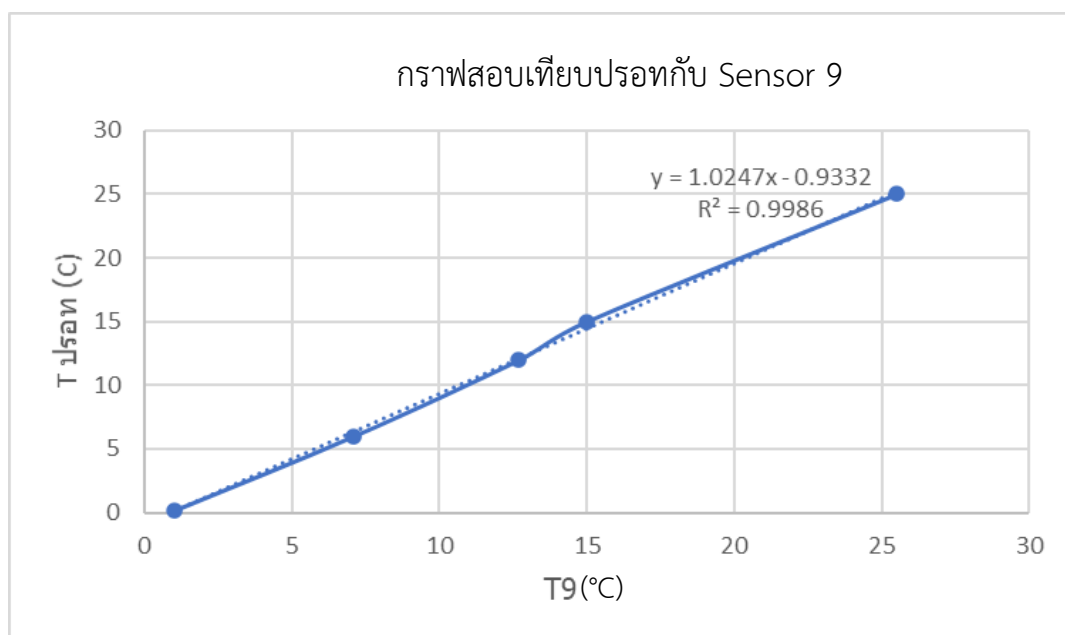


รูปที่ จ.11 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor 7

สอบเทียบ Sensor ฝั่งเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น (ต่อ)

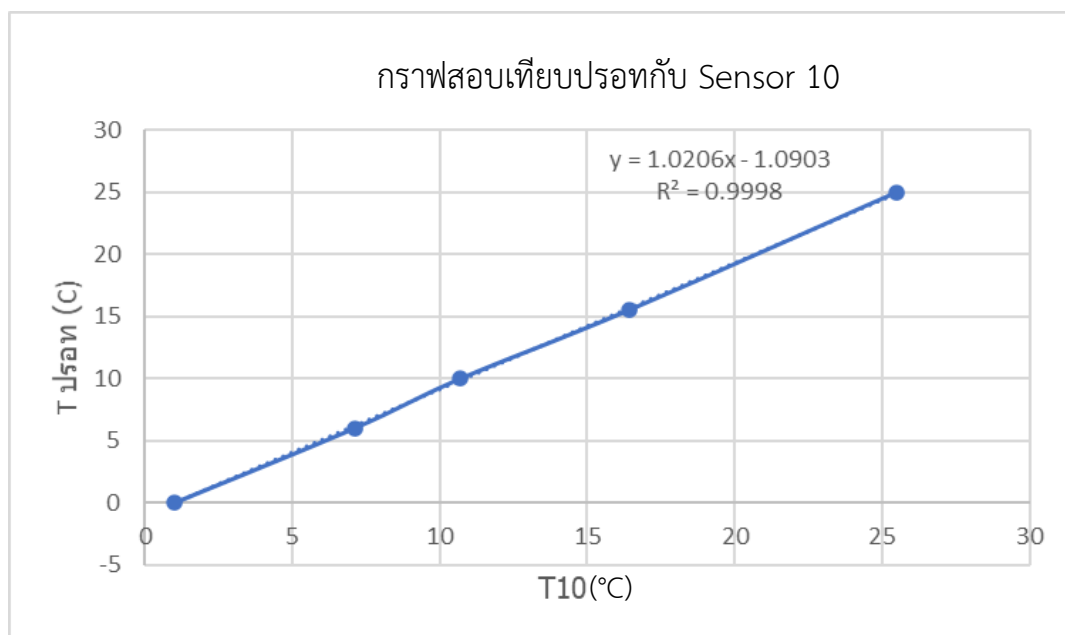


รูปที่ จ.12 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor 8



รูปที่ จ.13 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor 9

สอบเทียบ Sensor ฝั่งเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น (ต่อ)



รูปที่ จ.14 กราฟสอบเทียบปรอทกับ Sensor 10

ภาคผนวก ฉ

(ความไม่แน่นอนของอุปกรณ์วัดและตัวอย่างการคำนวณความไม่แน่นอนในการวัด)

No.	Value	Symbol	Instrument	Uncertainty	Resolution
1.	Temperature s1, s2 (Cool)	T_{ac}	Sensor DS18B20	$\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	-
2.	Temperature s3 (Hot)	T_{ah}	Sensor DS18B21	$\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	-
3.	Temperature of Thermoelectric (Cool)	T_{tc}	NTC Thermistor Sensor	$\pm 1\% \text{ }^{\circ}\text{C}$	-
4.	Temperature of Thermoelectric (Hot)	T_{th}	NTC Thermistor Sensor	$\pm 1\% \text{ }^{\circ}\text{C}$	-
5.	DC Current (Fan)	I	Fluke-83 III	$\pm(0.4\%+4)$	1mA
6.	DC Voltage (Fan)	V	UT890C	$\pm(0.7\%+3)$	0.01v
7.	DC Current (TEC)	I	Dual Display Digital Volt-Amp Meter	$\pm 1\%$	-
8.	DC Voltage (TEC)	V	Dual Display Digital Volt-Amp Meter	$\pm 0.1\%$	-
9.	Humidity	%	Digital Hygrometer Temperature & Humidity	$\pm 5\%$	-
10.	Air Velocity	u_i	Anemometer	$\pm[5\% + 1 \text{ m/s}]$	0.1 m/s
11.	Flow Rate	Δ	Ruler 30 cm	$\pm 0.5 \text{ mm}$	-

รูปที่ ๑.1 Uncertainty ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

ตารางที่ ฉ.1 ช่วงตัวแปรที่วัดได้จากการทดลอง

Location	No.	Parameter	Symbol	Values
TE	1.	Temperature (Cold Side)	T_{tc}	4.70-17.67°C
	2.	Temperature (Hot side)	T_{th}	28.41-44.32°C
	3.	DC Current	I	3.21-10.8A
	4.	DC Voltage	V	3.8-12.55V
	5.	Temperature Difference	ΔT_t	11.46-33.91
Fan hot Side	6.	DC Current	I	0.119-0.447A
	7.	DC Voltage	V	4.41-11.64A
Fan Cold Side	8.	DC Current	I	0.085-0.498A
	9.	DC Voltage	V	3.5-12.15V
	10.	Air Velocity	v	0.65-7 m/s
Cold Side	11.	Width Pipe Air	W	100 mm
	12.	High Pipe Air	h	40 mm

ตัวอย่างการคำนวณ Uncertainty ของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น
อากาศ (COP_a) และ อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิ-
เล็กทริก (q_{ac})

$$q_{ac} = \dot{m}_a (h_1 - h_2)$$

$$\dot{m}_a = \frac{v_f}{u_i}$$

$$v_f = w \times h \times u_i$$

$$\frac{\delta v_f}{v_f} = \sqrt{\left(\frac{\delta w}{w}\right)^2 + \left(\frac{\delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\delta u_i}{u_i}\right)^2}$$

$$\sqrt{\left(\frac{0.5}{40}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{100}\right)^2 + \left(\frac{0.265}{3.3}\right)^2}$$

$$\therefore \delta q_{ac} = 8.14\%$$

$$P_E = P_e + P_{fc} + P_{fh}$$

$$P_e = IV$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta P_e}{P_e} &= \sqrt{\left(\frac{\delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{0.083}{8.28}\right)^2 + \left(\frac{0.009}{8.9}\right)^2} \\ &= 1\% \end{aligned}$$

$$P_{fc} = IV$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta P_{fc}}{P_{fc}} &= \sqrt{\left(\frac{\delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{0.005}{0.216}\right)^2 + \left(\frac{0.075}{6.43}\right)^2} \\ &= 2.53\% \end{aligned}$$

$$P_{fh} = IV$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta P_{fh}}{P_{fh}} &= \sqrt{\left(\frac{\delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{0.005}{0.310}\right)^2 + \left(\frac{0.094}{9.15}\right)^2} \\ &= 1.98\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta P_E &= \sqrt{(1.98)^2 + (2.53)^2 + (1)^2} \\ &= 3.36\% \end{aligned}$$

$$COP_a = \frac{q_{ac}}{P_E}$$

$$\frac{\delta COP_a}{COP_a} = \sqrt{(3.36)^2 + (8.14)^2}$$

$$\therefore \delta COP_a = 8.81\%$$

ตัวอย่างการคำนวณ Uncertainty ของสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (COP_c) อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{tc}) และอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{th})

$$\begin{aligned}
 q_{tc} &= [(\alpha IT_c) - (\frac{I^2 R}{2}) - (k\Delta T)] \\
 (\alpha IT_c) \\
 \frac{\delta IT_c}{IT_c} &= \sqrt{(\frac{\delta I}{I})^2 + (\frac{\delta T_c}{T_c})^2} \\
 &= \sqrt{(\frac{0.170}{16.95})^2 + (\frac{0.032}{3.21})^2} \\
 &= 1.41\% \\
 (\frac{I^2 R}{2}) \\
 \delta I^2 &= \sqrt{(2 \times \frac{0.032}{3.21})^2} \\
 &= 2\% \\
 (k\Delta T) \\
 \delta \Delta T &= (\sqrt{(0.284)^2 + (0.170)^2}) \\
 &= 2.89\% \\
 \therefore \delta q_c &= \sqrt{(2.89)^2 + (2)^2 + (1.41)^2} \\
 &= 3.79\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{th} &= [(\alpha IT_h) - (\frac{I^2 R}{2}) - (k\Delta T)] \\
 (\alpha IT_h) \\
 \frac{\delta IT_h}{IT_h} &= \sqrt{(\frac{\delta I}{I})^2 + (\frac{\delta T_h}{T_h})^2} \\
 &= \sqrt{(\frac{0.032}{3.21})^2 + (\frac{0.284}{28.41})^2} \\
 &= 1.41\% \\
 (\frac{I^2 R}{2}) \\
 \delta I^2 &= \sqrt{(2 \times \frac{0.032}{3.21})^2} \\
 &= 2\% \\
 (k\Delta T) \\
 \delta \Delta T &= (\sqrt{(0.284)^2 + (0.170)^2}) \\
 &= 2.89\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore \delta q_h &= \sqrt{(2.89)^2 + (2)^2 + (1.41)^2} \\ &= 3.79\%\end{aligned}$$

$$q_{th} = 3.79\% \times 13.3$$

$$= 0.50$$

$$q_{tc} = 3.79\% \times 4.00$$

$$= 0.15$$

$$\begin{aligned}\delta q_{th} - \delta q_{tc} &= \sqrt{(0.50)^2 + (0.15)^2} \\ &= 0.522\end{aligned}$$

$$= \frac{0.522}{9.3} \times 100 = 5.61\%$$

$$\begin{aligned}\therefore \delta COP &= \sqrt{(5.61)^2 + (3.79)^2} \\ &= 6.77\%\end{aligned}$$

ภาคผนวก ช
(การกำหนดช่วงของตัวแปร)

