



กระตาะเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์แบบปรับอุณหภูมิร้อน/เย็น

โดย

เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2562

A Thermoelectric Pan for Heating and Chilling Application

By

Jensak Ekburanawat

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2017

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการดำเนินโครงการวิจัยนี้จากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2562 ของมหาวิทยาลัยฯ และขอขอบคณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบคณผู้ช่วยวิจัยและผู้ที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้ทุกท่านที่ทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณประโยชน์ใด ๆ อันพึงเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ผู้มีพระคุณ ภรรยา และลูก ผู้เป็นกำลังใจ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง

ผศ.ดร.เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์

มิถุนายน 2562



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : C-15/2562

ชื่อโครงการ : กระทะเทอร์โมอิเล็กทริกแบบปรับอุณหภูมิร้อนและเย็น

ชื่อนักวิจัย : ผศ.ดร.เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างกระทะเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งเป็นกระทะที่สามารถทำได้ทั้งความร้อนและความเย็นในเครื่องเดียวกัน หลักการทำงานของกระทะจะใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEC1-12710 จำนวน 6 โมดูล เป็นอุปกรณ์สร้างความร้อนและความเย็น ด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งอยู่กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และอีกด้านหนึ่งติดตั้งอยู่กับแผ่นเหล็ก ขนาด $30 \times 40 \times 0.8$ เซนติเมตร ที่ใช้ทำเป็นแผ่นกระทะ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำหน้าที่รับความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแล้วส่งถ่ายความร้อนให้กับน้ำที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนหลังจากนั้นน้ำจะถ่ายเทความร้อนสู่บรรยากาศภายนอกผ่านทางหม้อน้ำแบบรังผึ้ง โดยมีพัดลมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อน ระบบควบคุมการทำงานของกระทะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม สั่งงานรีเลย์เพื่อทำการ ตัด-ต่อ หรือสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายไฟให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล กระทะเทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งการทำงานออกเป็น 3 โหมด 1) โหมดร้อน สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 107 องศาเซลเซียส กินกำลังไฟฟ้าสูงสุด 360 วัตต์ 2) โหมดอุ่น สามารถทำอุณหภูมิได้ที่ 79 องศาเซลเซียส กินกำลังไฟฟ้าสูงสุด 250 วัตต์และ 3) โหมดเย็นสามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำสุด 14 องศาเซลเซียส กินกำลังไฟฟ้าสูงสุด 300 วัตต์

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก / เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน / หม้อน้ำ / ไมโครคอนโทรลเลอร์

E-mail Address : jensak.eak@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2561 – กันยายน 2562

Abstract

Code of project : C-15/2562
Project name : A Thermoelectric Pan for Heating and Chilling Application
Researcher name : Asst. Prof. Dr. Jensak Ekburanawat

This research is a development of the thermoelectric pan which is capable of both heating and chilling on a single pan. This thermoelectric pan is composed of six thermoelectric modules as a source of hot and cold temperature. A heat exchanger is installed on one side of each thermoelectric module, whereas a steel plate attaches to the other side working as a heat/cold pan. The dimension of the pan is 30 x 40 x 0.8 cm approximately. The heat exchanger receives heat from thermoelectric modules and transfers it to water in the system, then the water circulates through a radiator passing heat to surroundings with a fan in order to increase its efficiency. The main control system consists of microcontroller circuits to manage relays to turn on/off or to switch the terminals of power supplies. The thermoelectric pan have three modes of operation; 1) Hot mode, the thermoelectric pan can reach maximum temperature at 107 °C by consuming 360 W maximum power, 2) Warm mode, the thermoelectric pan can generate temperature at 79 °C for 250W power consumption and 3) Cold mode, the thermoelectric pan can lower temperature to minimum at 14 °C taking 300W operating power.

Keyword: Thermoelectric / Heat exchanger / Radiator / Microcontroller

E-mail Address : jensak.eak@rmutr.ac.th

Period of project : October 2018 – September 2019

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1. ความเป็นมาของโครงการ	1
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
3. ขอบเขตโครงการวิจัย.....	2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
1. เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์.....	3
2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	6
3. ป้อนน้ำ.....	7
4. เทอร์โมคัปเปิ้ล.....	7
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
3 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	10
1. แนวคิดในการออกแบบ.....	10
2. การออกแบบกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์.....	10
3. การออกแบบระบบระบายความร้อน.....	12
4. การต่อวงจรเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์โมดูล.....	14

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5. วงจรไฟฟ้าและวงจรควบคุม.....	16
6. โครงสร้างของกระแทกเทอร์โมอิเล็กทริก.....	17
4 การทดลองและผลการทดลอง.....	19
1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	19
2. การทดลองและผลการทดลอง.....	19
3. ประสิทธิภาพของกระแทกเทอร์โมอิเล็กทริก.....	25
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	28
บรรณานุกรม.....	29
ประวัติผู้วิจัย.....	30



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานในแต่ละโหมด..... 16
2	การเปรียบเทียบพลังงานที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในแต่ละโหมดการทำงาน..... 25
3	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าในแต่ละโหมดการทำงาน..... 26
4	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน..... 27
5	การเทียบพลังงานระหว่างกระแทกเทอร์โมอิเล็กทริกกับกระแทกแบบอื่น ๆ 28



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์โมดูล.....	1
2 ปราบกฏการณ์ซีเบค.....	3
3 ปราบกฏการณ์เพลเทียร์.....	3
4 การเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ.....	4
5 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์โมดูล.....	4
6 เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ขณะทำความเย็น.....	5
7 เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ขณะเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้า.....	6
8 หม้อน้ำ.....	7
9 ป้อนแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	7
10 แผนภาพการทำงานของกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์.....	10
11 การออกแบบกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์.....	11
12 แบบด้านหน้าของกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์	11
13 แบบด้านหลังของกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์.....	11
14 ภาพโครงสร้างของกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์.....	12
15 ทิศทางการไหลของน้ำในระบบระบายความร้อน.....	12
16 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	13
17 ภาพตัดแสดงภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	13
18 หม้อน้ำและพัดลม.....	13
19 ทิศทางการไหลของอากาศผ่านหม้อน้ำ.....	14
20 รูปแบบการต่อวงจรทดลองหาระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม.....	15
21 อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์เมื่อต่อวงจรแบบต่าง ๆ	15
22 อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ที่แรงดันค่าต่าง ๆ	16
23 วงจรขับรีเลย์.....	17
24 ขั้นตอนการประกอบกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์.....	17

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
25	กระทะเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว..... 18
26	การทดลองวัดค่ากระแสและอุณหภูมิ..... 19
27	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่กระทะใช้เทียบกับเวลา (โหมดร้อน)..... 20
28	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่กระทะใช้เทียบกับเวลา (โหมดอุ่น)..... 20
29	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่กระทะใช้เทียบกับเวลา (โหมดเย็น)..... 21
30	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่กระทะใช้เทียบกับเวลา (เย็นสุด-ร้อนสุด).. 21
31	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่กระทะใช้เทียบกับเวลา (ร้อนสุด-เย็นสุด).. 22
32	กระทะเทอร์โมอิเล็กทริกขณะมีโหลดเป็นไข 2 ฟอง ที่อุณหภูมิร้อนสุด..... 22
33	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่ใช้เทียบกับเวลา (โหลดไข 2 ฟอง)..... 23
34	กระทะเทอร์โมอิเล็กทริกขณะมีโหลดเป็นแข็งโตเกียว..... 23
35	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสที่กระทะใช้เทียบกับเวลา (โหลดแข็งโตเกียว)..... 24
36	(ก) น่องไก่แช่แข็ง 2 กิโลกรัม (ข) น่องไก่หลังละลายน้ำแข็งแล้ว..... 24
37	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสที่ใช้เทียบกับเวลา (โหลดเป็นแข็งโตเกียว)..... 25

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาของโครงการ

ปัจจุบันอัตราการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพลังงานมีความจำเป็นต่อมนุษย์ตั้งแต่การใช้งานภายในครัวเรือนจนถึงระดับอุตสาหกรรม เมื่อมีการใช้พลังงานจำนวนมากทำให้ส่งผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ทำให้มนุษย์ตระหนักถึงผลกระทบที่จะตามมามากขึ้น ซึ่งเห็นได้จากมีการรณรงค์ต่าง ๆ เกี่ยวกับการใช้พลังงานให้คุ้มค่าที่สุด เช่น การสร้างเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมที่นำพลังงานสูญเสียมาไปมาใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือแม้กระทั่งการประหยัดพลังงานก็สามารถลดปัญหาพลังงานได้ ในชีวิตประจำวันมนุษย์ใช้พลังงานส่วนหนึ่งไปกับการปรุงอาหารและถนอมอาหาร ในรูปแบบของ พลังงานไฟฟ้า แก๊สหุงต้ม ถ่านไม้หรือชีวมวล ทั้งหมดนี้อาจเป็นการใช้พลังงานที่มากเกินไปจนมีความจำเป็นสำหรับการประกอบอาหาร

เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนรูปพลังงานที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ สามารถสร้างความเย็นและความร้อนได้จากปรากฏการณ์เพลเทียร์ หลักการทำงานของอุปกรณ์ คือ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ไหลผ่านสารกึ่งตัวนำสองชนิด (ชนิด N และ P) ที่อยู่ภายในอุปกรณ์ ด้านหนึ่งของอุปกรณ์จะเย็น (Cold Side) และอีกด้านหนึ่งของอุปกรณ์จะร้อน (Hot Side) อุณหภูมิทางด้านเย็นจะลดลงในขณะที่ความร้อนจะถูกดูดจากสิ่งแวดล้อม การดูดความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกทางด้านเย็นจะไปกระตุ้นทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิด P ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่มีระดับพลังงานสูงกว่า และปล่อยความร้อนที่อิเล็กตรอนได้รับทางด้านร้อนของอุปกรณ์ ในทางตรงกันข้าม ถ้าเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจะกลายเป็นด้านร้อนส่วนด้านร้อนนั้นจะกลายเป็นด้านเย็นสำหรับความสามารถในการทำความเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการทำความร้อน เนื่องจากความเย็นที่ผลิตได้ถูกลดทอนจากความร้อนที่ไหลย้อนกลับที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น และความร้อนที่เกิดจากความต้านทานไฟฟ้า [1,2]



ภาพที่ 1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีแนวคิดในการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้งาน โดยการสร้างกระทะที่สามารถทำความร้อนและความเย็นได้ในเครื่องเดียวกัน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของกระทะให้สามารถทำอาหารได้หลากหลายขึ้นและประหยัดพลังงานกว่ากระทะไฟฟ้าทั่วไป และมีความปลอดภัยสูงเมื่อเทียบกับการใช้

พลังงานจากก๊าซหุงต้ม จึงเหมาะสำหรับใช้ภายในอาหารบ้านพักอาศัยหรือการประกอบอาหารในที่ชุมชน เช่น ห้างสรรพสินค้า นอกจากนี้ยังสามารถปรับเป็นโหมดอุ่นเพื่อใช้ละลายอาหารแช่แข็งพวกเนื้อสัตว์ต่าง ๆ และปรับเป็นโหมดทำความเย็นเพื่อถนอมอาหารไม่ให้เน่าเสียได้อีกด้วย จากคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้กล่าวมาข้างต้น ขณะที่ผลิตความเย็นนั้นอีกด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกจะเกิดความร้อนสูงจึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนโดยใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ การระบายความร้อนที่ดีจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำ ความเย็นเพิ่มมากขึ้น ข้อดีของเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นคือ มีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก ใช้พลังงานน้อย ไม่มีส่วนที่ เคลื่อนไหวจึงไม่เกิดการสึกหรอ การวิจัยนี้จะครอบคลุมไปถึงการออกแบบโครงสร้างของกระเพาะให้เหมาะสม กับการใช้งานในชีวิตประจำวัน โดยมุ่งหวังจะพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตในระดับอุตสาหกรรมและ สามารถวางจำหน่ายในท้องตลาดได้

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างกระเพาะทำความร้อนและความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก
2. เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทริก
3. เพื่อศึกษาการนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้งาน

3. ขอบเขตของงานวิจัย

สร้างกระเพาะที่สร้างอุณหภูมิร้อนและเย็นจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยกระเพาะมีลักษณะเป็นเครื่อง รูปร่างเป็นกล่องสี่เหลี่ยม มีแผ่นเหล็กขนาดประมาณ 30 x 40 เซนติเมตร ติดตั้งอยู่ด้านบนเป็นพื้นผิวของ กระเพาะเพื่อใช้สร้างความร้อนหรือความเย็น กระเพาะสามารถทำความร้อนได้มากกว่า 100 องศาเซลเซียส ใน โหมดทำความร้อน และสามารถทำความเย็นได้ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ในโหมดทำความเย็น โดยมีการ ระบายความร้อนด้วยระบบหมุนเวียนน้ำผ่านหม้อน้ำขนาดเล็ก กระเพาะเทอร์โมอิเล็กทริกที่สร้างขึ้นนี้ควบคุม การทำงานด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า 500 วัตต์

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้เรื่องการประยุกต์ใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริก
2. มหาวิทยาลัยได้ต้นแบบของนวัตกรรมที่สามารถพัฒนาต่อยอดให้เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้
3. มหาวิทยาลัยได้สิทธิบัตรการประดิษฐ์หรือบทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับประเทศ

บทที่ 2

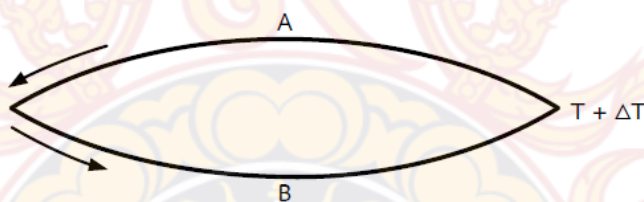
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงเนื้อหาทฤษฎีพื้นฐานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล และหลักการทำงานของอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่ใช้ในการวิจัย รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

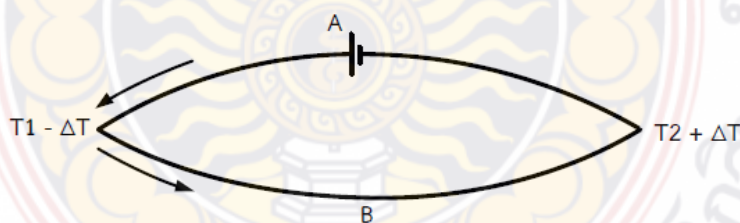
1. เทอร์โมอิเล็กทริก [2]

ในปี พ.ศ. 2364 โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ค้นพบว่า เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างรอยต่อของตัวนำสองชนิดจะทำให้เกิดไฟฟ้าไหลในวงจรปิด ซึ่งปรากฏการณ์นี้ถูกเรียกว่า ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) ดังภาพที่ 2 ต่อมาในปี พ.ศ. 2377 ฌอง ซี. เอ. เพลเทียร์ (Jean C. A. Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ได้ค้นพบว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำสองชนิดที่ต่อกัน จะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำสองชนิด ความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้าซึ่งปรากฏการณ์นี้ถูกเรียกว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) ดังภาพที่

3



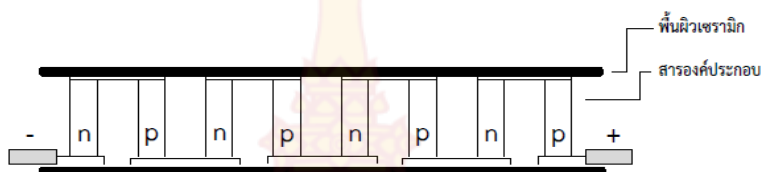
ภาพที่ 2 ปรากฏการณ์ซีเบค



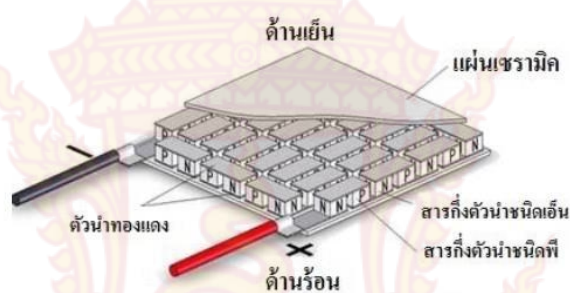
ภาพที่ 3 ปรากฏการณ์เพลเทียร์

จากการค้นพบปรากฏการณ์ทั้งสองได้ถูกนำมาพัฒนาจนกระทั่งได้ขึ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วย ตัวนำสองชนิดที่ต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้า และขนานกันทางความร้อน ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้ถูกเรียกต่อมาว่า “เทอร์โมอิเล็กทริก” 20 ปีต่อมาได้มีการค้นพบว่า เมื่อนำสารกึ่งตัวนำมาใช้แทนสารตัวนำในการ

สร้างเทอร์โมอิเล็กทริกจะให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงจากนั้นมีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจึงกลายเป็นหัวข้อวิจัยใหม่ที่น่าสนใจในสหรัฐอเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่น จนถึงปัจจุบัน



ภาพที่ 4 การเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

1.1 ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก [3]

เทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งการทำงานได้เป็น 2 โหมด ดังนี้

1.1.1 โหมดผลิตไฟฟ้า

ทำงานได้โดยให้ความต่างของอุณหภูมิบนแผ่นเซรามิกด้านบนและล่างทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเนื่องจากพาหะเอ็นและพีในสารกึ่งตัวนำเหล่านั้น ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวกเมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง โฮลนั้นก็ไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกันดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจึงไหลตามกันไปทิศทางเดียวกัน

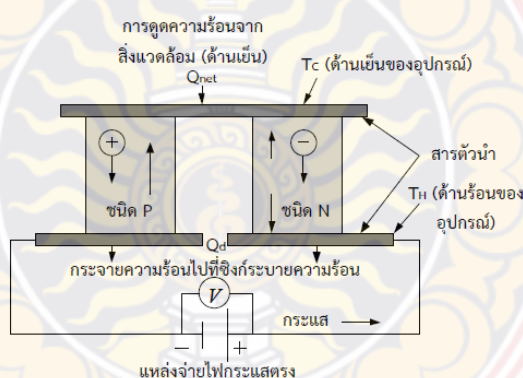
1.1.2 โหมดทำความร้อนและความเย็น

การทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจะเกิดขึ้นเมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปในสารกึ่งตัวนำชนิดพี และชนิดเอ็น 1 คู่ อุณหภูมิด้านบนที่จุดเชื่อมต่อนั้นจะลดลง จะมีการดูดกลืนความร้อนจาก

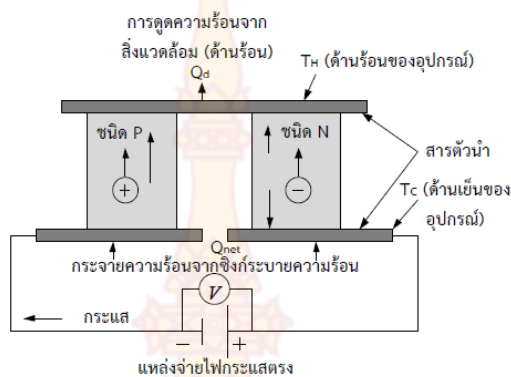
สิ่งแวดล้อม ความร้อนที่ถูกดูดกลืนนี้เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากชั้นที่มีพลังงานต่ำในสารกึ่งตัวนำชนิด P ไปสู่ชั้นที่มีพลังงานสูงในสารกึ่งตัวนำชนิด N ความร้อนที่ถูกดูดกลืนจะเคลื่อนที่ผ่านไปสู่อีกด้านหนึ่งของจุดเชื่อมต่อที่มีอุณหภูมิด้านร้อน ด้วยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และจะปล่อยความร้อน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่กลับไปสู่ชั้นที่มีพลังงานต่ำในสารกึ่งตัวนำชนิด P โดยปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “เพลเทียร์เอฟเฟค”

1.2 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก [4]

เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่สามารถสร้างความเย็น และ บังคับความร้อนได้ จากปรากฏการณ์เพลเทียร์ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น หลักการทำงานของอุปกรณ์มีดังนี้ เมื่อให้ ไฟฟ้ากระแสตรง ไหลผ่านสารกึ่งตัวนำสองชนิด (ชนิด N และ P) ที่อยู่ภายในอุปกรณ์ ด้านหนึ่งของอุปกรณ์จะ เย็น (Cold End) และอีกด้านหนึ่งของอุปกรณ์จะร้อน (Hot End) ดังแสดงในภาพที่ 6 อุณหภูมิทางด้านเย็น (T_c) จะลดลง ในขณะที่ความร้อนจะถูกดูดจากสิ่งแวดล้อมดูดความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกทางด้านเย็นจะ ไปกระตุ้นทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิด P ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าไปยังสารกึ่งตัวนำ ชนิด N ที่มีระดับพลังงานสูงกว่า และปล่อยความร้อนที่อิเล็กตรอนได้รับทางด้านร้อนของอุปกรณ์ ในทาง ตรงกันข้ามถ้าเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจะกลายเป็นด้านร้อน ส่วนด้านร้อนนั้นจะกลายเป็นด้านเย็น ดังแสดงในภาพที่ 7 สำหรับความสามารถในการทำความเย็นของ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการทำความร้อน เนื่องจากความเย็นที่ผลิตได้ถูกลดทอนจาก ความร้อนไหลย้อนกลับที่เกิดจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นและความร้อนที่เกิดจาก ความต้านทานไฟฟ้า



ภาพที่ 6 เทอร์โมอิเล็กทริกขณะทำความเย็น



ภาพที่ 7 เทอร์โมอิเล็กทริกขณะเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้า

จากภาพที่ 7 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกนั้นยังสามารถผันความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วยจากปรากฏการณ์ซีเบคที่กล่าวไปแล้ว หลักการทำงานของอุปกรณ์เพื่อเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้ามีดังนี้ เมื่อให้แหล่งความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทริกได้รับจะไปกระตุ้นการไหลของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้เกิดกระแสไหลภายในวงจรเมื่อต่อเข้ากับหลอดไฟฟ้าจะทำให้เกิดแสงสว่างขึ้น

2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน [5]

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เพื่อให้ของไหลนั้น ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำลงตามลักษณะของงานที่ต้องการใช้ เช่น ถ้าต้องการให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อจะเอาผลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้ในงานทำความเย็น ก็จะต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำให้ของไหลที่จะนำไปใช้นั้นมีอุณหภูมิต่ำลง เช่น ในงานปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ ๆ แต่ถ้าต้องการให้ผลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนออกมาให้ของไหลมีอุณหภูมิสูงขึ้น ก็ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ช่วยในการทำความร้อนให้กับของไหล เช่น ในงานผลิตกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ไอน้ำเป็นตัวขับเคลื่อน และต้องมีการอุ่นน้ำเลี้ยงที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ก็ต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ามาช่วยแทนที่ จะต้องเอาไอน้ำเย็นมาต้มซึ่งต้องใช้พลังงานและเวลามากกว่าที่จะได้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิตามที่ต้องการไปใช้งาน แต่ถ้ามีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก็สามารถนำน้ำหรืออากาศที่อุณหภูมิต่ำ มาแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วจึงนำไปต้มในหม้อไอน้ำที่จะทำให้ประหยัดพลังงานและเวลาได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งหลักการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของของไหลและชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.1 หม้อน้ำหรือรังผึ้ง

ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากน้ำให้อากาศด้วยการรับน้ำที่มีความร้อน และทำให้เย็นลงโดยให้อากาศที่พัดผ่านรับเอาความร้อนจากน้ำในหม้อน้ำไป หม้อน้ำประกอบด้วยหม้อน้ำส่วนบนและหม้อน้ำส่วนล่างระหว่างหม้อน้ำส่วนบนและส่วนล่าง จะมีท่อน้ำเล็ก ๆ หลายท่อเชื่อมอยู่ ทำให้น้ำแยกไหลไปตามท่อ ตรง

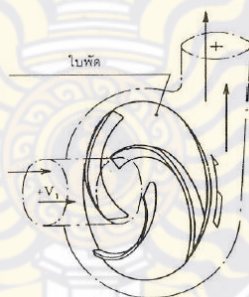
บริเวณท่อน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้จะมีโลหะเชื่อมติดเป็นครีบบ มีลักษณะคล้ายรังผึ้งเพื่อให้เกิดพื้นที่ผิวสำหรับระบายความร้อนได้มาก เมื่อน้ำที่มีอุณหภูมิสูงเหล่านี้ เคลื่อนตัวจากด้านบน ลงสู่ด้านล่าง ก็จะถ่ายเทความร้อนออกไป ให้ครีระบายความร้อน ขณะเดียวกัน พัดลมหม้อน้ำ ก็จะทำกรหมุน เพื่อดูดอากาศที่อยู่ด้านหน้าหม้อน้ำ ผ่านครีระบายความร้อนหม้อน้ำ ออกมาทางด้านหลัง เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนไปเป็นอากาศ



ภาพที่ 8 หม้อน้ำ

3. ปั๊มน้ำ

ปั๊มหรือเครื่องสูบเป็นเครื่องมือที่เพิ่มพลังงานในการไหลให้แก่ของไหล โดยอาศัยการเปลี่ยนพลังงานจากต้นกำลัง เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานเคมี เป็นพลังงานกลเพื่อใช้ขับของไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งตามที่ต้องการ สำหรับปั๊มแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump) ทำงานโดยการเพิ่มพลังงานในการไหลโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง การไหลของของไหลจะเข้ามาในทิศทางขนานกับเพลาลแล้วไหลออกทำมุม 90° กับทิศทางการไหลเข้าช่องทางเดินของของไหลมีหน้าตัดเพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวง



ภาพที่ 9 ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

4. เทอร์โมคัปเปิ้ล

เทอร์โมคัปเปิ้ล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (EMF) เทอร์โมคัปเปิ้ลทามาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นามาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิส่วนปลายอีกด้าน

หนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821

4.1 ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Effect)

ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่ สัมพันธ์กับความจริงที่ว่า อิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปรเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าโลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกันนั่นเอง

4.2 ผลของซีเบ็ค (Seebeck Effect)

โดยใช้ทฤษฎีโซลิตสแตด เราสามารถวิเคราะห์ค่า ได้จากย่านของอุณหภูมิ ดังกล่าวนั้นคือ

- ค่า EMF ที่เกิดจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ
- ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาหาเทอร์โมคัปเปิ้ลค่า EMF ก็จะมีค่าเป็นศูนย์
- ถ้าอุณหภูมิจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่า EMF ก็จะมีค่าเป็นศูนย์

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้พลังงานในการประกอบอาหารในปัจจุบันจะเป็นพลังงานจากก๊าซหุงต้มหรือจากพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบอาหารที่ใช้ไฟฟ้า เช่น กระทะไฟฟ้า หม้อไฟฟ้า กาต้มน้ำไฟฟ้า ล้วนแล้วแต่เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานมากเกินกว่า 1,000 วัตต์ แทบจะทุกชิ้น หากสามารถหาอุปกรณ์ทดแทนที่สามารถลดการใช้พลังงานลงได้แต่ยังคงใช้ประกอบอาหารได้เหมือนเดิมก็จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้อย่างมาก เทอร์โมอิเล็กทริกก็เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาทดแทนการใช้หลอดความร้อน (Heater) ได้ อีกทั้งยังสามารถทำงานในโหมดของการทำความเย็นได้อีกด้วย ดังเช่นงานวิจัยที่ยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

สัมฤทธิ์ อินอุดม (2546) [3] ได้พัฒนาเครื่องลดความชื้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกต้นแบบที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจำนวน 4 โมดูลครีبد้านเย็นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 50 มม. ยาว 40 มม. สูง 300 มม. ครีبد้านร้อนมีขนาด กว้าง 120 มม. ยาว 60 มม. สูง 300 มม. มีพื้นที่ผิวสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 0.015 ตารางเมตร และ 0.038 ตารางเมตร ตามลำดับ การถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก มี 2 ลักษณะคือ การถ่ายเทความร้อนแบบอิสระและแบบบังคับ ที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับโดยการติดตั้งพัดลม ทำการทดลองในห้องปิดขนาด 30 ตารางเมตร ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก 4 A

โดยมีประสิทธิภาพของการลดความชื้น (COP_D) เท่ากับ 0.27 และความสามารถในการลดความชื้นในห้อง เท่ากับ 0.544 กิโลกรัมต่อวัน มีค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า 3.5 บาทต่อวัน

เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และคณะ (2548) [4] ได้การออกแบบสร้างและทดสอบตู้น้ำเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยตู้น้ำเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่สร้างขึ้นแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนและส่วนของวงจรกำลังและการควบคุม ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนจะใช้เทอร์โมอิเล็กทริกดึงความร้อนออกจากน้ำในหม้อน้ำต้มแล้วระบายความร้อนผ่านน้ำที่ไหลในกล่องทองแดงที่ติดอยู่ทางด้านร้อนของตัวเทอร์โมอิเล็กทริก โดยน้ำจะไหลไปสู่แผงระบายความร้อน เพื่อระบายความร้อนให้กับอากาศอีกทอดหนึ่งก่อนไหลกลับไปถังพักเพื่อนำกลับไปใช้งานอีก ส่วนวงจรกำลังและการควบคุมนั้นเราใช้สวิตซ์ิงเพาเวอร์ซัพพลายในการจ่ายกระแสให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโดยมีวงจรควบคุมที่รับสัญญาณจากไอซีตรวจจับอุณหภูมิที่ติดตั้งอยู่ที่หม้อน้ำต้มเป็นตัวควบคุมการจ่ายกระแสให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อให้ได้อุณหภูมิของน้ำต้มตามที่ต้องการ

Cheng Wang และคณะ (2560) [5] ได้พัฒนาระบบทำความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริก (TE) แบบใช้พลังงานทดแทนซึ่งสามารถใช้แทนระบบทำความร้อนในปัจจุบันเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าโมดูล TE อาจเป็นทางเลือกสำหรับการทำความร้อนให้กับพื้นที่ภายในบ้านพักอาศัย โดยใช้พลังงานจากพลังงานทดแทน ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้งานโมดูลความร้อนในห้องปฏิบัติการ สามารถสร้างอุณหภูมิได้ 19-21 องศาเซลเซียส ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ ประมาณ 1-5 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิได้เพียงพอในระดับที่สามารถอยู่ได้อย่างสบาย จากการคำนวณชี้ให้เห็นว่าระบบทำความร้อนแบบเทอร์โมอิเล็กทริกแบบใช้พลังงานทดแทนในห้องถิ่นและการเก็บรักษาพลังงานสามารถช่วยลดการใช้พลังงานความร้อนภายในประเทศได้ถึง 64.03 % และลดการปล่อย CO₂ ลงได้ 4,305.40 กิโลกรัมต่อปี เมื่อเทียบกับการใช้หม้อต้มน้ำไฟฟ้าทั่วไป โดยมีค่า COP เฉลี่ยอยู่ที่ 1.8

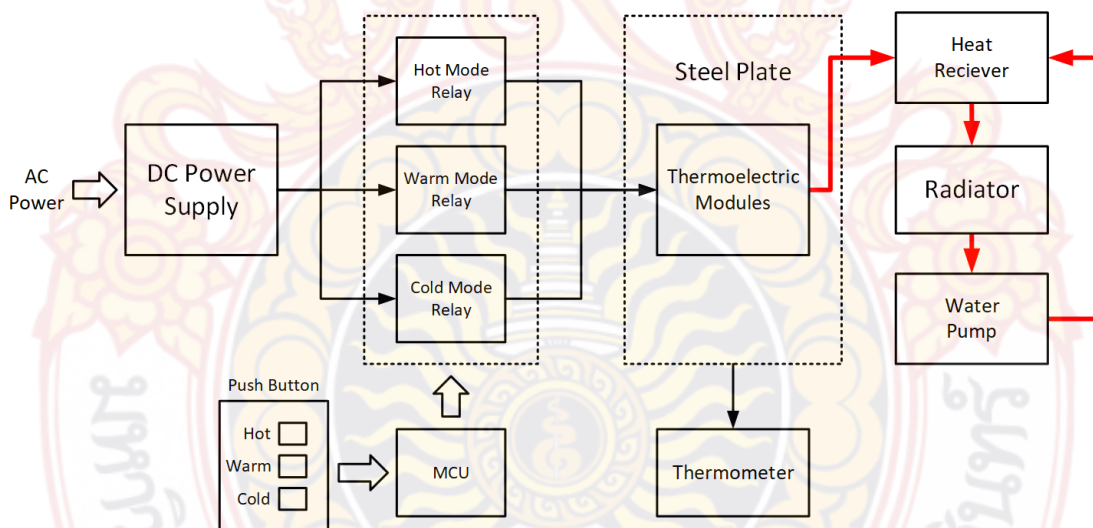
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการ

การดำเนินการวิจัยในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและขั้นตอนในการออกแบบและสร้างกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ทั้งร้อนและเย็นในเครื่องเดียวกัน

1. แนวคิดในการออกแบบ

แนวคิดในการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้งานในการสร้างกระเพาะเป็นกระเพาะรูปสี่เหลี่ยมที่สามารถทำความร้อนและความเย็นได้ในเครื่องเดียวกัน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของกระเพาะให้สามารถทำอาหารได้หลากหลายขึ้นและประหยัดพลังงานกว่ากระเพาะไฟฟ้าทั่วไป และมีความปลอดภัยสูงเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากก๊าซหุงต้ม จึงเหมาะสำหรับใช้ภายในอาหารบ้านพักอาศัยหรือการประกอบอาหารในที่ชุมชน เช่น ห้างสรรพสินค้า นอกจากนี้ยังสามารถปรับเป็นโหมดอุ่นเพื่อใช้ละลายอาหารแช่แข็งพวกเนื้อสัตว์ต่าง ๆ และปรับเป็นโหมดทำความเย็นเพื่อถนอมอาหารไม่ให้เน่าเสียได้อีกด้วย แผนภาพการทำงานของกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทริก แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แผนภาพการทำงานของกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทริก

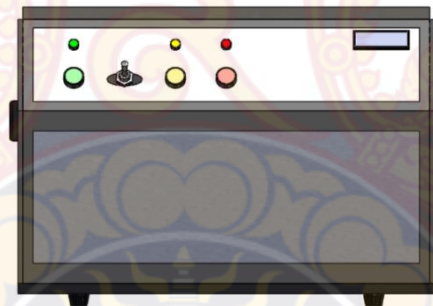
2. การออกแบบกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทริก

ทำการออกแบบกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้โปรแกรม Solid Work เขียนแบบ การออกแบบทำให้มีลักษณะคล้ายกับกระเพาะสี่เหลี่ยมที่ใช้ทอดแพนเค้ก หรือขนมโตเกียว ที่มีใช้งานโดยทั่วไป โดยจะใช้แผ่นเหล็กขนาด 30 X 40 X 1.2 ซม. เป็นแผ่นกระเพาะ ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จำนวน 6 โมดูล กับแผ่นกระเพาะ โดย