การออกแบบการทดลอง

ก่อนที่จะทำการกำหนดช่วงตัวแปรจะต้องทำการตั้งค่าการออกแบบการทดลองดังรูปที่ ข.1 ก่อน โดยใช้โปรแกรม Essential Experimental Design (EED) version 2.213 ซึ่งเป็น Add Ins Tool โปรแกรม Microsoft Excel ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.1.3 ซึ่งจะต้องทำการใส่ชื่อตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านร้อน (Re_H) และด้านเย็น (Re_C) อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น (A_R) กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปแบบของอัตราส่วนกำลังไฟฟ้า (P_R) และ กำหนดขอบเขตสูง-ต่ำให้กับแต่ละตัวแปร โดยมีรายละเอียดการกำหนดช่วงตัวแปรดัง รูปที่ ข.2

รูปที่ ข.1 กำหนดจำนวนตัวแปรที่จะศึกษาและรูปแบบการออกแบบการทดลอง

Factor Name	Units	Low Value	High Value
PR		0.090	1
AR		0.042	0.306
REC		2384	25676
REH		3081	14174

PR		0.090	1
----	--	-------	---

รูปที่ ข.2 ช่วงของค่าตัวแปรอิสระ

เมื่อกำหนดช่วงของตัวแปรอิสระแต่ละตัวเรียบร้อยแล้วจะได้ช่วงของตัวแปรดังตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 ได้เงื่อนไขการทดลอง 28 การทดลอง ดังตารางที่ ข.1 และมีสมการทำนายแบบพหุนามกำลังสาม (Cubic Model) ดังที่แสดงในสมการที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ ในบทที่ 4

ตารางที่ ข.1 เงื่อนไขการทดลอง

NO.	P_R	A_R	Re_c	Re_h	COP_a	q_{ac} (W)
1.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)		
2.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	-1 (3,074)		
3.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)		
4.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)		
5.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)		
6.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)		

หมายเหตุ: P_R คือ อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก A_R คือ อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น Re_c และ Re_h คือ อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านเย็น-ด้านร้อน ตามลำดับ COP_a คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ q_{ac} คือ อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) เงื่อนไขการทดลอง

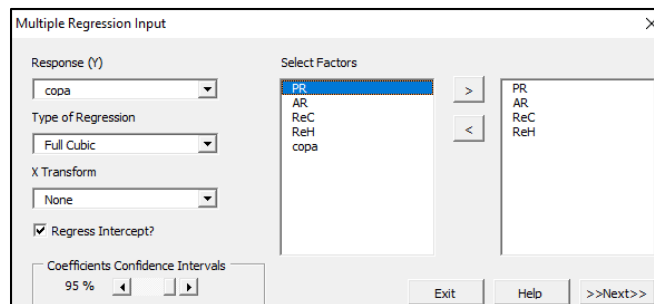
NO.	P_R	A_R	Re_c	Re_h	COP_a	q_{ac}
7.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)		
8.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)		
9.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)		
10.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)		
11.	0 (0.545)	1 (0.306)	0 (13,995)	0 (8,606)		
12.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)		
13.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)		
14.	0 (0.545)	-1 (0.042)	0 (13,995)	0 (8,606)		
15.	-1 (0.090)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)		
16.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)		
17.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)		
18.	0 (0.545)	0 (0.174)	1 (25,613)	0 (8,606)		
19.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	0.5 (19,804)	-0.5 (5,840)		
20.	-0.5 (0.320)	0.5 (0.240)	0.5 (19,804)	0.5 (11,373)		
21.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)		
22.	1 (1.000)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)		
23.	0.5 (0.772)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	-0.5 (5,840)		
24.	-0.5 (0.320)	-0.5 (0.108)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)		
25.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	0 (8,606)		
26.	0 (0.545)	0 (0.174)	-1 (2,378)	0 (8,606)		
27.	0 (0.545)	0 (0.174)	0 (13,995)	1 (14,139)		
28.	0.5 (0.772)	0.5 (0.240)	-0.5 (8,187)	0.5 (11,373)		

หมายเหตุ: P_R คือ อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก A_R คือ อัตราส่วนพื้นที่การไหลของอากาศต่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ด้านเย็น Re_c และ Re_h คือ อัตราการไหลของอากาศในรูปแบบของตัวเลขเรย์โนลด์ที่ด้านเย็นและด้านร้อน ตามลำดับ COP_a คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ q_{ac} คือ อัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

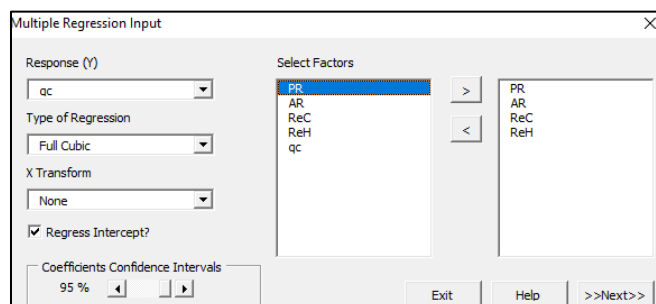
ภาคผนวก ช
(การพิจารณาค่าสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์)

ขั้นตอนการพิจารณาค่าสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์

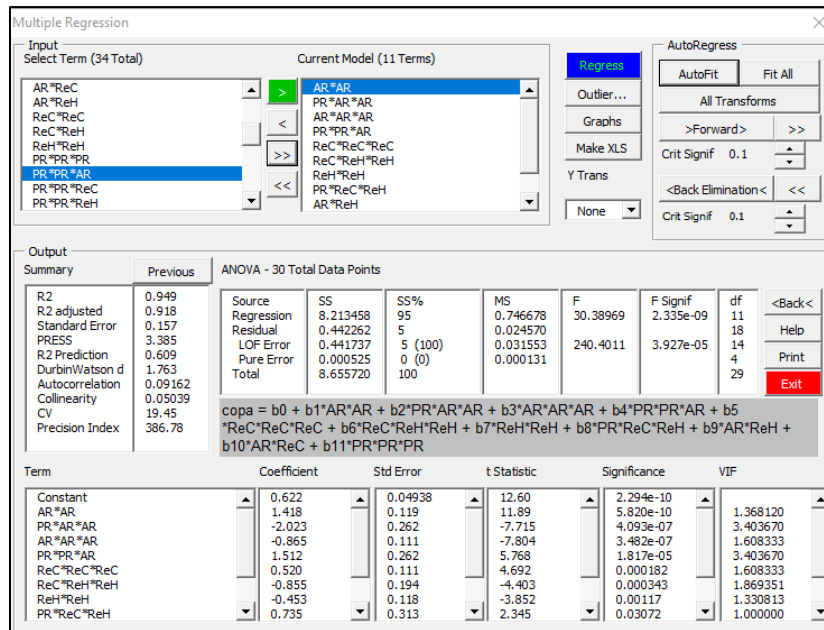
เมื่อได้ผลลัพธ์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) จากการทดลองทั้ง 28 เงื่อนไขแล้ว นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) โดยใช้ส่วนขยายใน Microsoft Excel 2013 ที่มีชื่อว่า Essential Regression 2.220 โดยกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์แบบ Multiple Regression เพื่อใช้หาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัวแปร กับ COP_a และ q_{ac} จากนั้นทำการตั้งค่านำเข้าต่าง Multiple Regression Input ดังรูปที่ ซ. 1 ของ COP_a และ รูปที่ ซ.2 ของ q_{ac} จากนั้นกด Next และตั้งค่านำเข้าต่าง ดังรูปที่ ซ.3 ของ COP_a และรูป ซ.4 ของ q_{ac} กด Autofit เพื่อดูผลตรงช่อง Output Summary ของทั้ง COP_a และ q_{ac} จากนั้นทำการตัดพจน์ที่มีค่า Significance มากกว่า 0.05 โดยการกด Back Elimination ที่หน้าต่างของ COP_a และ q_{ac} เพื่อปรับค่าตรงช่อง Output Summary ให้ดียิ่งขึ้น



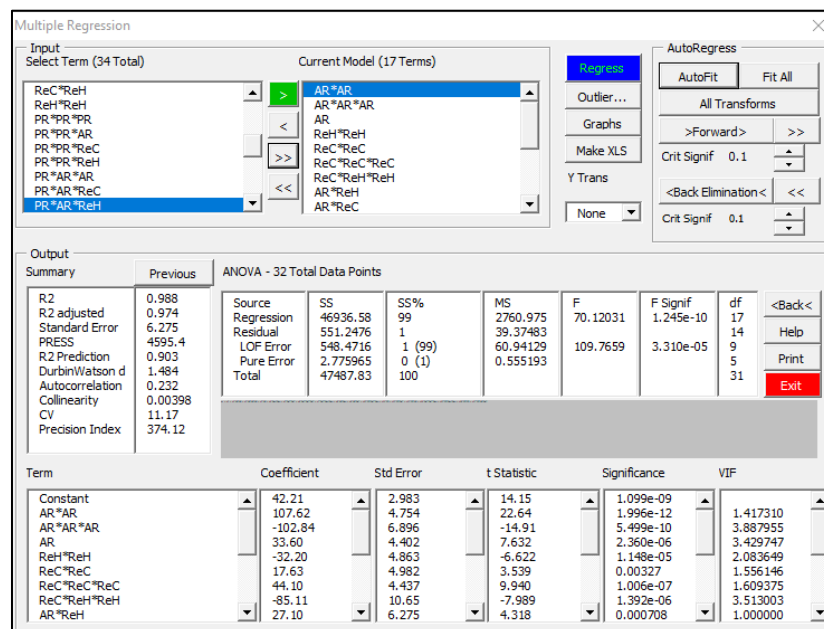
รูปที่ ซ.1 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง ตัวแปรอิสระและรูปแบบการวิเคราะห์ของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a)



รูปที่ ซ.2 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง ตัวแปรอิสระและรูปแบบการวิเคราะห์ของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})



รูปที่ ช.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และตัดตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญออกไปของสัมประสิทธิ์สมรรถนะ การทำความเย็นอากาศ (COP_a)



รูปที่ ช.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และตัดตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญออกไปของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac})

หลังจากที่ทำการตัดค่า Significance ที่มากกว่า 0.05 และได้ค่าที่ช่อง Output Summary เป็นค่าที่สูงแล้ว หลังจากนั้นทำการกด Make Xls เพื่อดูผลสรุปและจะได้สมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) และอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) ดังแสดงในรูปที่ ๕.5 และรูปที่ ๕.6

$$copa = b0 + b1*AR*AR + b2*PR*AR*AR + b3*AR*AR*AR + b4*PR*PR*AR + b5*ReC*ReC*ReC + b6*ReC*ReH*ReH + b7*ReH*ReH + b8*PR*ReC*ReH + b9*AR*ReH + b10*AR*ReC + b11*PR*PR*PR$$

(a)

Summary	
R	0.974
R ²	0.949
R ² adjusted	0.918
Standard Error	0.157
# Points	30
PRESS	3.38
R ² for Prediction	0.609
Durbin-Watson d	1.763
First Order Autocorrelation	0.092
Collinearity	0.050
Coefficient of Variation	19.448
Precision Index	386.783

(b)

	P value	Std Error	-95%	95%	t Stat	VIF
b0	0.622	2.29368E-10	0.04938	0.518	0.726	12.60
b1	1.418	5.82045E-10	0.119	1.167	1.668	11.89
b2	-2.023	4.09295E-07	0.262	-2.573	-1.472	-7.715
b3	-0.865	3.48161E-07	0.111	-1.098	-0.632	-7.804
b4	1.512	1.81702E-05	0.262	0.962	2.063	5.768
b5	0.520	0.000182	0.111	0.287	0.753	4.692
b6	-0.855	0.000343	0.194	-1.264	-0.447	-4.403
b7	-0.453	0.00117	0.118	-0.700	-0.206	-3.852
b8	0.735	0.03072	0.313	0.07637	1.394	2.345
b9	0.337	0.04512	0.157	0.00818	0.667	2.153
b10	0.308	0.06545	0.157	-0.02182	0.637	1.962
b11	-0.200	0.08792	0.111	-0.433	0.03286	-1.804