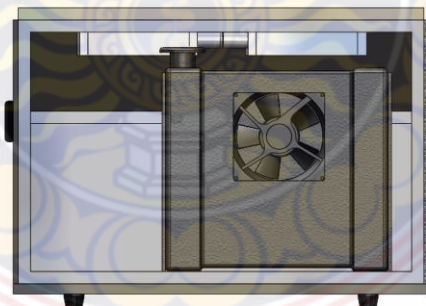
ติดตั้งให้ด้านหนึ่งของโมดูลติดอยู่กับแผ่นกระแทกและอีกด้านหนึ่งติดกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 11 ถึงภาพที่ 14



ภาพที่ 11 การออกแบบกระแทกเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 12 แบบด้านหน้าของกระแทกเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ (Front View)



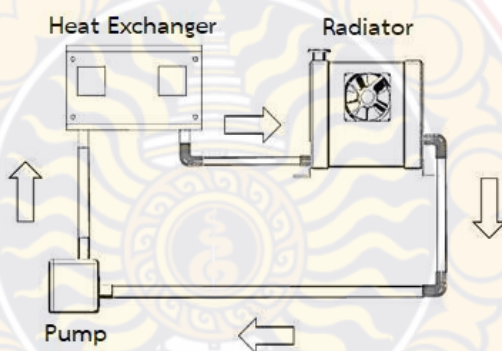
ภาพที่ 13 แบบด้านหลังของกระแทกเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ (Back View)



ภาพที่ 14 ภาพโครงสร้างของกระแทกเทอร์โมอิเล็กทริก

3. การออกแบบระบบระบายความร้อน

ระบบระบายความร้อนของกระแทกที่สร้างขึ้นนั้น ใช้สำหรับระบายความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในกรณีที่กระแทกทำงานในโหมดทำความเย็น และในทางกลับกันจะใช้ระบายความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในกรณีที่กระแทกทำงานในโหมดทำความร้อน และจะต้องออกแบบให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเพื่อให้เทอร์โมอิเล็กทริกทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยชุดระบายความร้อนจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ปั๊มน้ำ หม้อน้ำ และพัดลมระบายอากาศ การต่อวงจรของอุปกรณ์ในระบบระบายความร้อน และทิศทางการไหลของน้ำในระบบ แสดงดังรูปที่ 15

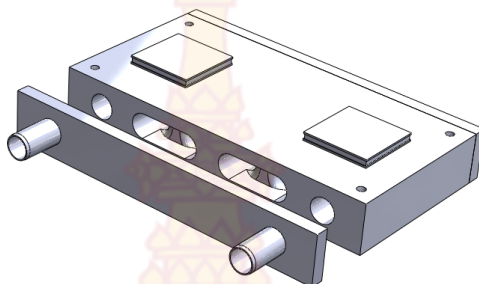


ภาพที่ 15 ทิศทางการไหลของน้ำในระบบระบายความร้อน

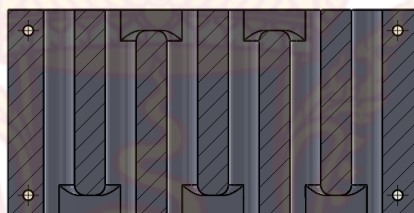
3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนหรือความเย็นระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลกับสารทำงานที่อยู่ในระบบ สารทำงานที่ใช้ในระบบนี้คือน้ำผสมกับน้ำยาระบายความร้อนหม้อน้ำรถยนต์ สารทำงานจะทำหน้าที่พาความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลไประบายออกสู่บรรยากาศผ่านทางหม้อน้ำ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ทำจากอลูมิเนียมซึ่งมีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนได้ดี มีน้ำหนัก

เบา ออกแบบทิศทางการไหลของสารทำงานภายในให้มีลักษณะสลับไปมา เพื่อให้ น้ำสามารถพาความร้อนไปได้มากที่สุด ลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น แสดงดังภาพที่ 16 และ 17



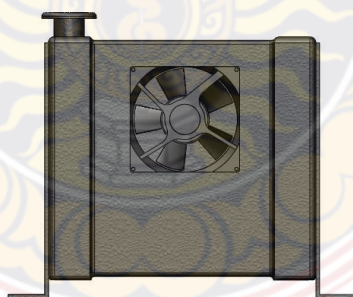
ภาพที่ 16 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



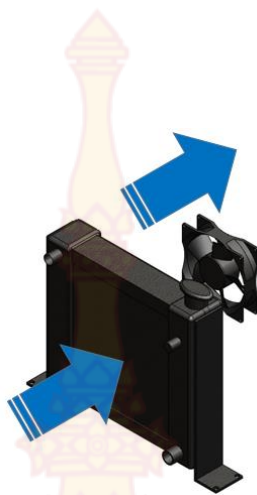
ภาพที่ 17 ภาพตัดแสดงภายในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

3.2 หม้อน้ำและพัดลมระบายความร้อน

การระบายความร้อนออกจากระบบเมื่อน้ำที่เป็นสารทำงานในระบบมีอุณหภูมิร้อนหรือเย็นไหลเข้าสู่หม้อน้ำ พัดลมระบายอากาศจะดูดอากาศให้ไหลผ่านหม้อน้ำเพื่อให้กระแสอากาศพาเอาความร้อนหรือความเย็นจากหม้อน้ำระบายสู่อากาศแวดล้อม แสดงดังภาพที่ 18 และ 19



ภาพที่ 18 หม้อน้ำและพัดลม



ภาพที่ 19 ทิศทางการไหลของอากาศผ่านหม้อน้ำ

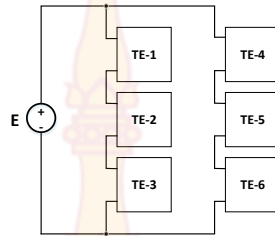
4. การต่อวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

ระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้นจะทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุดหรือทำอุณหภูมิต่ำสุดได้หรือไม่ ขึ้นอยู่กับระบบระบายความร้อน เพราะหากไม่สามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นออกจากตัวเทอร์โมอิเล็กทริกได้ทัน ความร้อนที่เกิดขึ้นทางด้านร้อนของโมดูลจะสะท้อนกลับมาจากด้านเย็นของโมดูล ทำให้โมดูลไม่สามารถทำความเย็นต่ำสุดได้ เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ ในทางปฏิบัติจึงต้องทำการทดสอบหารูปแบบการต่อวงจรของโมดูลและหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่จะจ่ายให้กับโมดูล ทั้งนี้เพื่อจะหาจุดที่ระบบทำงานเข้ากันได้เป็นอย่างดีและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ภาระเทอร์โมอิเล็กทริกออกแบบให้เลือกการทำงานได้ 3 โหมด ได้แก่ โหมดร้อน โหมดอุ่น และโหมดเย็น การทดลองหารูปแบบการต่อวงจรและหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับจ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกในแต่ละโหมดการทำงาน สามารถทำได้ดังนี้

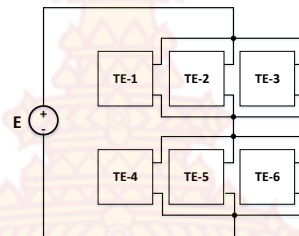
4.1. การทดลองหาค่าแรงดันที่เหมาะสมสำหรับโหมดทำความเย็น

ภาระเทอร์โมอิเล็กทริกที่สร้างขึ้นใช้เทอร์โมอิเล็กทริก จำนวน 6 โมดูล ติดตั้งในตำแหน่งกระจายทั่วแผ่นภาระเพื่อสามารถให้ความร้อน/ความเย็น ครอบคลุมพื้นที่ของภาระได้ การทดลองหาค่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานในโหมดทำความเย็นของภาระนั้น ทำการทดลอง 3 รูปแบบ ดังนี้

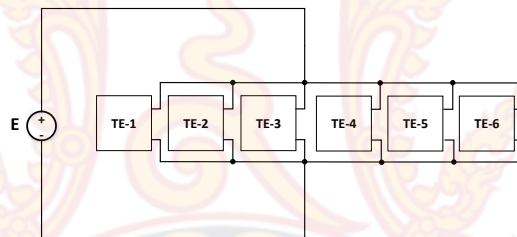
- แบบที่ 1 ต่อโมดูลอนุกรมกัน 3 โมดูล/ชุด แล้วนำมาต่อขนานกัน ดังรูปที่ 20 (ก)
- แบบที่ 2 ต่อโมดูลขนานกัน 3 โมดูล/ชุด แล้วนำมาต่ออนุกรมกัน ดังรูปที่ 20 (ข)
- แบบที่ 3 ต่อขนานกันทั้ง 6 โมดูล ดังรูปที่ 20 (ค)



(ก) ต่อวงจรแบบที่ 1

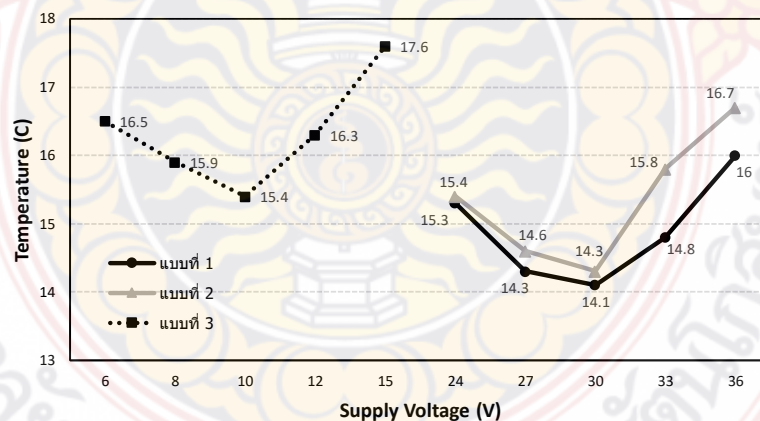


(ข) ต่อวงจรแบบที่ 2



(ค) ต่อวงจรแบบที่ 3

ภาพที่ 20 รูปแบบการต่อวงจรทดลองหาระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม



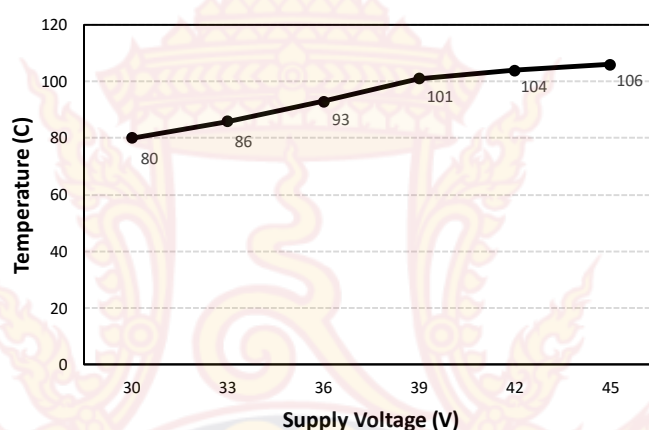
ภาพที่ 21 อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อต่อวงจรแบบต่าง ๆ

การทดลองหาระดับแรงดันที่เหมาะสมในโหมดทำความเย็น จะทำการต่อวงจรตามรูปแบบที่กำหนดไว้ (ภาพที่ 20) แล้วปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรเป็นลำดับขั้นจากน้อยไปหามาก ทำการอ่านค่าอุณหภูมิที่กระหะสามารถทำได้ทีระดับแรงดันค่าต่าง ๆ ทำซ้ำให้จนครบทุกรูปแบบวงจร แล้วนำค่าอุณหภูมิที่ได้จาก

การทดลองทั้ง 3 รูปแบบ มาเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบกัน จากภาพที่ 21 เห็นได้ว่าการต่อวงจรแบบที่ 1 จะสามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำสุดที่ 14.1 องศาเซลเซียส ที่ระดับแรงดัน 30 โวลต์คงที่

4.2 การทดลองหาค่าแรงดันที่เหมาะสมสำหรับโหมตทำความร้อน

ในส่วนของโหมตทำความร้อนนั้นเลือกใช้วิธีการต่อแบบเดียวกับโหมตทำความเย็น โดยหาระดับแรงดันที่เหมาะสมเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่สูงที่สุด จากการทดลองสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น อุณหภูมิก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย เป็นลักษณะกราฟแบบเส้นตรง ดังภาพที่ 22 ดังนั้นจึงเลือกใช้แรงดันที่ 45 โวลต์ เพื่อให้แรงดันที่ตกคร่อมต่อโมดูลเท่ากับ 15 โวลต์ ซึ่งได้อุณหภูมิที่สูงที่สุด 107°C



ภาพที่ 22 อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่แรงดันค่าต่าง ๆ

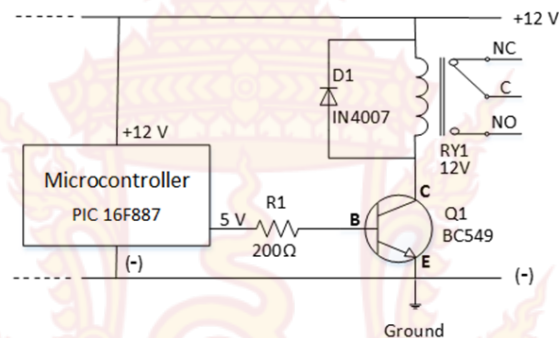
ตารางที่ 1 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานแต่ละโหมต

โหมต	ระดับแรงดัน (โวลต์)
โหมตทำความเย็น	30
โหมตอุ่น	30
โหมตทำความร้อน	45

5. วงจรจ่ายไฟและวงจรควบคุม

จากตารางที่ 1 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะจ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล มีอยู่ 2 ระดับ คือ 30 โวลต์ และ 45 โวลต์ อีกทั้งการทำงานในโหมตทำความเย็นจำเป็นต้องสลับขั้วของเทอร์โมอิเล็กทริกอีกด้วย เพื่อควบคุมการจ่ายไฟให้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลและการใช้งานที่คล่องตัว จึงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F887 มาควบคุมการทำงาน (ดูภาพที่ 23) โดยทำหน้าที่รับคำสั่งจากปุ่มกดที่หน้าเครื่องเพื่อควบคุมให้รีเลย์จ่ายไฟ

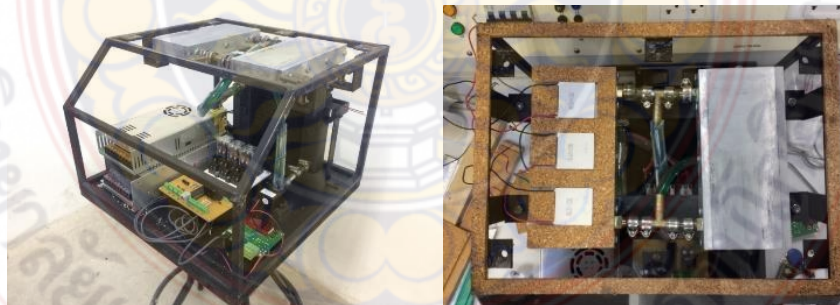
ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกตามโหมดการทำงานของกระหะ แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถขับขดลวดรีเลย์ให้ทำงานได้โดยตรง จึงต้องเพิ่มวงจรทรานซิสเตอร์เพื่อช่วยขยายกระแสให้สูงขึ้น โดยต่อทรานซิสเตอร์ Q1 เข้ากับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์และมีตัวต้านทาน R1 ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งจะทำงานก็ต่อเมื่อพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีสถานะเป็น “1” เมื่อ Q1 ทำงาน กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ซึ่งต่ออยู่กับขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ลงกราวด์ (ดูรูปที่ 9) รีเลย์ก็จะสามารถเปลี่ยนสภาวะการทำงานได้ และจะกลับสู่สภาวะเดิมเมื่อ พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีสถานะเป็น “0”



ภาพที่ 23 วงจรขับรีเลย์

6. โครงสร้างของกระหะเทอร์โมอิเล็กทริก

หลังจากหาค่าแรงดันที่เหมาะสมในแต่ละโหมดการทำงานพร้อมออกแบบวงจรควบคุมและจ่ายไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการแล้ว จึงเริ่มประกอบงานจริง โดยใช้เหล็กทำเป็นโครงสร้างของเครื่องและใช้แผ่นสแตนเลสทำเป็นเปลือกด้านนอก ภาพที่ 24 แสดงขั้นตอนการประกอบกระหะเทอร์โมอิเล็กทริกและ ภาพที่ 25 แสดงชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว



ภาพที่ 24 ขั้นตอนการประกอบกระหะเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพที่ 25 กระทะเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากทฤษฎีและขั้นตอนการวิเคราะห์ ออกแบบ และสร้างกระแทกเทอร์โมอิเล็กทริกในบทที่ 2 และ 3 ที่กล่าวมาแล้ว ในบทนี้จะเป็นการทดลองใช้งานและวัดค่าต่าง ๆ ของกระแทกเทอร์โมอิเล็กทริกได้แก่ อุณหภูมิ กระแส โดยเทียบกับเวลา โดยทำการวัดในขณะที่กระแทกอยู่ในสภาวะมีโหลดและไม่มีโหลด

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระแทกเทอร์โมอิเล็กทริก จะใช้เครื่องมือวัดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ในการวัดและบันทึกผลการทดลอง

- | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|
| 1. Multi Meter | ยี่ห้อ Yokogawa | จำนวน 1 เครื่อง |
| 2. Clamp Meter | ยี่ห้อ Extech | จำนวน 1 เครื่อง |
| 3. Power Meter | ยี่ห้อ Fluke | จำนวน 1 เครื่อง |
| 4. Infrared Multimeter | ยี่ห้อ Fluke | จำนวน 1 เครื่อง |
| 5. Thermocouple Type K | | จำนวน 1 เส้น |

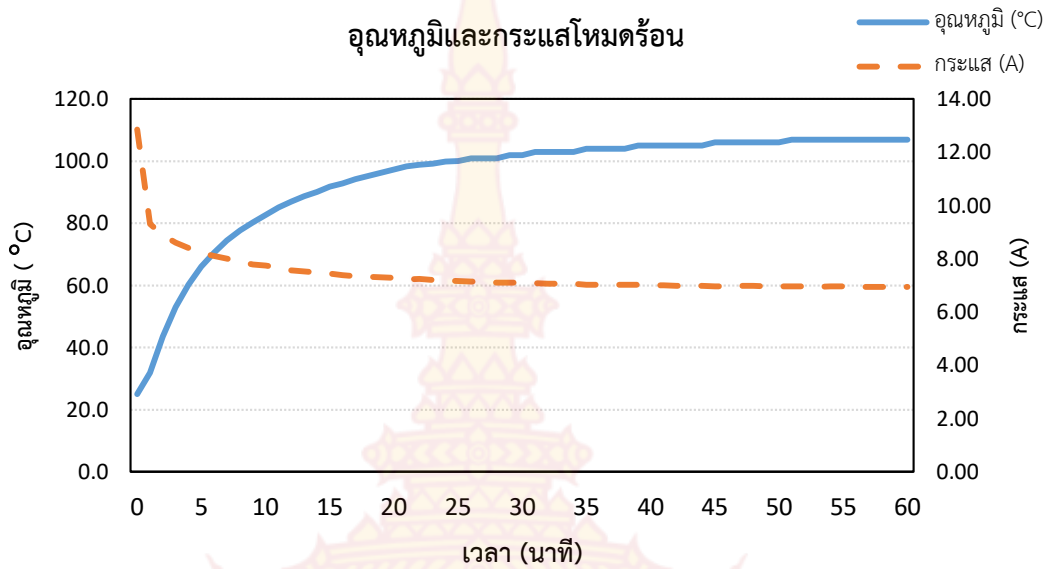


ภาพที่ 26 การทดลองวัดค่ากระแสและอุณหภูมิ

2. การทดลองและผลการทดลอง

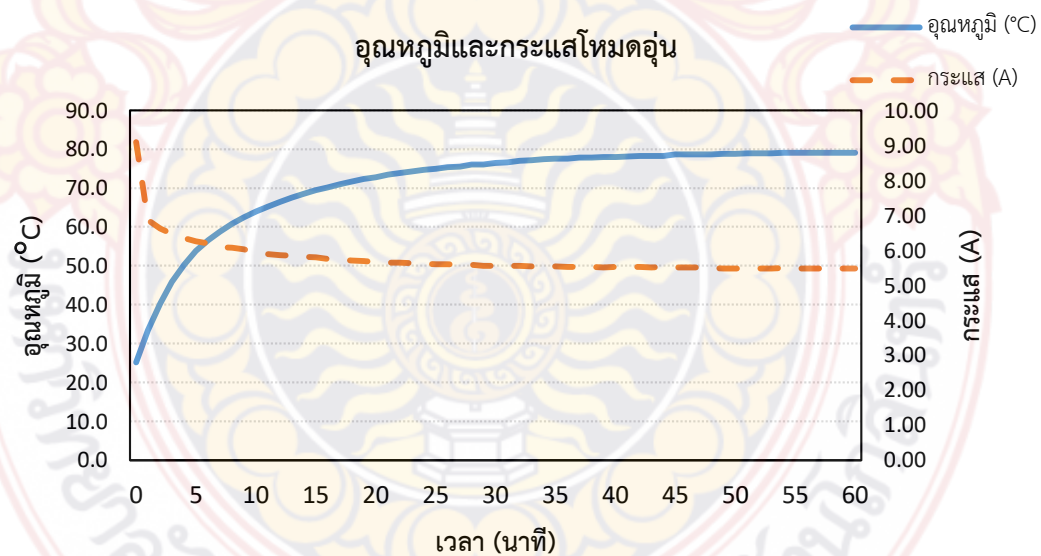
ทำการทดลองเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสในแต่ละโหมดการทำงานของกระแทกเทอร์โมอิเล็กทริก โดยแบ่งการทดลองออกเป็นดังนี้

2.1 การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสที่กระแทกใช้โดยเทียบกับเวลาขณะกระแทกไม่มีโหลด



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่กระทะใช้เทียบกับเวลา (โหมดร้อน)

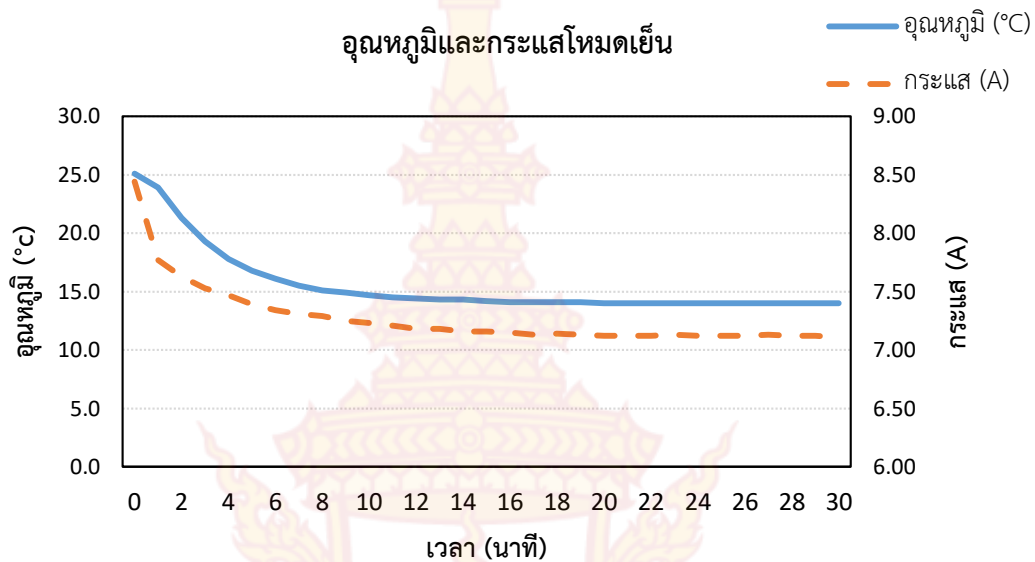
จากภาพที่ 27 เมื่อเปิดสวิตซ์ให้กระทะเริ่มทำงานโดยตั้งค่าเป็นโหมดร้อน อุณหภูมิของกระทะ เริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส กระทะใช้กระแสไฟฟ้าที่ 12.86 A และเมื่ออุณหภูมิเริ่มสูงขึ้น ค่ากระแสจะค่อย ๆ ลดลง โดยจากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิจุดร้อนสุดที่กระทะทำได้ จะใช้เวลาประมาณ 50 นาที และมีอุณหภูมิ สูงสุดที่ 107 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่กระทะใช้เทียบกับเวลา (โหมดอ่อน)