(c)

รูปที่ ๕.5 ผลลัพธ์ของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอากาศ (COP_a) (a) สมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีผลต่อ COP_a (b) ค่าทางสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์ (c) ค่าสัมประสิทธิ์แต่ละเทอมในสมการความสัมพันธ์และค่าทางสถิติ

$$q_{ac} = b_0 + b_1 \cdot AR \cdot AR + b_2 \cdot AR \cdot AR \cdot AR + b_3 \cdot AR + b_4 \cdot ReH \cdot ReH + b_5 \cdot ReC \cdot ReC + b_6 \cdot ReC \cdot ReC \cdot ReC + b_7 \cdot ReC \cdot ReH \cdot ReH + b_8 \cdot AR \cdot ReH + b_9 \cdot AR \cdot ReC + b_{10} \cdot PR \cdot ReC \cdot ReH + b_{11} \cdot PR + b_{12} \cdot PR \cdot ReC + b_{13} \cdot PR \cdot AR + b_{14} \cdot ReC \cdot ReC \cdot ReH + b_{15} \cdot PR \cdot ReH \cdot ReH + b_{16} \cdot PR \cdot PR + b_{17} \cdot PR \cdot AR \cdot ReC$$

(a)

<i>Summary</i>	
R	0.994
R ²	0.988
R ² adjusted	0.974
Standard Error	6.275
# Points	32
PRESS	4595.45
R ² for Prediction	0.903
Durbin-Watson d	1.484
First Order Autocorrelation	0.232
Collinearity	0.004
Coefficient of Variation	11.175
Precision Index	374.117

(b)

		P value	Std Error	-95%	95%	t Stat	VIF
b0	42.21	1.0991E-09	2.983	35.81	48.60	14.15	
b1	107.62	1.99627E-12	4.754	97.42	117.82	22.64	1.417
b2	-102.84	5.49874E-10	6.896	-117.64	-88.05	-14.91	3.888
b3	33.60	2.35979E-06	4.402	24.15	43.04	7.632	3.430
b4	-32.20	1.14799E-05	4.863	-42.63	-21.77	-6.622	2.084
b5	17.63	0.00327	4.982	6.947	28.32	3.539	1.556
b6	44.10	1.00627E-07	4.437	34.59	53.62	9.940	1.609
b7	-85.11	1.39181E-06	10.65	-107.96	-62.26	-7.989	3.513
b8	27.10	0.000708	6.275	13.64	40.56	4.318	1.000
b9	25.59	0.00113	6.275	12.13	39.05	4.078	1.000
b10	48.68	0.00167	12.55	21.76	75.59	3.879	1.000
b11	16.75	0.000127	3.202	9.882	23.62	5.231	2.335
b12	-18.56	0.01038	6.275	-32.02	-5.102	-2.958	1.000
b13	-13.99	0.01971	5.316	-25.39	-2.590	-2.632	1.413
b14	-22.95	0.03271	9.686	-43.73	-2.179	-2.370	2.904
b15	-30.85	0.00308	8.643	-49.38	-12.31	-3.569	4.031
b16	-13.38	0.01350	4.734	-23.53	-3.221	-2.825	1.975
b17	23.72	0.07961	12.55	-3.195	50.64	1.890	1.000

(c)

รูปที่ ๖.6 ผลลัพธ์ของอัตราการทำความเย็นของอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_{ac}) (a) สมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีผลต่อ q_{ac} (b) ค่าทางสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์ (c) ค่าสัมประสิทธิ์แต่ละเทอมในสมการความสัมพันธ์และค่าทางสถิติ

ภาคผนวก ฅ
(Datasheet ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715)

Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12715

Description

The 127 couples, 50 mm × 50 mm size single module which is made of our high performance ingot to achieve superior cooling performance and 70 °C or larger delta T max, is designed for superior cooling and heating applications. Beyond the standard below, we can design and manufacture the custom made module according to your special requirements.

Features

- No moving parts, no noise, and solid-state
- Compact structure, small in size, light in weight
- Environmental friendly
- RoHS compliant
- Precise temperature control
- Exceptionally reliable in quality, high performance

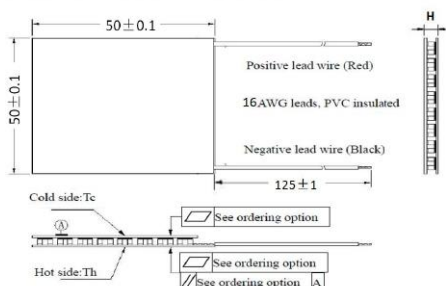
Application

- Food and beverage service refrigerator
- Portable cooler box for cars
- Liquid cooling
- Temperature stabilizer
- CPU cooler and scientific instrument
- Photonic and medical systems

Performance Specification Sheet

Th (°C)	27	50	Hot side temperature at environment: dry air, N ₂
DT _{max} (°C)	70	79	Temperature Difference between cold and hot side of the module when cooling capacity is zero at cold side
U _{max} (Voltage)	16.0	17.2	Voltage applied to the module at DT _{max}
I _{max} (amps)	15.0	15.0	DC current through the modules at DT _{max}
Q _{Cmax} (Watts)	150.2	164.2	Cooling capacity at cold side of the module under DT = 0 °C
AC resistance (ohms)	0.80	0.88	The module resistance is tested under AC
Tolerance (%)	± 10		For thermal and electricity parameters

Geometric Characteristics Dimensions in millimeters



Manufacturing Options

A. Solder:

1. T100: BiSn (Melting Point=138°C)
2. T200: CuSn (Melting Point= 227 °C)

B. Sealant:

1. NS: No sealing (Standard)
2. SS: Silicone sealant
3. EPS: Epoxy sealant
4. Customer specify sealing

C. Ceramics:

1. Alumina (Al₂O₃, white 96%)(AlO)
2. Aluminum Nitride (AlN)

D. Ceramics Surface Options:

1. Blank ceramics (not metalized)
2. Metalized (Copper-Nickel plating)

Ordering Option

Suffix	Thickness (mm)	Flatness/Parallelism (mm)	Lead wire length(mm) Standard/Optional length
TF	0:4.0±0.1	0:0.05/0.05	125±1/Specify
TF	1:4.0±0.05	1:0.025/0.025	125±1/Specify

Eg. TF00: Thickness 4.0 ± 0.1 (mm) and Flatness 0.05 / 0.05 (mm)

Naming for the Module

TEC1-12715- X -X - X - X



TEC1-12715-T100-NS-TF00-AIO

T100: BiSn (Tmelt=138°C)

NS: No sealing

AIO: Alumina (Al₂O₃, white 96%)

TF00: Thickness ± 0.1 (mm) and Flatness/Parallelism: 0.05/0.05 (mm)

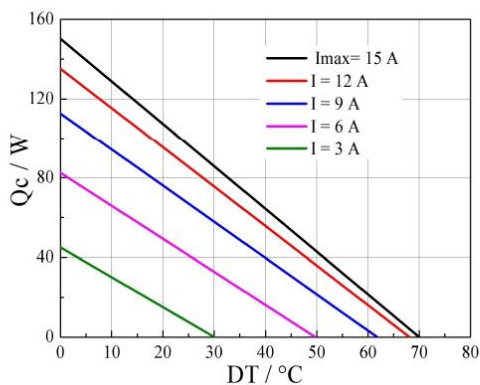
Creative technology with fine manufacturing processes provides you the reliable and quality products

Tel: +86-791-88198288 Fax: +86-791-88198308 Email: sales@thermonamic.com.cn Web Site: www.thermonamic.com.cn

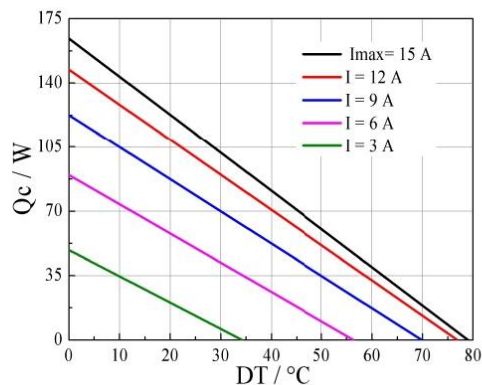
Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12715

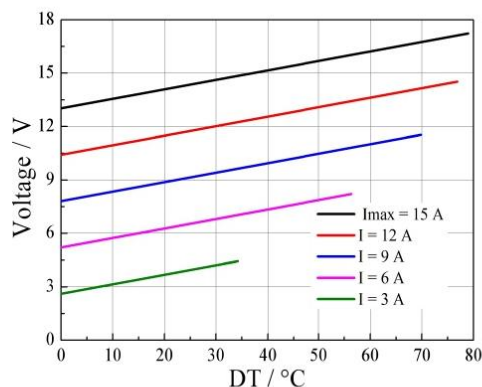
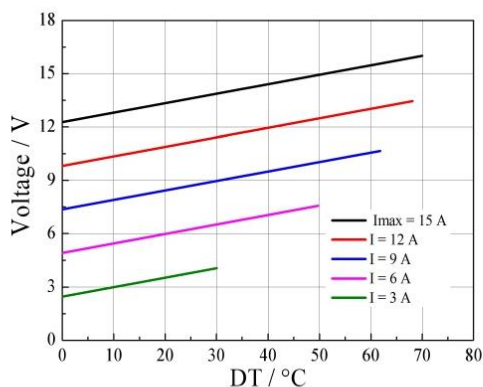
Performance Curves at $T_h=27^\circ\text{C}$



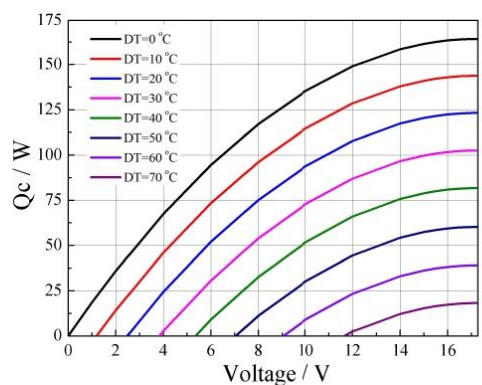
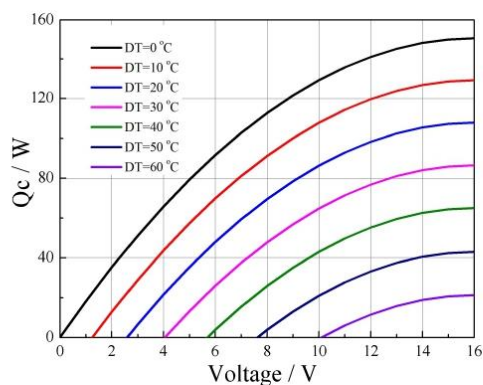
Performance Curves at $T_h=50^\circ\text{C}$



Standard Performance Graph $Q_c = f(DT)$



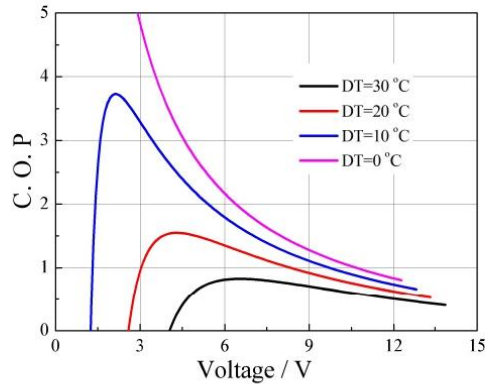
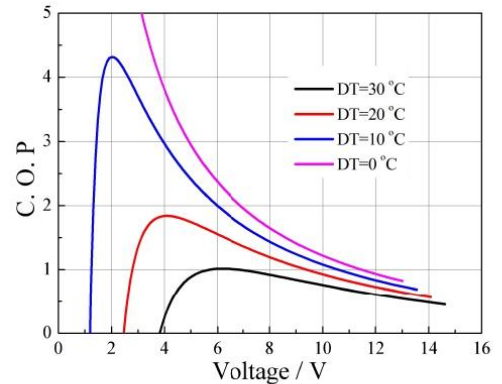
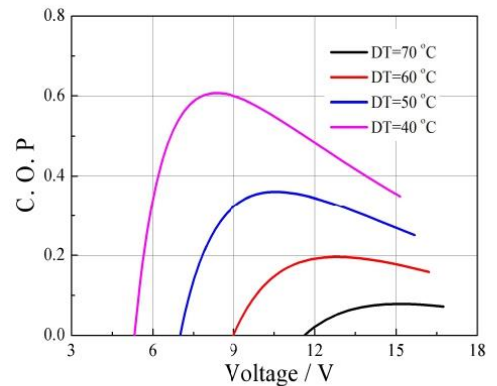
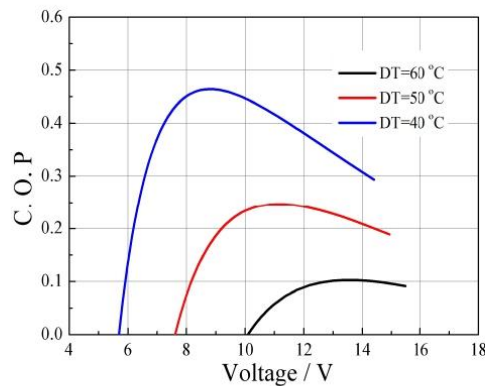
Standard Performance Graph $V = f(DT)$



Standard Performance Graph $Q_c = f(V)$

Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12715

Performance Curves at $T_h=27^\circ\text{C}$ Performance Curves at $T_h=50^\circ\text{C}$ Standard Performance Graph $\text{COP} = f(V)$ of ΔT ranged from 0 to 30°C Standard Performance Graph $\text{COP} = f(V)$ of ΔT ranged from 40 to $60/70^\circ\text{C}$

Remark: The coefficient of performance (COP) is the cooling power Q_c /Input power ($V \times I$).

Operation Cautions

- Attach the cold side of module to the object to be cooled
- Attach the hot side of module to a heat radiator for heat dissipating
- Storage module below 100°C
- Operation below I_{max} or V_{max}
- Work under DC

Note: All specifications subject to change without notice.

Creative technology with fine manufacturing processes provides you the reliable and quality products

Tel: +86-791-88198288 Fax: +86-791-88198308 Email: sales@thermonamic.com.cn Web Site: www.thermonamic.com.cn

ภาคผนวก ญ
(การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ)

เอกสารเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ ที่ 1

บทความประชุมวิชาการ

โชคทวี สุริยวัฒนสิน และ ฐานันดรศักดิ์ เทพญา. การศึกษาพารามิเตอร์การทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก. การถ่ายทอดผลงานความรู้และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 20 , โรงแรมบีพีสมิทธา

ปีช รีสอร์ท จ.สงขลา, 18 - 19 มีนาคม 2564, 48-53.

การศึกษาพารามิเตอร์การทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก Study of operating parameters affected the performance of thermoelectric air-cooling system

โชคทวี สุริยวัฒน์สิน

ฐานันดรศักดิ์ เทพญา*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

*E-mail: Thanansak.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกทำโดยการทดลองที่สามารถปรับการทำงานเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกตามกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์ TEC1-12715 ตั้งแต่ 10-136 W และที่จ่ายให้กับพัดลมระบายความร้อนที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ตั้งแต่ 0.05-2.09 W อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ขึ้นอยู่กับปริมาณการไหลของอากาศผ่านฮีทซิงค์ซึ่งปรับได้ในช่วง 2.5-27.5 cfm ผลการศึกษาพบว่าสมรรถนะการทำงานเย็นสูงสุด (COP_a) ที่ 1.49 ให้อัตราการทำความเย็นแก่อากาศ (q_{ac}) 20.5 W ที่กำลังไฟฟ้าป้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์ 11.6 W ในขณะที่อัตราการทำความเย็นสูงสุด 58 W เกิดขึ้นที่กำลังไฟฟ้า 135 W โดยมีค่าสมรรถนะการทำอากาศเย็น (COP_a) ที่ 0.42 การป้อนกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้กับแผ่นเพลเทียร์ไม่ได้ส่งผลให้อัตราการทำความเย็นและสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงสุด
คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก ระบบทำความเย็น สมรรถนะทำความเย็น

Abstract

The parameters affected the performance of the thermoelectric air-cooling system were studied through experimentation. The operating conditions of thermoelectric cooling can be adjusted as per the input powers of 10-136 W to the Peltier module TEC1-12715 and the input powers of 0.05-2.09 W to the hot and cold-sided cooling fans. Heat transfer rates at hot and cold-sided of Peltier module were depended on the amount of air flow through heat sink, that were set in the range of 2.5-27.5 cfm. The results show that the maximum cooling performance (COP_a) 1.49 was achieved at 20.5 W of cooling power, operated at the input power of 11.6 W. While the maximum cooling power of 58 W occurred at the input power of 135 W with (COP_a) of 0.42. The maximum power input to the Peltier module did not results in the highest cooling rate and the highest performance of the thermoelectric air-cooling system.

Keywords: Thermoelectric, Cooling system, COP

1 บทนำ

เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectrics) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นพลังงานทางเลือกที่นักวิทยาศาสตร์กำลังให้ความสนใจและศึกษา [1] วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectrics material) คือ วัสดุที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยใช้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของจุดสองจุดและเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกจะสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยอิเล็กตรอนจะเดินทางจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าบนวัสดุ ทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าและความต่างศักย์ซึ่งสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาใช้ประโยชน์ได้ เช่น การชาร์จแบตเตอรี่สมาร์ตโฟน ใช้ในรถยนต์ประหยัดพลังงาน ตู้แช่เครื่องดื่ม แอร์ส่วนตัว เป็นต้น [2]

Sujith และคณะ [4] ได้ศึกษาและออกแบบกล่องเก็บความเย็นด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกและการใช้ประโยชน์จากปรากฏการณ์

เพลเทียร์พบว่า อุณหภูมิที่ต่ำสุดในกล่องอยู่ที่ 13 °C และใช้เวลา 7 ชั่วโมง 30 นาที อุณหภูมิในกล่องจึงเพิ่มกลับมามีขึ้นถึง 33 °C และประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบ (COP) เท่ากับ 0.124 Yang และคณะ [3] ได้ศึกษาและทดลองหากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพ (COP) ในการระบายความร้อน CPU ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล TEC-12708 พบว่ากระแสไฟฟ้า 9.8 A เป็นกระแสไฟฟ้าที่ทำให้อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าต่ำสุดที่ 18 °C

Jiten และคณะ [6] ได้ศึกษาทดลองเพิ่ม COP ในระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการระบายความร้อนด้วยน้ำกับการระบายความร้อนด้วยอากาศโดยป้อนกระแสไฟฟ้าที่ 0.5 A - 2.0 A พบว่าค่า COP กรณีการระบายความร้อนด้วยน้ำมีค่า 0.05 - 0.21 และ COP จากการระบายความร้อนด้วยอากาศมีค่า 0.03 - 0.13 ประสิทธิภาพการระบายความร้อน

ด้วยน้ำดีกว่าประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยอากาศ และได้อุณหภูมิต้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่าต่ำสุดที่ 18 °C

Venkatesan และ Venkataramanan [7] ได้ศึกษาทดลองเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกพบว่า การทำความเย็นของระบบ (Q_c) สูงสุดใช้กระแสไฟฟ้าป้อนที่ 0.2-0.3 เท่าของกระแสไฟฟ้าสูงสุดและค่า COP เปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้ ค่า COP สูงสุดที่ได้จากการทดลองคือ 1.53 ที่ อัตราส่วนกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.25

Kabeel และคณะ [5] ได้ศึกษาทดลองผลของการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าและอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อน ที่มีผลต่อค่า COP ในระบบระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ทดลองคือ TEC – 12706 พบว่าค่า COP ของเทอร์โมอิเล็กทริกลดลงเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าและเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนค่า COP สูงสุดจากผลการศึกษายู่ที่ 0.6

จะเห็นว่าปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยและนำเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้ประโยชน์ทั้งด้านความร้อนและด้านความเย็น แต่ยังมี การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกในวงที่แคบอยู่ เนื่องจากสมรรถนะของเทอร์โมอิเล็กทริกค่อนข้างต่ำ วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าบ่งชี้สมรรถนะของวัสดุ (Figure of merit, ZT) สูง การระบายความร้อนที่ฮีทซิงค์ยังไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิต้านร้อนและด้านเย็นยังไม่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาทดลองพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

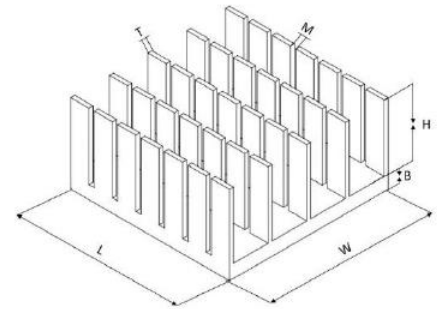
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเงื่อนไขการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อสมรรถนะการทำความเย็น (COP) โดยได้กำหนดพารามิเตอร์การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อสมรรถนะการทำอากาศเย็น ได้แก่ อัตราการทำความเย็นที่ฮีทซิงค์ด้านเย็น กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกและอัตราการระบายความร้อนออกที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (ฮีทปั๊ม)

2.1 ตัวแปรและเงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษา

กำลังไฟฟ้า (P_e) ที่ป้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์ในช่วง 10-136 W กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมต้านร้อน (P_h) ในช่วง 0.05-1.90 W และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมด้านเย็น (P_c) ในช่วง 0.0-2.09 W โดยได้มีการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านครีบทำความเย็น (ฮีทซิงค์) ในท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับทำอากาศเย็นในช่วง 2.54 - 24.58 cfm และอัตราการไหลของอากาศระบายความร้อนที่ผ่านฮีทปั๊มในช่วง 3.36-27.46 cfm

2.2 ฮีทซิงค์

ฮีทซิงค์ที่ใช้ในการทดลองถูกขึ้นรูปจากอะลูมิเนียมอัลลอยด์มีลักษณะดังรูปที่ 1 มีขนาดของฐาน 60 x 60 mm² และความสูง 25 mm ตัวครีบบีลักษณะเป็นซี่ มีความหนา 1.5 mm โดยรายละเอียดได้แสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 ฮีทซิงค์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 รายละเอียดลักษณะของฮีทซิงค์

รายละเอียด	ขนาด
ความยาวของฐานฮีทซิงค์ (L)	60 mm
ความกว้างของฐานฮีทซิงค์ (W)	60 mm
ระยะห่างระหว่างครีบบีฮีทซิงค์ (G)	13.1 mm
ความสูงของครีบบีฮีทซิงค์ (H)	25 mm
ความกว้างของครีบบีฮีทซิงค์ (T)	1.5 mm
ความหนาของฐานฮีทซิงค์ (B)	5 mm
จำนวนครีบบีฮีทซิงค์ (n)	5
ความกว้างของร่องตามขวางของฮีทซิงค์ (M)	2 mm
พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์ (A_f)	22,965 mm ²

2.3 แผ่นเพลเทียร์

แผ่นเพลเทียร์ที่ใช้ในการทดลองคือ TEC1-12715 ดังรูปที่ 2 ทำจาก BiSn เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกและมีรายละเอียดของแผ่นเพลเทียร์ดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 แผ่นเพลเทียร์