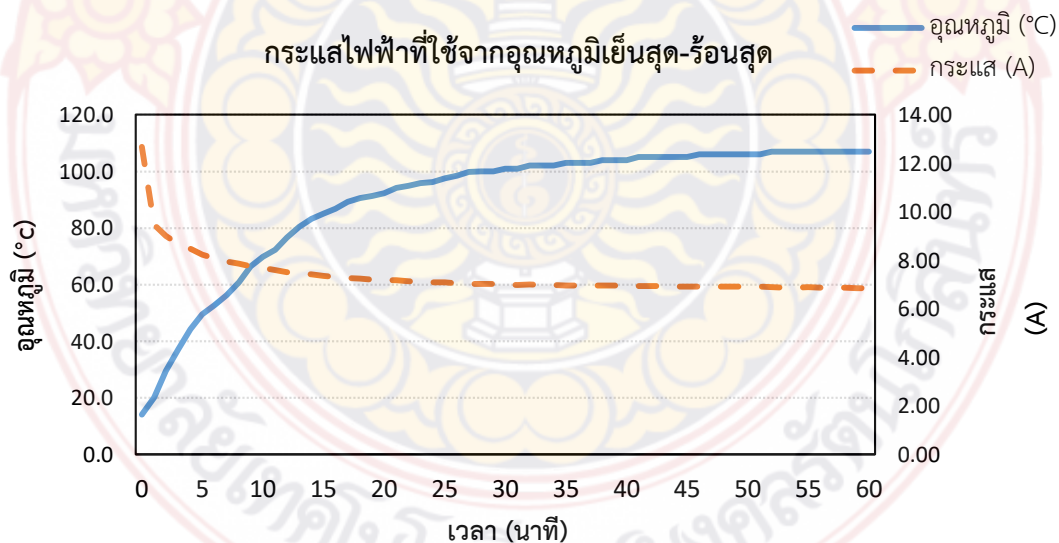
ภาพที่ 28 เป็นการวัดอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าของกระทะในโหมดอ่อน ซึ่งจะเห็นได้ว่าจาก อุณหภูมิห้อง เมื่อกดสวิตซ์ให้กระทะทำงานในโหมดอ่อน กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นที่กระทะใช้จะอยู่ที่ประมาณ 9 A หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ๆ สูงขึ้น กระแสจะค่อย ๆ ลดลง เหมือนกับการทำงานในโหมดร้อน แต่กระแส

สูงสุดที่ใช้จะน้อยกว่าเนื่องจากในโหมดอุ่นจ่ายแรงดันให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เท่ากับ 36 โวลต์ และมีค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ 79 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาประมาณ 54 นาที จากจุดเริ่มต้น



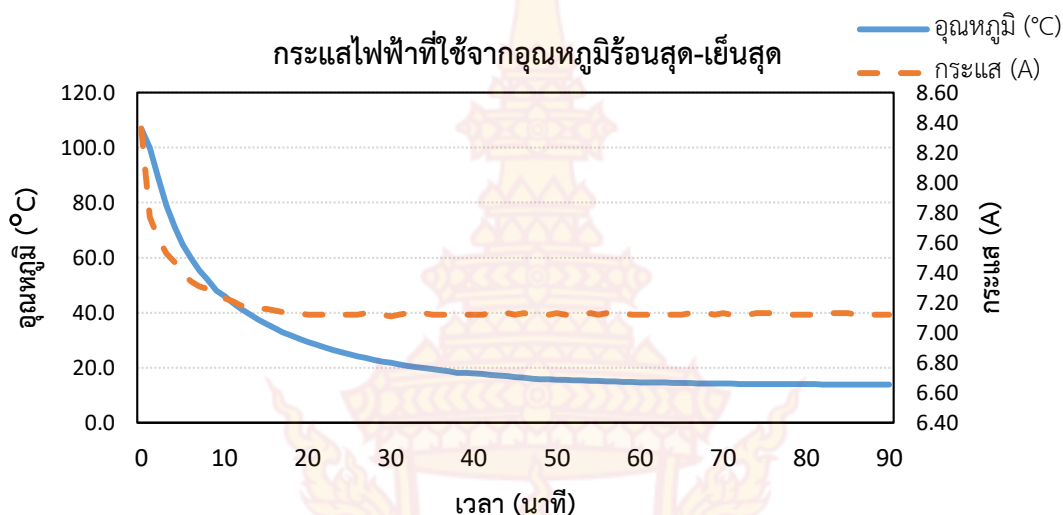
ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่กระหะใช้เทียบกับเวลา (โหมดเย็น)

จากภาพที่ 29 จะเห็นได้ว่าจากอุณหภูมิห้อง เมื่อกดสวิตซ์ทำงานไปที่โหมดเย็น ค่ากระแสจะอยู่ที่ประมาณ 8.44 A เมื่ออุณหภูมิลดลง ค่ากระแสจะค่อยๆ ลดลง เหมือนกับโหมดร้อนและโหมดอุ่น แต่กระแสจะมากกว่าเนื่องจากโหมดเย็นไม่ค่อยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในเมื่อเทียบกับโหมดร้อนและโหมดอุ่น โดยกระหะมีอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 14.0 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 30 นาที



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่กระหะใช้เทียบกับเวลา (เย็นสุด-ร้อนสุด)

จากภาพที่ 30 จะเห็นได้ว่าเมื่อกระทะอยู่ในโหมดเย็น แล้วกดสวิตช์ทำงานเปลี่ยนจากจุดที่อุณหภูมิเย็นสุดมาที่โหมดร้อน กระทะจะกินกระแสไฟฟ้าที่ 12.68 A แล้วจะค่อย ๆ ลดลง เวลาที่ใช้ทำงานจากจุดเย็นสุดไปที่จุดร้อนสุดใช้เวลาประมาณ 60 นาที



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่กระทะใช้เทียบกับเวลา (ร้อนสุด-เย็นสุด)

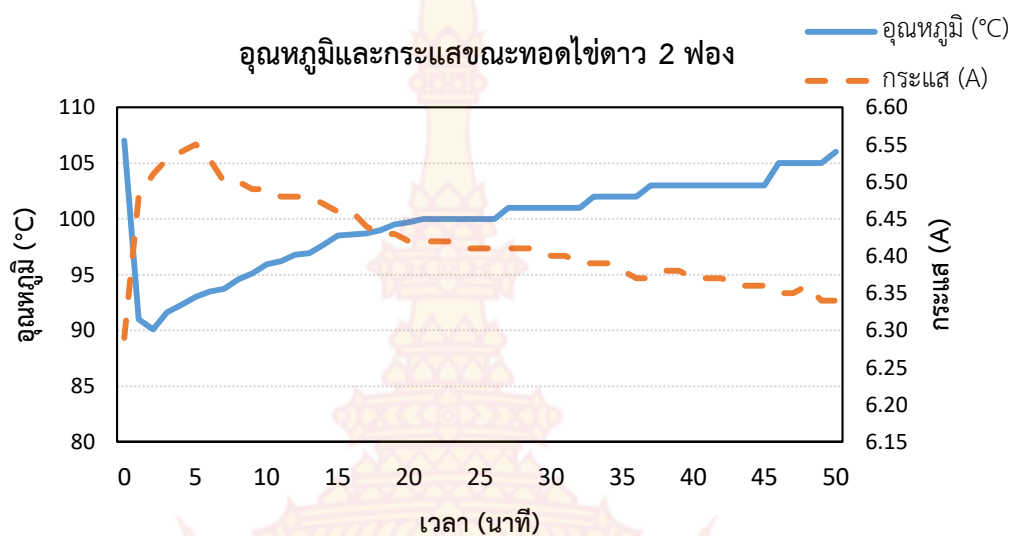
จากภาพที่ 31 จะเห็นได้ว่าเมื่อกระทะมีอุณหภูมิร้อนที่สุด แล้วกดสวิตช์ทำงานมาที่โหมดเย็น ค่ากระแสที่กระทะใช้จะขึ้นไปที 8.36 A และจะค่อย ๆ ลดลง จากอุณหภูมิในโหมดร้อนไปอุณหภูมิเย็นสุดใช้เวลาประมาณ 80 นาที ซึ่งใช้เวลานานกว่าโหมดเย็นไปโหมดร้อน

2.2 การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสที่กระทะใช้โดยเทียบกับเวลาขณะมีไหล

ในการทดลองนี้จะทดลองใช้งานกระทะเทอร์โมอิเล็กทริกที่สร้างขึ้นประกอบอาหาร 2 อย่าง คือ ทอดไข่ดาว ทอดแป้งโตเกียว และละลายไก่แซ่แข็ง ผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 32 กระทะเทอร์โมอิเล็กทริกขณะมีไหลเป็นไข่ 2 ฟอง ที่อุณหภูมิร้อนสุด

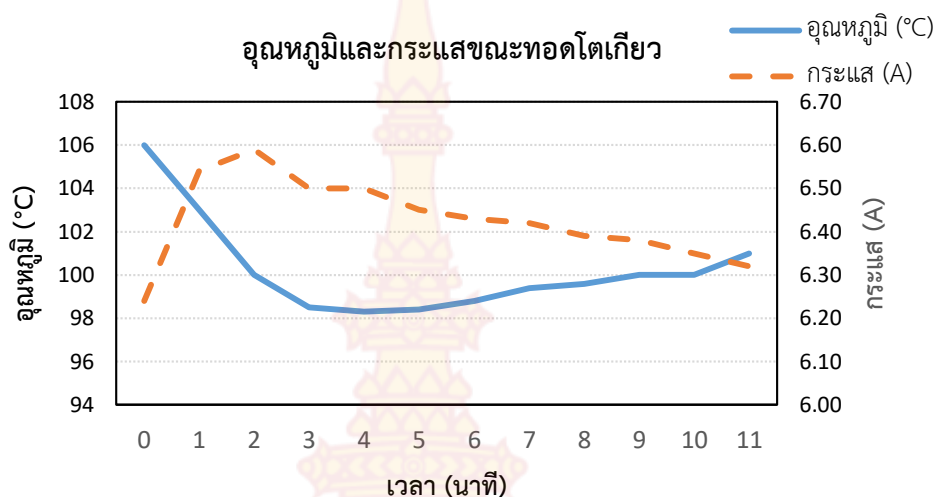


ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่ใช้เทียบกับเวลา (ทอดไข่ 2 ฟอง)

จากภาพที่ 32 และ 33 จะเห็นได้ว่าจากจุดที่อุณหภูมิกระทะร้อนที่สุด 107 องศาเซลเซียส เมื่อใส่ โหลดบนกระทะเป็นไข่ไก่จำนวน 2 ฟอง อุณหภูมิจะลดลงมาเหลือที่ประมาณ 91 องศาเซลเซียส และเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3-4 นาทีอุณหภูมิจะค่อย ๆ สูงขึ้น ซึ่งใช้เวลาประมาณ 7 นาทีจะทำให้ไข่สุก และใช้เวลาประมาณ 50 นาที ที่อุณหภูมิกระทะจะกลับมาสูงเท่าเดิม ค่าของกระแสขณะใส่โหลดลงไปมีค่าใกล้เคียงกับ ขณะกระทะไม่มีโหลด