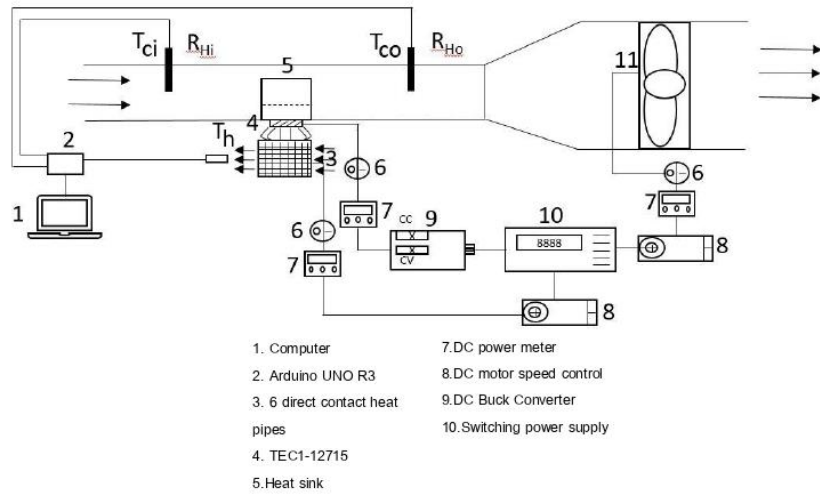
ตารางที่ 2 รายละเอียดของแผ่นเพลเทียร์ที่ใช้ทดสอบ

รายละเอียด	ค่าที่กำหนด
ขนาดของแผ่นเพลเทียร์ (กว้าง × ยาว × หนา)	40×40×3.3 mm
ความต้านทานภายในแผ่นเพลเทียร์	0.8 - 0.9 Ω
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด	DC12V
กระแสไฟฟ้าสูงสุด	15 A
Cooling power	142 W
ความแตกต่างอุณหภูมิต้านร้อนและด้านเย็นสูงสุดของแผ่นเพลเทียร์	62 °C

2.4 ชุดทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดหน้าตัด 40 x 100 mm² มีความยาว 1.5 m เพียงพอที่จะทำการไหลในท่อผ่านฮีทซิงค์เป็นแบบพัฒนาตัวแล้ว (Fully developed flow) จากนั้นมีการขยายหน้าตัดให้มีขนาด 120 x 120

mm² เพื่อติดตั้งพัดลมใช้ในการดูดอากาศให้ไหลเข้าภายในท่ออากาศได้ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 และวัดความชื้นสัมพัทธ์เพื่อวัดผลต่างอุณหภูมิก่อนและหลังฮีทซิงค์ แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยใช้บอร์ด Arduino UNO R3 แล้วบันทึกเข้าคอมพิวเตอร์



- 1. Computer
- 2. Arduino UNO R3
- 3. 6 direct contact heat pipes
- 4. TEC1-12715
- 5. Heat sink
- 6. DC power meter
- 7. DC motor speed control
- 8. DC Buck Converter
- 9. Switching power supply

รูปที่ 3 ชุดทดลอง

2.5 วิธีการทดลอง

ในการทดลองได้กำหนดการปรับเปลี่ยนอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนด้านเย็น และการให้กำลังไฟฟ้าแก่แผ่นเพลเทียร์ไว้ 16 เงื่อนไข โดยทำการปรับค่าเงื่อนไขการทำงานของระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกตามช่วงที่ระบุในหัวข้อ 2.1 ในการทดลองได้ทำการปรับอุณหภูมิอากาศเข้าของอากาศ (T_a) ให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25°C ± 1°C และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเพลเทียร์ ให้กับพัดลมระบายอากาศด้านร้อนและให้กับพัดลมทำอากาศเย็นด้านเย็น ตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่านแผงระบายความร้อน (ฮีทไปป์) ด้านร้อนและอากาศที่ไหลผ่านฮีทซิงค์ด้านเย็นและตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เวลาที่ใช้ในการทดลองแต่ละเงื่อนไข 1 ชั่วโมงในการรักษาอุณหภูมิอากาศเย็นที่ได้เพื่อให้แน่ใจว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

2.5 สมการที่ใช้

สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกหาได้จากสมการที่ 1

$$COP_{tc} = \frac{q_{tc}}{q_{th} - q_{tc}} \quad (1)$$

โดยที่

COP_{tc} คือ สมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเพลเทียร์

q_{tc} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์, W

q_{th} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเพลเทียร์, W

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์หาได้จากสมการที่ 2 และสมการที่ 3

$$q_{tc} = \left[(\alpha I T_c) - \frac{(I^2 R)}{2} - (K \Delta T) \right] \quad (2)$$

$$q_{th} = \left[(\alpha I T_h) - \frac{(I^2 R)}{2} - (K \Delta T) \right] \quad (3)$$

q_{tc} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์, W

q_{th} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเพลเทียร์, W

α คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบค, V/K

I คือ กระแสไฟฟ้า, A

T_c คือ อุณหภูมิที่ด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์, K

T_h คือ อุณหภูมิที่ด้านร้อนของแผ่นเพลเทียร์, K

R คือ ความต้านทานไฟฟ้า, Ω

K คือ ค่าการนำความร้อนของแผ่นเพลเทียร์, W/K

สมรรถนะในการทำความเย็นของอากาศหาได้จากสมการที่ 4

$$COP_a = \frac{q_{ac}}{P_E} \quad (4)$$

$$P_E = P_e + P_{fc} + P_m$$

โดยที่

q_{ac} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของอากาศ, W

P_e คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จ่ายให้แก่แผ่นเพลเทียร์, W

P_{fc} คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพัดลมที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก, W

P_m คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพัดลมที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก, W

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศที่ด้านเย็นหาได้จากสมการ 5

$$q_{ac} = \dot{m}_a (h_1 - h_2) \quad (5)$$

โดยที่

h_1 คือ ค่าเอนทัลปีของอากาศที่ทางเข้าที่ด้านเย็น (kJ/kg da)

h_2 คือ ค่าเอนทัลปีของอากาศที่ทางออกของที่ด้านเย็น (kJ/kg da)

\dot{m}_a คือ อัตราไหลเชิงมวลของอากาศ (kg da/s)

อัตราการไหลของอากาศหาได้จากสมการที่ 6

$$V_f = Au_i \quad (6)$$

โดยที่

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่ออากาศด้านเย็น (m²)

u_i คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านท่ออากาศด้านเย็น (m/s)

อัตราไหลเชิงมวลของอากาศหาได้จากสมการที่ 7

$$\dot{m}_a = \frac{V_f}{v_a} \quad (7)$$

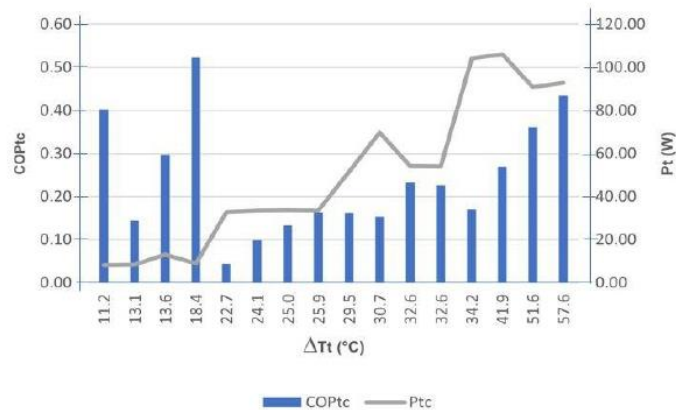
โดยที่

V_f คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m³/s)

v_a คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (m³/kg da)

3. ผลการศึกษา

จากผลการทดลองพบว่าสมรรถนะการทำอากาศเย็นที่มากที่สุด (COP_a) คือ 1.49 ดังรูปที่ 5 ที่กำลังไฟฟ้า (P_e) ที่จ่ายให้แก่แผ่นเพลเทียร์ 11.6 W อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็น (q_{ac}) และด้านร้อนของอากาศ (q_{ah}) อยู่ที่ 20.50 W และ 12.31 W ตามลำดับ ที่เงื่อนไขนี้ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ (ΔT_i) เท่ากับ 13.6 °C ดังในรูปที่ 4 ส่งผลให้สมรรถนะของแผ่นเพลเทียร์ (COP_{ptc}) เท่ากับ 0.3 ส่วนสมรรถนะในการทำความเย็นของอากาศ (COP_a) ต่ำสุดอยู่ที่ 0.03 ดังในรูปที่ 5 เมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้แก่แผ่นเพลเทียร์ 135 W กำลังไฟฟ้าที่พัดลมด้านร้อนและด้านเย็น 0.06 W ที่เงื่อนไขนี้ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวแผ่นเพลเทียร์สูงสุดเท่ากับ 57.6 °C และได้สมรรถนะการทำความเย็นของแผ่นเพลเทียร์ (COP_{ptc}) เท่ากับ 0.43 ดังในรูปที่ 4



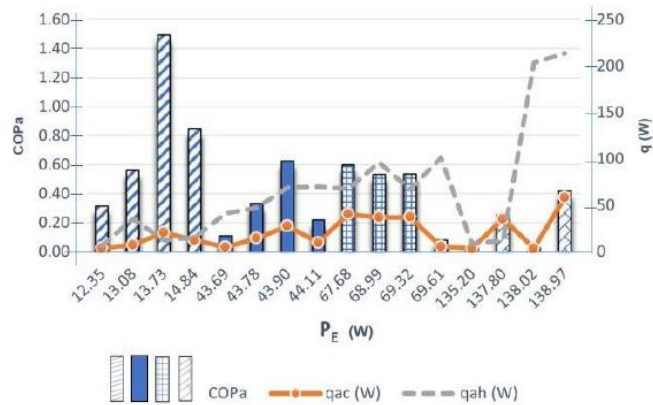
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของความแตกต่างอุณหภูมิผิวด้านร้อน-เย็นแผ่นเพลเทียร์ (ΔT_i) กับสมรรถนะในการทำความเย็นของแผ่นเพลเทียร์ (COP_{ptc}) และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่แผ่นเพลเทียร์ (P_t)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 3 พบว่า กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์ อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและด้านเย็นซึ่งเป็นผลจากกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพัดลมระบายความร้อนที่ด้านร้อน และด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ ปัจจัยทั้งสามล้วนมีผลต่อสมรรถนะการทำอากาศเย็นทั้งสิ้น เงื่อนไขที่ทำให้ได้สมรรถนะการทำความเย็นของอากาศสูงไม่ใช่เงื่อนไขที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดเพียงอย่างเดียวแต่ยังเป็นเงื่อนไขที่ป้อนกำลังไฟฟ้าในช่วง 66-68 W ด้วย ดังในรูปที่ 5 ซึ่งอยู่ที่ 50% ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผ่นเพลเทียร์

(135 W) และความแตกต่างอุณหภูมิที่ด้านร้อนด้านเย็นที่แผ่นเพลเทียร์มีค่าสูงขึ้นไปไม่ได้ทำให้สมรรถนะการทำอากาศเย็นของแผ่นเพลเทียร์มีค่าสูงตามไปด้วยและหากไม่สามารถระบายความร้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์ได้อย่างเพียงพอจะส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนไปยังด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการป้อนกำลังไฟฟ้าที่สูงให้แก่แผ่นเพลเทียร์ดังในรูปที่ 4 แม้ว่าจะได้ค่า COP_a สูงสุดตามเงื่อนไขจากผลการศึกษา แต่ให้ความสามารถในการทำความเย็นค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อน

ของแผ่นเพลเทียร์ค่อนข้างต่ำจึงไม่สามารถลดอุณหภูมิด้านเย็นให้ต่ำลงได้อีกทั้งการให้กำลังไฟฟ้าแก่แผ่นเพลเทียร์ค่อนข้างต่ำย่อมส่งผลต่อการทำความเย็นต่ำเช่นกันขณะที่การทำความเย็นสูงสุด 58 W (q_{ac}) ให้ค่า COP_a เท่ากับ 0.42 พบว่าอัตราส่วนของอัตราการทำ

ความเย็นต่ออัตราการระบายความร้อน (q_{ac}/q_{ah}) เท่ากับ 0.27 และ ΔT_c เท่ากับ 34.2



รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แผ่นเพลเทียร์ (P_E) กับสมรรถนะในการทำความเย็นของอากาศ (COP_a) และอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อน (q_{ah}) และด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ (q_{ac})

4.สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปแบบของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนและด้านเย็นโดยการปรับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้พัฒนาที่ด้านร้อนและด้านเย็นและกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แผ่นเพลเทียร์ จากการศึกษาพบว่าเงื่อนไขการทำงานที่ทำให้สมรรถนะการทำความเย็นของอากาศสูงสุด ไม่ใช่ค่าที่สูงที่สุดของปัจจัยทั้งสาม แต่ค่าสมรรถนะการทำความเย็นของอากาศ (COP_a) ที่มากที่สุดคือ 1.49 มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของอากาศ (q_{ac}) อยู่ที่ 20.50 W อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนของอากาศ (q_{ah}) อยู่ที่ 12.31 W ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นเพลเทียร์ (P_E) อยู่ที่ 11.6 W ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำหากต้องการอัตราการทำความเย็นที่สูงโดยไม่ต้องใช้กำลังไฟฟ้าให้กับแผ่นเพลเทียร์สูงสุดสามารถให้กำลังไฟฟ้าแก่แผ่นเพลเทียร์ที่ 50% ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดและรักษาอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนและด้านเย็นไว้ที่ 40-55%

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน), "เทอร์โมอิเล็กทริกส์Thermoelectrics", (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่ <https://www.slri.or.th/th/slriresearch/thermoelectrics.html>, วันที่ 25 กรกฎาคม 2563
- [2] สุณีรัตน์ พุกตะ, "แนวโน้มพลังงานแห่งอนาคต (Future Energy Trend)", (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่ <https://www.greennetworkthailand.com>, วันที่ 25 กรกฎาคม 2563
- [3] Yang Cai, Di Liu, Jing-Jing Yang, Yu Wang and Fu-Yun Zhao, "Optimization of thermoelectric cooling system for application in CPU cooler," in The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016 , 2017.
- [4] Sujith G, Antony Varghese, Ashish Achankunju, Rejo Mathew, Renchi George and Vishnu V, "Design and Fabrication of

Thermoelectric Refrigerator with Thermosiphon System," International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS), vol. 2, no. 4, pp. 373-379, 2016.

[5] A. E. Kabeel, M. G. Mousa, Moataz M. Abdelaziz, Ravishankar Sathyamurthy and Mohamed Abdelgaied, "Performance of the novel design thermoelectric cooling system," Heat Transfer, pp. 1-19, 2020.

[6] Jiten Makadia, Nirav Meghpara and Sanket Pandya, "Enhancement in the COP of Thermoelectric Cooler Used for Cooling of Small Electronic Circuits," Journal of Refrigeration, Air Conditioning, Heating and Ventilation, vol. 6, no. 3, pp. 20-23, 2019.

[7] K. Venkatesan and M. Venkataramanan, "Experimental and Simulation Studies on Thermoelectric Cooler: A Performance Study Approach," International Journal of Thermophysics , vol. 41, no. 38, pp. 1-23, 2020.



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ประกาศนียบัตรฉบับนี้มอบไว้เพื่อแสดงว่า
โชคทวี สุริยวัฒน์สิน, ฐานันดรศักดิ์ เทพญา

ได้เสนอบทความ เรื่อง การศึกษาพารามิเตอร์การทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก
ในการประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 20)
จัดขึ้นระหว่างวันที่ 18-19 มีนาคม 2564
ณ โรงแรม บีพี สมิหลา บีช รีสอร์ท จังหวัดสงขลา

ให้ไว้ ณ วันที่ 19 มีนาคม 2564

(ศาสตราจารย์ ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์)

ประธานการจัดประชุมวิชาการ
เรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 20)

เอกสารเผยแพร่ผลงานวิชาการ ที่ 2

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

โชคทวี สุริยวัฒน์สิน, ฐานันดรศักดิ์ เทพญา, วรากร สุวรรณเรืองศรี และอุกฤษฏ์
รำจวนจร. (2565). สมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก
ที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, มกราคม-
มีนาคม 2565, 33(1), 91-100.



วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

ENGINEERING JOURNAL OF RESEARCH AND DEVELOPMENT

ปีที่ 33 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มีนาคม พ.ศ. 2565

Volume 33 Issue 1 January - March 2022

Print ISSN 2730-1761 (Former 0857-7951)

Online ISSN 2730-2733

<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eit-researchjournal>



วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

Engineering Journal of Research and Development

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.จงรักษ์ ผลประเสริฐ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.ปราโมทย์ เคชมา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.วัลลภ สุระกำพลธร	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ศ.ดร.สง่า ตั้งขวาล	สาขาวิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ศ.ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.สุเมธ ชวเคช	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.ปารเมศ ชูตีมา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะอนุกรรมการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

ประธานอนุกรรมการ

รศ.ถาวร อมตกิตติ์

อนุกรรมการ

ศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล	รัตนธรรมสกุล
ดร.เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์	วิฑูราภรณ์
ศ.ดร.ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง	เหล่าศิริหงษ์ทอง
ผศ.ดร.ธนาคล คงสมบูรณ์	คงสมบูรณ์
ผศ.ดร.นิมิต บุญภิรมย์	บุญภิรมย์
ผศ.ดร.ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา	มาลากุล ณ อยุธยา
รศ.ดร.พงศกร พรณรัตน์ศิลป์	พรณรัตน์ศิลป์
ผศ.พิพัฒน์ ภูริปัญญาคุณ	ภูริปัญญาคุณ
ผศ.พิศิษฐ์ แสง-ชูโต	แสง-ชูโต
ศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์	ตั้งศรีรัตน์
ศ.ดร.สง่า ตั้งขวาล	ตั้งขวาล
ผศ.ดร.อาจรี ศุภสุธิกุล	ศุภสุธิกุล

อนุกรรมการและเลขานุการ

รศ.ดร.ปรีชา กอเจริญ



สมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ
COOLING PERFORMANCE OF THERMOELECTRIC COOLER BOX USING WATER COOLING SYSTEM

โชคทวี สุริยวัฒน์สิน^{1*}, ฐานันครศักดิ์ เทพญา², วรกร สุวรรณเรืองศรี³ และอุกฤษฏ์ ราชานจร⁴

^{1,3,4} นักศึกษา, ² อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

*Corresponding author, E-mail: sharkta-august@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกกับอุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆ มากขึ้น เทอร์โมอิเล็กทริกมักใช้กับระบบทำความเย็นที่มีขนาดเล็กหรือใช้เก็บรักษาความเย็นในกล่องที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก งานวิจัยนี้ได้ศึกษากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ในกล่องขนาดความจุ 17.5 L โดยไม่มีการระบายความร้อน ทดลองป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12715 ตั้งแต่ 19.3-74.1 W ที่อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในกล่อง 32 cfm อัตราการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ที่ 90 L/h และมีการระบายความร้อนออกจากน้ำหล่อเย็นผ่านหม้อน้ำ ผลการศึกษพบว่าค่า COP สูงสุดของการทำความเย็น เท่ากับ 0.53 มีอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_c) 8.2 W ที่กำลังไฟฟ้าป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 19.3 W และ q_c สูงสุด 18.7 W เกิดขึ้นที่ กำลังไฟฟ้าป้อน 74.1 W โดยค่า COP ของการทำความเย็นเท่ากับ 0.32 จะเห็นว่าค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไม่ได้ส่งผลให้ q_c และ COP มีค่าสูงสุดไปพร้อมๆ กัน หากต้องการอัตราการทำความเย็นที่เหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าที่ป้อน จะต้องป้อนกำลังไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 43.3-58.8 W ทำให้รักษาอุณหภูมิต่ำสุดในกล่องทำความเย็นไว้ที่ $2.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ได้

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก; อัตราการทำความเย็น; สัมประสิทธิ์สมรรถนะ; ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ

ABSTRACT

Currently, thermoelectric has been increasingly applied to various cooling equipment. It is commonly used in a small-size refrigeration system or in portable cooler box for cold storage. This research studied power supplies to thermoelectric affecting the cooling performance (COP) in a 17.5 L cooler box without cooling load. In experiment, electric power ranging from 19.3-74.1W was supplied to TEC1-12715 modules while airflow inside cooler box was kept at 32 cfm. A 90 L/h cooling water was circulated through a water block, attached on hot side of thermoelectric, and removed heat via radiator. The results showed that maximum COP was 0.53 occurred at cooling rate (q_c) of 8.2 W and input power of 19.3 W. A maximum cooling rate of 18.7 W was achieved at 74.1 W input power, and consequently 0.32 COP. It can be seen that the maximum power input to the thermoelectric was not resulted in the maximum q_c and COP concurrently. If optimum cooling rate was required, the thermoelectric modules must be powered in the range of 43.3-58.8 W to keep the lowest temperature in the cooling box by $2.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

Chocktawee Suriyawattanasin^{1*}, Thanansak Theppaya², Warakorn Suwanruengsi³ and Ukrit Ramchaunhom⁴

^{1,3,4}Student, ² Lecturer, Department of Mechanical and Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering,

Prince of Songkla University, Thailand.

KEYWORD: Thermoelectric; Cooling rate; Coefficient of Performance; Water cooling system

1. บทนำ

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนจากพลังงานความร้อนให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าได้หรือในทางตรงกันข้าม เทอร์โมอิเล็กทริกก็ยังสามารถเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนได้เช่นเดียวกัน [1] ปรากฏการณ์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน มี 3 ปรากฏการณ์ได้แก่ ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) และปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect) [2] ปัจจุบันได้มีการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในการทำความเย็นมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น การระบายความร้อนให้กับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และกล่องทำความเย็นขนาดเล็ก เป็นต้น

Kabeel และคณะ [3] ได้ศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกและอัตราการระบายความร้อนด้วยน้ำที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก TEC-12706 พบว่า COP ลดลงเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อน ค่า COP สูงสุดจากผลการศึกษายู่ที่ 0.6 Jiteen และคณะ [4] ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการระบายความร้อนด้วยน้ำกับอากาศที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ซึ่งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลองคือ TES1-03104T125 โดยกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในช่วง 0.3-5 W พบว่าค่า COP การระบายความร้อนด้วยน้ำอยู่ระหว่าง 0.05-0.21 และมีค่าสูงกว่า COP การระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งอยู่ระหว่าง 0.03-0.13 และได้อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกต่ำสุด 18 °C ชีรเดช [5] ได้ศึกษาการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้ทำความเย็นสำหรับกระดิกเก็บวัคซีนขนาด 3 ลิตร โดยใช้ศึกษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมกับการรักษาอุณหภูมิระหว่าง 2-8 °C เพื่อเก็บวัคซีนทั้งมีภาวะและไม่มีภาวะ โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 โมดูล (TEC1-12708) พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 8 V กระแสไฟฟ้า 5.86 A สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำสุด 5.5 °C กรณีไม่มีภาวะและได้อุณหภูมิ 6.0 °C กรณีมีภาวะซึ่งเหมาะสำหรับการรักษาอุณหภูมิระหว่าง 2-8 °C ศาสตรา [6] ได้ศึกษาการพัฒนาต้นแบบกระเป๋ารักษาอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (power bank) หรือถ่านไฟฉายทดสอบกับชุดเทอร์โม-อิเล็กทริกที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าคงที่ 12 V และป้อนกระแสไฟฟ้า 6 A และ 10 A ตามลำดับเป็นระยะเวลา 120 นาที พบว่าการติดตั้งชุดเทอร์โมอิเล็กทริก 10 A 2 โมดูลและพัดลมกระจายความเย็น 2 ตัว สามารถรักษาอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในกระเป๋าน้ำที่ 7.24 °C ซึ่งเหมาะสมในการเก็บรักษาตัวยา นอกจากนี้ยังมีการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับการนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในระบบทำความเย็น เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำความเย็น (q_c) และ COP เช่น กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก [7-8] ตำแหน่งของชุด Thermoelectric module (TEM) ในกล่องทำความเย็น [9] แรงดันไฟฟ้าและอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก [10] และการทำน้ำเย็น โดยใช้การทำความเย็นจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก [11] เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ปัจจัยทุกปัจจัยล้วนมีผลต่ออัตราการทำความเย็นและ COP ทั้งสิ้นแต่ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดคือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

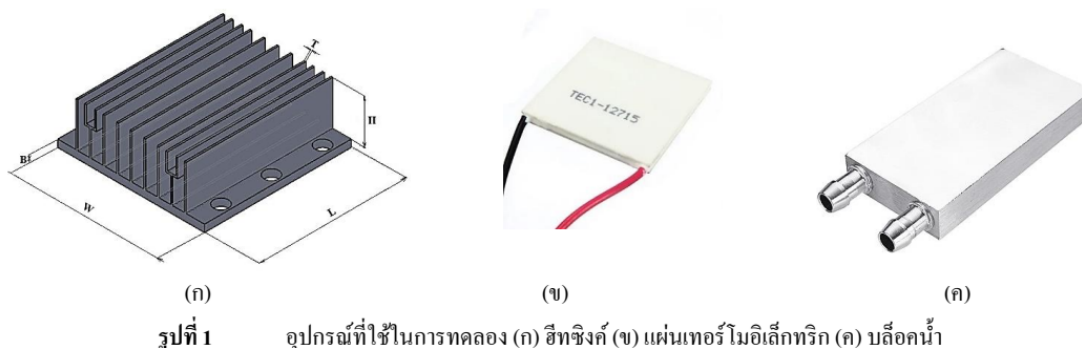
จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ที่สำคัญคือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก โดยต้องมีอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างเหมาะสม ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่อ COP ในกล่องทำความเย็น โดยออกแบบให้มีอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อน (q_h) ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างเพียงพอเพื่อให้สามารถรักษาอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นได้ต่ำกว่า 5 °C

2. วิธีวิจัย

2.1 ตัวแปรและเงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษา

กำลังไฟฟ้า (P) ที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวแปรหลักถูกปรับค่าไว้ในช่วง 19.3-74.1 W ซึ่งได้ทดสอบเบื้องต้นแล้วว่าเพียงพอต่อการทำความเย็นในกล่องทำความเย็นขนาด $18.7 \times 41.5 \times 22.5 \text{ cm}^3$ (17.5 L) ที่อัตราการหมุนเวียนอากาศเย็นภายในกล่อง 32 cfm และอัตราการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกผ่านบล็อกน้ำและหม้อน้ำระบายความร้อนที่ 90 L/h และเพียงพอต่ออัตราการดึงความร้อนออกจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยได้ออกแบบให้อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนมีค่าประมาณ 300 W เพื่อไม่ให้ความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสูงเกินไป จนทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกหรือทำให้อุณหภูมิด้านเย็นสูงขึ้นจนใกล้เคียงอุณหภูมิด้านร้อน จนไม่สามารถทำความเย็นได้

3. วัสดุอุปกรณ์และชุดทดลอง



ตารางที่ 1 รายละเอียดและคุณสมบัติของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (TEC1-12715) [12]

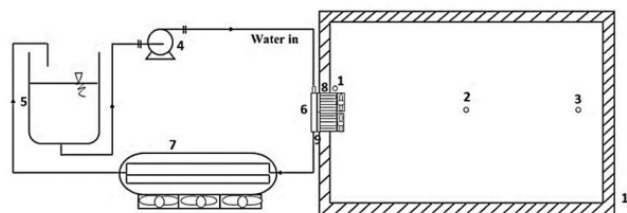
รายละเอียด	คุณสมบัติ
ขนาดของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (กว้าง×ยาว×หนา)	$40 \times 40 \times 3.3 \text{ mm}^3$
ความต้านทานภายในแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	$0.8 - 0.9 \Omega$
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด	12V DC
กระแสไฟฟ้าสูงสุด	15 A
ความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อน-ด้านเย็นสูงสุด	62°C
Cooling rate	142 W
Seebeck Coefficient (α)	0.023 V/K
Resistivity (R)	0.82Ω
Device Thermal Conductance (K)	1.15 W/K

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ฮีทซิงค์ที่ทำจากอะลูมิเนียมอัลลอยด์มีลักษณะดังรูปที่ 1 (ก) มีขนาดของฐาน 60×80 mm² และความสูงครีป 24 mm มีจำนวน 11 ครีป ตัวครีปมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความหนา 1 mm แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลองคือ TEC1-12715 ใช้จำนวน 2 แผ่นดังรูปที่ 1 (ข) ทำจาก BiSb เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีรายละเอียดและคุณสมบัติดังตารางที่ 1 บล็อกน้ำที่ใช้ในการทดลองทำจากอะลูมิเนียม มีขนาด $40 \times 80 \times 12$ mm³ ดังรูปที่ 1 (ค)

3.2 ชุดทดลอง

รูปที่ 2 แสดงผังชุดทดลองระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบขึ้นจากโมดูล TEC1-12715 จำนวน 2 โมดูล ติดตั้งในกล่องโฟม (EPS Foam) ความจุขนาด $18 \times 41.5 \times 22.5$ cm³ (17.5 L) พัดลมที่ใช้ในการหมุนเวียนอากาศติดตั้งที่ด้านเย็นที่มีฮีทซิงค์ติดกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก บังน้ำหล่อเย็น 13.5 W สำหรับระบายความร้อนจากบล็อกน้ำที่ติดอยู่กับด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก หมุนเวียนน้ำผ่านหม้อน้ำระบายความร้อนที่มีพัดลมระบายความร้อน 3 ตัว กำลังไฟรวม 7.8 W มีอัตราการระบายอากาศ 81.5 cfm ใช้ระบายความร้อนออกจากหม้อน้ำเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 ± 1 °C เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศภายนอก ในกล่องทำความเย็นได้ติดตั้งพัดลมหมุนเวียนอากาศขนาด 4×4 cm² จำนวน 2 ตัว รวม 1.9 W ขนาดของพัดลมทั้งสองมีขนาดพอดีกับพื้นที่เปิดของฮีทซิงค์ด้านเย็น โดยมีอัตราการหมุนเวียนอากาศ 32 cfm และติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 ที่ปรับเทียบแล้วเพื่อวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 1, 2 และ 3 ความละเอียดของอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 2



1, 2, 3. Temperature sensor DS18B20 4. Pump 5. Water tank 6. Water block
7. Radiator 8. Heat sink 9. TEC1-12715 (2 modules) 10. Cooler box 17.5 L

รูปที่ 2 ผังชุดทดลองกล่องทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้น้ำในการระบายความร้อน

4. วิธีการทดลอง

ทำการทดลองปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 19.3-74.1 W โดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องทำความเย็น 3 ตำแหน่ง ผ่านทางบอร์ด Arduino MEGA 2560 R3 เก็บข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ทุกวินาทีต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานในสภาวะคงตัว ค่าอุณหภูมิที่ได้นำมาเฉลี่ยทุก 5 นาที ทำการวัดอุณหภูมิด้านเย็น-ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิน้ำที่ใช้ระบายความร้อนด้วยดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราการทำความเย็น (q_c) รวมทั้งตรวจวัดค่าผลต่างอุณหภูมิน้ำก่อนและหลังเข้าบล็อกน้ำ เพื่อประเมินอัตราการระบายความร้อนของน้ำหล่อเย็นว่าเพียงพอเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่

ตารางที่ 2 รายละเอียดของอุปกรณ์ในการวัด

NO.	Parameter	Symbol	Instrument	Accuracy	Resolution
1	DC voltage (A)	I	Fluke-83-III	$\pm(0.4\%+2)$	0.01A
2	DC current (V)	V	UT890C	$\pm(0.7\%+3)$	0.01V
3	Room temperature ($^{\circ}\text{C}$)	T_R	Fluke 51 II	$\pm(0.05\%+0.3^{\circ}\text{C})$	0.1 $^{\circ}\text{C}$
4	TEC cold-side temperature and temperature inside cooling box ($^{\circ}\text{C}$)	T_{1, T_2, T_3}	Sensor DS18B20	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	-
5	TEC hot-side temperature ($^{\circ}\text{C}$)	T_h	Fluke 51 II	$\pm(0.05\%+0.3^{\circ}\text{C})$	0.1 $^{\circ}\text{C}$
6	Air Velocity (m/s)	v	Digicon DA-48SD	$\pm(5\%+1\text{m/s})$	0.1 m/s

4.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณสมรรถนะการทำความเย็น

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกหาได้จากสมการที่ (1)

$$COP = \frac{q_c}{P_t} \quad (1)$$

$$P_t = q_h - q_c \quad (2)$$

โดยที่ COP คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น

q_c คือ อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

q_h คือ อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

P_t คือ ผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นและอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกหาได้จากสมการที่ (3) และ (4)

$$q_c = \left[(\alpha \cdot I \cdot T_c) - \frac{(I^2 \cdot R)}{2} - (K \cdot \Delta T_i) \right] \quad (3)$$

$$q_h = \left[(\alpha \cdot I \cdot T_h) + \frac{(I^2 \cdot R)}{2} - (K \cdot \Delta T_i) \right] \quad (4)$$

โดยที่ α คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบค (V/K)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

- T_h คือ อุณหภูมิความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
 R คือ ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)
 K คือ ค่าการนำความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W/K)
 ΔT_t คือ ผลต่างอุณหภูมิความร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกคำนวณจากสมการที่ (5)

$$P = IV \quad (5)$$

- โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
 I คือ กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (A)
 V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (V)

ความไม่แน่นอนของอัตราการทำความเย็น (q_c) สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P_t) และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P) สามารถหาได้ในรูปของความไม่แน่นอนสัมพัทธ์ (Relative Uncertainty) ดังสมการที่ (6), (7), (8) และ (9)

$$\frac{\delta q_c}{q_c} = \sqrt{\left(\frac{\delta IT_c}{IT_c}\right)^2 + \left(\frac{\delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\delta \Delta T_t}{\Delta T_t}\right)^2} \quad (6)$$

$$\frac{\delta COP}{COP} = \sqrt{\left(\frac{\delta q_c}{q_c}\right)^2 + \left(\frac{\delta P_t}{P_t}\right)^2} \quad (7)$$

$$\frac{\delta P_t}{P_t} = \sqrt{(\delta q_c)^2 + (\delta q_h)^2} \quad (8)$$

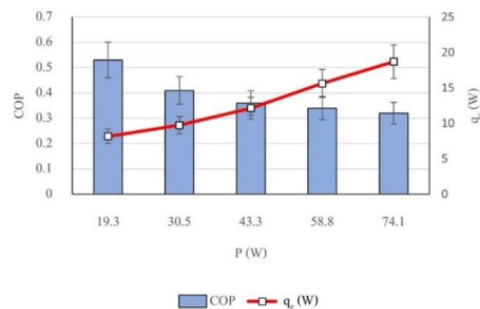
$$\frac{\delta P}{P} = \sqrt{\left(\frac{\delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V}\right)^2} \quad (9)$$

- โดยที่ δq_c คือ ค่าความไม่แน่นอนของอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
 δq_h คือ ค่าความไม่แน่นอนของอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
 δCOP คือ ค่าความไม่แน่นอนของสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น
 δP_t คือ ค่าความไม่แน่นอนของผลต่างระหว่างอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนและอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
 δIT_c คือ ค่าความไม่แน่นอนของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ควัด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