ภาพที่ 34 กระทะเทอร์โมอิเล็กทริกขณะมีโหลดเป็นแป้งทอดกล้วย



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสที่กระทะใช้เทียบกับเวลา (ทอดแป้งโตเกียว)

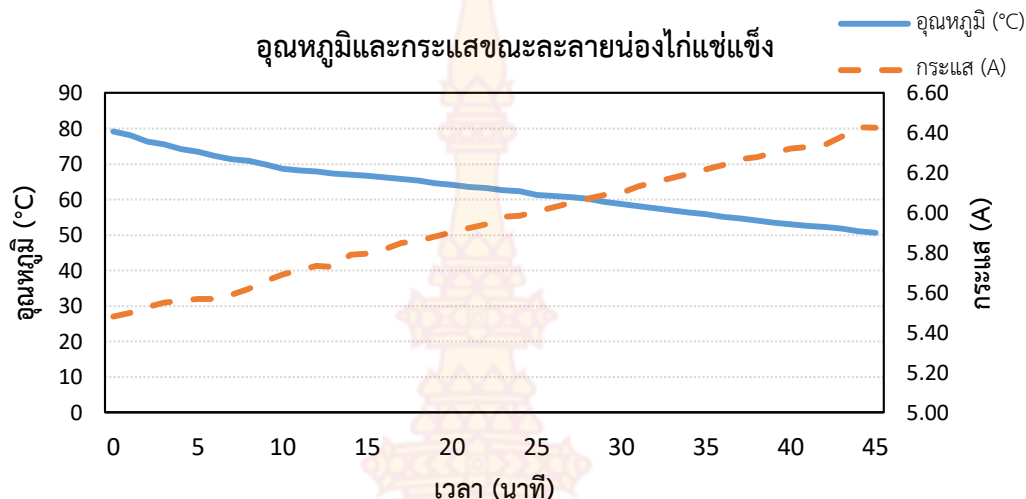
จากภาพที่ 34 และ 35 อุณหภูมิร้อนที่สุดอยู่ที่ประมาณ 106 องศาเซลเซียส เมื่อใส่โหลแป้งโตเกียวบนกระทะ อุณหภูมิจะลดลงมาที่ประมาณ 103 องศาเซลเซียส และเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3-4 นาที อุณหภูมิจะค่อย ๆ สูงขึ้น ใช้เวลาประมาณ 10 นาทีจะทำให้แป้งโตเกียวสุก เมื่อเทียบกับโหลที่เป็นไข่ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของกระทะขณะเริ่มทำงานเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า



ภาพที่ 36 (ก) น่องไก่แช่แข็ง 2 กิโลกรัม



ภาพที่ 36 (ข) น่องไก่หลังละลายน้ำแข็งแล้ว



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและกระแสที่ใช้เทียบกับเวลา (โพลต์เป็นแบง์โตเกีย)

จากภาพที่ 36 และ 37 จะเห็นได้ว่าจากอุณหภูมิที่โหมดอุ่น 79 องศาเซลเซียส เมื่อใส่โพลต์บนกระทะเป็นน่องไก่แช่แข็ง อุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงมา ซึ่งใช้เวลาประมาณ 25 นาที จะทำให้น้ำแข็งละลายจนสามารถดึงไก่ออกจากกันได้

3. ประสิทธิภาพของกระทะเทอร์โมอิเล็กทริก

ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในโหมดร้อนที่กระทะมีประสิทธิภาพสูงสุด อุณหภูมิอยู่ที่ 107 องศาเซลเซียส ในโหมดอุ่นที่กระทะมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 79 องศาเซลเซียส และในโหมดเย็นที่กระทะมีประสิทธิภาพสูงสุดอุณหภูมิอยู่ที่ 14 องศาเซลเซียส พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบพลังงานที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในแต่ละโหมดการทำงาน

โหมดการทำงาน	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
โหมดร้อน	107	51	45	6.96	313.2
โหมดอุ่น	79	54	30	5.49	164.7
โหมดเย็น	14	30	30	7.11	213.3

ข้อมูลในตารางที่ 2 เป็นปริมาณพลังงานที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลใช้ ซึ่งยังไม่ได้รวมพลังงานที่ใช้ในส่วนอื่น ๆ ประกอบด้วย พัดลม 10 วัตต์ ปั้มน้ำ 5 วัตต์ และวงจรควบคุม 2 วัตต์ ดังนั้นเมื่อกระทะเทอร์โมอิเล็กทริกทำงานจนถึงค่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดของแต่ละโหมดการทำงาน จะสามารถสรุปปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในแต่ละโหมดได้ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าในแต่ละโหมดการทำงาน

โหมดการทำงาน	พลังงานขาเข้า (W)	พลังงานขาออก (W)	ประสิทธิภาพ (%)
โหมดร้อน	360	330	91.67
โหมดอุ่น	250	181	72.4
โหมดเย็น	300	230	76.67

ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน

การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q = mc\Delta t$$

เมื่อ

Q คือ ปริมาณความร้อนที่ได้รับหรือสูญเสียไป (Cal)

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็นกรัม (g)

C คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ (Cal/g °C)

Δt คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (°C)

1. โหมดร้อน

$$\begin{aligned} Q &= mc\Delta t \\ &= 7,000 \times 0.448 \times (107 - 25) \\ &= 257,152 \text{ Cal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 257,152 \text{ Cal} \times 1.163 \times 10^{-3} \\ &= 299.0678 \text{ W / hr} \\ &\approx 300 \text{ W / hr} \end{aligned}$$

2. โหมดอุ่น

$$\begin{aligned} Q &= mc\Delta t \\ &= 7,000 \times 0.448 \times (79 - 25) \\ &= 169,344 \text{ Cal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 169,344 \text{ Cal} \times 1.163 \times 10^{-3} \\ &= 196.9471 \text{ W / hr} \\ &\approx 197 \text{ W / hr} \end{aligned}$$

3. โหมดเย็น

$$\begin{aligned}
 Q &= mc\Delta t \\
 &= 7,000 \times 0.448 \times (25 - 14) \\
 &= 34,496 \text{ Cal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore Q &= 34,496 \text{ Cal} \times 1.163 \times 10^{-3} \\
 &= 40.1188 \text{ W / hr} \\
 &\approx 40 \text{ W / hr}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน

โหมดการทำงาน	พลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ (W)	พลังงานความร้อน (W)	ประสิทธิภาพ (%)
โหมดร้อน	360	300	83.33
โหมดอุ่น	250	197	78.80
โหมดเย็น	300	40	13.33

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าการทำงานของกระเพาะโม่อิเล็กทรอนิกส์โหมดร้อนมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 83.33 ในโหมดอุ่นมีประสิทธิภาพร้อยละ 78.80 และโหมดเย็นมีประสิทธิภาพที่ร้อยละ 13.33

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบกระทะเทอร์โมอิเล็กทริกในสภาวะต่าง ๆ ตามการทดลองทั้งแบบมีโหลดและไม่มีโหลดในบทที่ 4 สามารถสรุปผลการทดลองได้เป็นข้อๆ ดังนี้

1. กระทะเทอร์โมอิเล็กทริกในสภาวะไม่มีโหลดสามารถทำงานในโหมดร้อนได้อุณหภูมิสูงสุดที่ 107 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาประมาณ 50 นาที ในโหมดอุ่นได้อุณหภูมิสูงสุดที่ 79 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 50 นาที และในโหมดเย็นได้อุณหภูมิต่ำสุดที่ 14 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 30 นาที
2. กระทะเทอร์โมอิเล็กทริกในสภาวะมีโหลด การทำงานในโหมดร้อนสามารถทำให้ไข่ไก่สุกใช้เวลาประมาณ 7 นาที และแป้งทอดกวนสุกใช้เวลาประมาณ 10 นาที ในโหมดอุ่นสามารถละลายน่องไก่แช่แข็ง 2 กิโลกรัม ที่เวลาประมาณ 25 นาที และในโหมดเย็นสามารถรักษาอุณหภูมิของไก่สดที่วางบนกระทะได้ที่ 15.3 องศาเซลเซียส
3. ประสิทธิภาพในแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ในโหมดร้อนมีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่ร้อยละ 83.33 ในโหมดอุ่นมีประสิทธิภาพร้อยละ 78.80 และโหมดเย็นมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 13.33

ตารางที่ 5 การเทียบพลังงานระหว่างกระทะเทอร์โมอิเล็กทริกกับกระทะแบบอื่น ๆ

ปริมาตรน้ำ 300 มิลลิลิตร, วัดค่าที่อุณหภูมิ 80 °C			
ประเภทกระทะ	เวลา (นาที)	พลังงาน(วัตต์)	ค่าพลังงาน(บาท)
กระทะเทอร์โมอิเล็กทริก	12	375	0.3316
กระทะแบบขดลวดความร้อน	4	1000	0.2948
เตาแม่เหล็กไฟฟ้า	8	1500	0.8843

หมายเหตุ : สืบค้นอัตราค่าไฟฟ้า เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2561

ปัญหาและการแก้ไข

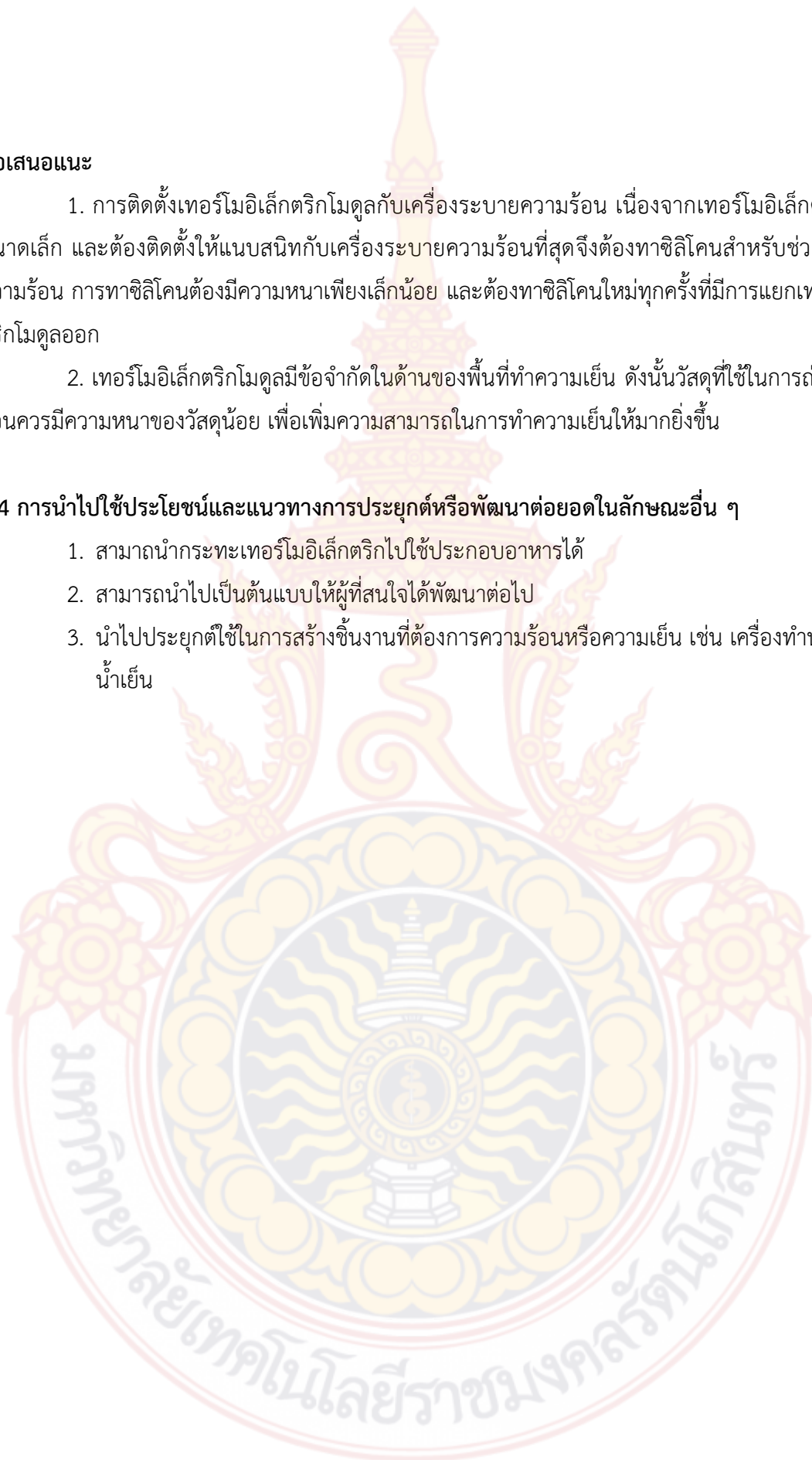
1. เทอร์โมอิเล็กทริกที่นำมาใช้มีค่าความต้านทานภายในไม่เท่ากันทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละแผ่นมีแรงดันตกคร่อมไม่เท่ากัน จึงต้องวัดค่าความต้านทานภายในของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก แล้วนำแผ่นที่มีค่าความต้านทานใกล้เคียงกันไว้ฝั่งเดียวกัน เพื่อให้แรงดันตกคร่อมกันเคียงกันมากที่สุด
2. ในโหมดทำความเย็น ระบบระบายความร้อนระบายความร้อนไม่ทันทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ แก้ไขโดยเจาะช่องระบายอากาศด้านหลังให้กว้างขึ้นและใช้ตะแกรงที่มีช่องตารางห่างๆ เพื่อให้พัดลมระบายอากาศได้ดี และเจาะช่องระบายอากาศด้านข้างทั้ง 2 ข้างเพื่อให้ลมเข้าได้อากาศจะได้ไหลเวียน