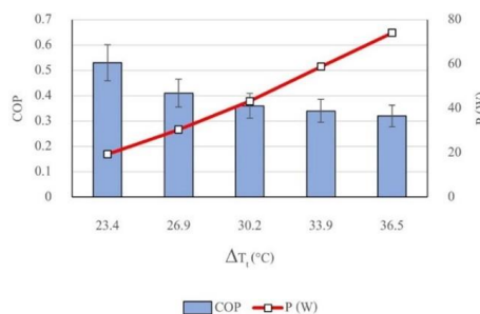
- δP คือ ค่าความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
- δI คือ ค่าความไม่แน่นอนของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
- δV คือ ค่าความไม่แน่นอนของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
- $\delta \Delta T_c$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของผลต่างอุณหภูมิด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

5. ผลและการอภิปรายผลการทดลอง

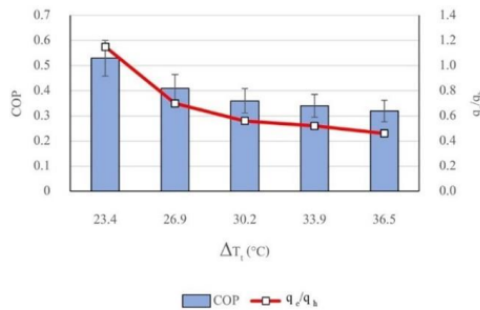
จากผลการทดลองพบว่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มากที่สุดมีค่า 0.53 ดังรูปที่ 3 โดยกำลังไฟฟ้า (P) ที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า 19.3 W (4 A) อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_c) เท่ากับ 8.2 W ขณะที่อัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_h) เท่ากับ 7.1 W และที่เงื่อนไขนี้ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_c) เท่ากับ 23.4 °C ดังในรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาอัตราส่วน q_c/q_h ในรูปที่ 5 จะเห็นว่ามีค่าเท่ากับ 1.15 แม้ว่าอัตราส่วน q_c/q_h มีค่ามากกว่า 1 แต่ค่า q_c ที่ได้นี้มีค่าค่อนข้างต่ำและไม่สามารถลดอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นได้ต่ำกว่า 5 °C ส่วนค่า COP ต่ำสุดอยู่ที่ 0.32 เมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 74.1 W (8 A) ได้ q_c สูงสุดเท่ากับ 18.7 W ดังในรูปที่ 3 ขณะที่ ΔT_c เท่ากับ 36.5 °C ดังในรูปที่ 4 จะเห็นว่าอัตราส่วน q_c/q_h เท่ากับ 0.46 ซึ่งน้อยกว่า 1 ดังในรูปที่ 5 และสามารถลดอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นให้มีค่าต่ำกว่า 5 °C ได้ดังในรูปที่ 6



รูปที่ 3 ผลของกำลังไฟฟ้า (P) ที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_c)

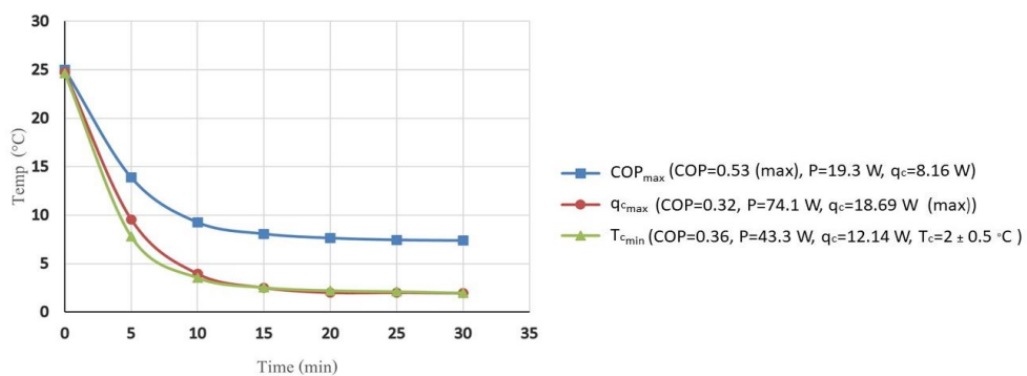


รูปที่ 4 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_c) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็น (COP) และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P)



รูปที่ 5 ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ΔT_i) กับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราส่วนของอัตราการทำความเย็นต่ออัตราการระบายความร้อน (q_c/q_h)

จะเห็นว่าหากต้องการ q_c เพิ่มขึ้นและต้องการอุณหภูมิในกล่องทำความเย็นที่ต่ำ จะต้องเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อสร้างความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและเย็น (ΔT_i) ให้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ q_h มากกว่า q_c แต่หากอุณหภูมิที่ด้านร้อนสูงเกินไปและไม่สามารถระบายความร้อนออกจากด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างเพียงพอก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนไปยังด้านเย็น ส่งผลให้ด้านเย็นไม่สามารถรักษาอุณหภูมิในการทำความเย็นให้ต่ำได้ ซึ่งในภาคทดลองนี้ความสามารถในการระบายความร้อนโดยใช้บล็อกน้ำและหม้อน้ำที่ด้านร้อนที่ตรวจวัดได้มีค่า 300 W ที่กำลังไฟฟ้าป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก 74.1 W ซึ่งเป็นไปตามอัตราการระบายความร้อนที่ได้ออกแบบไว้ส่วนค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือตามตารางที่ 2 เมื่อนำมาคำนวณค่าความไม่แน่นอนสัมพัทธ์ของ COP ได้ 13.39% ของ q_c มีค่า 12.66% และของ P มีค่า 1.4%



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (เฉลี่ย) ในกล่องทำความเย็นตามเวลาในช่วงเวลา 30 นาที ที่เงื่อนไข $COP_{(max)}$, $q_{c(max)}$ และ $T_{c(min)}$

จากผลการทดลองที่ก่ำลังไฟฟ้าป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 19.3-74.1 W จะเห็นว่าไม่จำเป็นต้องป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกสูงสุดเพื่อให้ได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นสูงสุดหรือเพื่อให้ได้อุณหภูมิการทำความเย็นต่ำสุด แต่สามารถป้อนกำลังไฟฟ้าเพียง 74.1 W ประมาณ 1 ใน 4 ของกำลังไฟฟ้าสูงสุด (277 W) ก็สามารถรักษาอุณหภูมิในกล่องขนาด

17.5 L ให้ต่ำกว่า 5°C ได้ ดังในรูปที่ 6 และยังพบว่าสภาวะการทำงานที่ทำให้ได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) สูงสุดไม่ได้เกิดขึ้นที่ค่าที่สูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในการทดลองนี้เช่นกัน แต่เกิดขึ้นที่ค่ากำลังไฟฟ้า 19.3 W ดังในรูปที่ 3 ซึ่งให้ค่าอัตราการทำความเย็นที่ต่ำ ส่วนความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นที่แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงขึ้น ไม่ได้ทำให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงตามไปด้วย หากไม่สามารถระบายความร้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างเพียงพอ จะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อนไปยังด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็น (q_c) และสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นลดลง และหากพิจารณาอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของอัตราการทำความเย็นต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก ($\Delta q_c/\Delta P$) หรือความชันของเส้นกราฟ ดังในรูปที่ 3 จะเห็นว่าค่า q_c ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ P ที่เพิ่มขึ้นในช่วง 43.3-58.8 W จะมีอัตราส่วนที่สูงกว่าช่วงอื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แม้ค่า COP ของเทอร์โมอิเล็กทริกจะไม่สูงที่สุดแต่จะให้อัตราการทำความเย็นที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งจะเป็นเงื่อนไขที่ใช้พลังงานในการทำความเย็นต่ำกว่าโดยยังคงรักษาอุณหภูมิการทำความเย็นไว้ได้ต่ำกว่า 5°C ($2.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)

6. สรุปผล

บทความนี้ได้นำเสนอผลของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_c) ในกล่องทำความเย็นขนาด 17.5 L จากผลการศึกษาพบว่าเงื่อนไขที่ทำให้ได้ COP สูงสุดไม่ได้เกิดขึ้นที่ค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ แต่ COP สูงสุดเท่ากับ 0.53 ได้ q_c เพียง 8.2 W โดยอัตราการระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (q_h) เท่ากับ 7.1 W กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (P) เท่ากับ 19.3 W ถ้าต้องการได้อัตราการทำความเย็นของอากาศที่สูงเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริกโดยที่ COP ยังมีค่าสูง พบว่าจำเป็นต้องเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วง 43.3-58.8 W (~58-79%) ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการทดลองนี้ (74.1 W) ความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อน-เย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในช่วง $30.2-33.9^{\circ}\text{C}$ ทำให้สามารถเก็บรักษาอุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องทำความเย็นได้เท่ากับ $2.0\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ การใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีกำลังไฟฟ้าสูง (TEC1-12715) ให้ได้อัตราการทำความเย็นที่คิดจะใช้ระบบระบายความร้อนที่ด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพและไม่มีจำเป็นต้องป้อนกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็สามารถเก็บรักษาความเย็นภายในกล่องให้มีค่าต่ำกว่า 5°C ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยและขอขอบคุณบุคลากรในสาขาวิชาฯ ที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] นวระวัฒน์ เจริญสุข. การศึกษาขอบเขตวัสดุของเทอร์โมอิเล็กทริกส์, 2020. Available from: <http://www.thaiphysoc.org/article/313/> [Accessed 2 April 2021].
- [2] จิรประภา ทิมสุนทร. การออกแบบจำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกและขนาดของแหล่งระบายความร้อนเพื่อให้ทำงานร่วมกันอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2014.
- [3] Kabeel, A.E. et al. Performance of the novel design thermoelectric cooling system. *Heat Transfer*, 2020, pp. 1-19.

- [4] Makadia, Jiten, et al. Enhancement in the COP of Thermoelectric Cooler Used for Cooling of Small Electronic Circuits. *Journal of Refrigeration, Air Conditioning, Heating and Ventilation*, 2019, 6 (3), pp. 20-23.
- [5] ชีรเดช ภัทรวโรดม. กระดิกเก็บวิกซิ่นขนาดเล็กโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล. ปรินญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.
- [6] ศาสตรา เพาะชนะ. การพัฒนากระเป๋าบรรจุเวชภัณฑ์ที่ทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก. ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2561.
- [7] วีรชัย เลิศสถาพรสุข. การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้สำหรับระบบตู้แช่วัคซีนพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- [8] Mainil, Afdhal Kurniawan, et al. Portable Thermoelectric Cooler Box Performance with Variation of Input Power and Cooling Load. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 2018, 7 (2), pp. 85-92.
- [9] Mirmanto, M. et al. Experimental performances of a thermoelectric cooler box with thermoelectric position variations. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2019, 22, pp. 177-184.
- [10] Gökçek, Murat and Sahin, Fatih. Experimental Performance Investigation of Minichannel Water Cooled-Thermoelectric Refrigerator. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2017, pp. 54-62.
- [11] Khodegaonkar, Dilip, Ameya, and Patil, Madhav, Sudhir. Rapid Water Freezer Using Thermoelectric Module. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 2019, 6 (5), pp. 422-428.
- [12] Patel, et al. Fabrication and Analysis of Thermoelectric Cooling System. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 2019, 6 (4), pp. 332-336.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายโชคทวี สุริยวัฒนสิน

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6310120029

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2563

ทุนการศึกษา

ทุนการศึกษาโครงการปริญญาตรี-โท 5 ปี ปีงบประมาณ 2563 จากคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ปีงบประมาณ 2564 จากบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

โชคทวี สุริยวัฒนสิน และ ฐานันดรศักดิ์ เทพญา. การศึกษาพารามิเตอร์การทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะ
ของระบบทำอากาศเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก. การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์
ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 20 , โรงแรมปีพีสมิทธา ปีช รีゾート จ.สงขลา, 18 -
19 มีนาคม 2564, 48-53.

โชคทวี สุริยวัฒนสิน, ฐานันดรศักดิ์ เทพญา, วรากร สุวรรณเรืองศรี และอุกฤษฏ์ ไร่จวนจร. (2565).
สมรรถนะการทำความเย็นของกล่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ระบบระบายความ
ร้อนด้วยน้ำ. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, มกราคม-มีนาคม 2565, 33(1), 91-100.