ข้อเสนอแนะ

1. การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลกับเครื่องระบายความร้อน เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมีขนาดเล็ก และต้องติดตั้งให้แนบสนิทกับเครื่องระบายความร้อนที่สุดจึงต้องทำซิลิโคนสำหรับช่วยในการนำความร้อน การทำซิลิโคนต้องมีความหนาเพียงเล็กน้อย และต้องทำซิลิโคนใหม่ทุกครั้งที่มีการแยกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลออก
2. เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมีข้อจำกัดในด้านของพื้นที่ทำความเย็น ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนควรมีความหนาของวัสดุน้อย เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นให้มากยิ่งขึ้น

5.4 การนำไปใช้ประโยชน์และแนวทางการประยุกต์หรือพัฒนาต่อยอดในลักษณะอื่น ๆ

1. สามารถนำกระเพาะเทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้ประกอบอาหารได้
2. สามารถนำไปเป็นต้นแบบให้ผู้ที่สนใจได้พัฒนาต่อไป
3. นำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงานที่ต้องการความร้อนหรือความเย็น เช่น เครื่องทำน้ำร้อนและน้ำเย็น



บรรณานุกรม

- [1] Rowe D. M., 1995, CRC Handbook of Thermoelectrics, CRC Press, USA, pp.489-501
- [2] Sofrata, H., 1996, Heat rejection alternative for thermoelectric refrigerators, Energy Convers. Mgmt, VI 37, pp 269-280
- [3] สัมฤทธิ์ อินอุดม, การพัฒนาเครื่องลดความชื้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546
- [4] เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และสมิต อินศิริพงษ์ “ตู้ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี วันที่ 11-13 พฤษภาคม 2548 หน้า AE02-1 – AE02-4
- [5] Cheng Wang, Carlos Calderón, YaoDong Wang, An experimental study of a thermoelectric heat exchange module for domestic space heating, Energy and Buildings. (2017) 1-21, <http://www.elsevier.com/locate/enbuild>



ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ.ดร.เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof. Dr. Jensak Ekburanawat
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 7301 01043 05 6
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
สถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถนนพุทธ
มณฑล สาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

หมายเลขโทรศัพท์ 089-6974-340 โทรสาร e-mail: jensak.eak@rmutr.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

- 2005 Ph.D (Energy Technology) KMUTT
- 1999 M.Eng (Electrical Engineering) KMITL
- 1994 B.Ind.Tech. (Electrical Engineering) SAU

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

ไฟฟ้ากำลัง อิเล็กทรอนิกส์กำลัง และพลังงานทดแทน

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย: ชื่อโครงการวิจัย

- การพัฒนาสวิตช์โหมดเรกติไฟเออร์สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก

- ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน
- การพัฒนาตัวควบคุมสำหรับใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลขนาดเล็กที่ใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน
- การพัฒนาเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกและเมล็ดพันธุ์พืชแบบใช้การดึงความชื้นออกด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: (ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุนย้อนหลังไม่เกิน 5 ปี)

- [1] เสรี ชื่นอารมณ ณ์ฐ จันท์ครบ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์. (2550). เทคนิคการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลความละเอียดสูงด้วยซอฟต์แวร์. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 5 (PEC-5) โรงแรมภูเก็ตแกรนด์ รีสอร์ท & สปา จังหวัดภูเก็ต วันที่ 10-11 พฤษภาคม 2550.
- [2] ณ์ฐ จันท์ครบ เสรี ชื่นอารมณ ณ์ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์. (2550). การวิเคราะห์รูปแบบการต่อเชื่อมกันทางไฟฟ้าของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 5 (PEC-5) โรงแรมภูเก็ตแกรนด์ รีสอร์ท & สปา จังหวัดภูเก็ต วันที่ 10-11 พฤษภาคม 2550.
- [3] ณ์ฐ จันท์ครบ เสรี ชื่นอารมณ ณ์ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และกลางพล กมลโชติ. (2551). การทดสอบสภาพนำไฟฟ้าของน้ำเสียเพื่อใช้สำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4 โรงแรมโรสการ์เด้น ริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน จังหวัดนครปฐม วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2551.
- [4] ณ์ฐ จันท์ครบ เสรี ชื่นอารมณ ณ์ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์. (2551). ระบบควบคุมความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดสำหรับอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4 โรงแรมโรสการ์เด้น ริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน จังหวัดนครปฐม วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2551.
- [5] เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ เสรี ชื่นอารมณ ณ์ และณ์ฐ จันท์ครบ. (2552). ระบบติดตามดวงอาทิตย์อัตโนมัติสำหรับเครื่องอบแห้ง. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก วันที่ 30 เมษายน - 1 พฤษภาคม 2552.
- [6] สมิต อินทร์ศิริพงษ์ เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และณ์ฐ จันท์ครบ. (2552). ต้นแบบเตาเผาชาหมูแบบช่วยลดมลภาวะ. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชออคิด จังหวัดขอนแก่น วันที่ 21-22 ตุลาคม 2552.

- [7] สมิต อินทร์ศิริพงษ์ ญฐพรภัทร อินทร์ศิริพงษ์ เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และณัฐ จันท์ครบ. (2553). การศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องต้นแบบอย่างง่ายสำหรับการผลิตน้ำตาลมะพร้าวสดเข้มข้น. การประชุมวิชาการหัวข้อ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย จังหวัดหนองคาย วันที่ 21-23 มกราคม 2553.
- [8] สมิต อินทร์ศิริพงษ์ ณัฐ จันท์ครบ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์. (2553). การออกแบบและสร้างเตาเผาถ่านไม้หน้าหนักเบาประจำบ้าน. การประชุมวิชาการหัวข้อการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย จังหวัดหนองคาย วันที่ 21-23 มกราคม 2553.
- [9] เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และณัฐ จันท์ครบ (2553) การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากมันสำปะหลังเปียกเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โรงแรมฮอติเดย์อินน์ รีสอร์ท ธีเรนท์ บีช ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี วันที่ 5-7 พฤษภาคม 2553
- [10] สมิต อินทร์ศิริพงษ์ เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และณัฐ จันท์ครบ (2553) การผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากเตาเผาถ่านแบบเคลื่อนที่ได้ การประชุมทางวิชาการ ประจำปี 2553 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 26-27 พฤษภาคม 2553
- [11] สมิต อินทร์ศิริพงษ์ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ การศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานจากคลื่นทะเลขนาดเล็ก งานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 20 ประจำปี 2553 โรงแรม เจ บี หาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา วันที่ 16-18 กันยายน 2553
- [12] เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ ไชยยันต์ ทองสงยอด และณัฐ จันท์ครบ ศักยภาพของเชื้อเพลิงกากมันสำปะหลังอัดแท่งในเชิงการให้กำเนิดแก๊สสำหรับผลิตไฟฟ้า งานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 20 ประจำปี 2553 โรงแรม เจ บี หาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา วันที่ 16-18 กันยายน 2553
- [13] ณัฐ จันท์ครบ เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และสมิต อินทร์ศิริพงษ์ การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งสำหรับเตาแก๊สซิไฟเออร์จากกากมันสำปะหลังเปียก การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี วันที่ 13-15 ตุลาคม 2553
- [14] เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และไชยยันต์ ทองสงยอด การจัดการพลังงานสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นทะเล ประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON-33) ประจำปี2553 โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 1-3 ธันวาคม 2553
- [15] Ekburanawat J., Thongsongyod C., Energy Management Systems for a Handmade Permanent Magnet Generator, The 5th International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011), Phuket, Thailand, May 2-3, 2011
- [16] สมิต อินทร์ศิริพงษ์ เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ ชาญวิทย์ อุดมศักดิ์กุล ต้นแบบระบบการผลิตน้ำเชื่อมจากอ้อยแบบเคลื่อนที่สำหรับเกษตรกรรายย่อย การประชุมวิชาการเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

- ทหาร ประจำปี 2554” โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี วันที่ 20-21 ตุลาคม พ.ศ. 2554
- [17] เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และไชยยันต์ ทองสองยอด การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรแบบหล่อด้วยเรซินในเชิงการใช้งานเป็นกังหันผลิตไฟฟ้า การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 โรงแรมชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี 14-16 ธันวาคม 2554
- [18] พีรวัจน์ มีสุข ครองยศ โปธิชัย และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ “การจำลองผลสนามแม่เหล็กที่มีผลต่ออุณหภูมิของหม้อแปลงจำหน่ายด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5 โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 27-29 มีนาคม 2556
- [19] อนุรักษ์ภัทร อินทร์ศิริพงษ์ ครองศักดิ์ ภาคนกนก และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ “เครื่องพาสเจอร์ไรซ์น้ำผลไม้แบบกึ่งอัตโนมัติ” การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 12 - 14 พฤศจิกายน 2557
- [20] ทรงกษ เพ็ญวันศุกร์ จิรพงศ์ ทองสุข ชีรเมธ เป็ยขุนทด อำนาจ บัวบาน และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ “การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน” การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 12 - 14 พฤศจิกายน 2557
- [21] เจตน์สฤษฏี รักษากุลวิทยา ชีรศักดิ์ เชียงจุง วิริยะนนท์ คุ่มศิริวงศ์ เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และพีรวัจน์ มีสุข “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่มีผลมาจากช่องว่างอากาศ” การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 12 - 14 พฤศจิกายน 2557
- 7.3 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่า ได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด
- การพัฒนาเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกและเมล็ดพันธุ์พืชแบบใช้การดึงความชื้นออกด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (ทำวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละ 90)