

การพัฒนาระบบการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเพื่อการผลิต
ไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว

ศุภกิจ บุตรน้ำเพชร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

THE DEVELOPMENT OF HEAT TRANSFER BY CONDUCTION
TO THERMOELECTRIC POWER GENERATIVE FROM
PETROLEUM GAS STOVE

SUPKITE BUTNAMPECT

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements
for Master of Engineering in Industry Management
Academic Year 2015
Copyright of Bansomdejchaopraya Rajabhat University

ชื่อเรื่อง การพัฒนาระบบการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน
เพื่อการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊ส
ปิโตรเลียมเหลว

ชื่อผู้วิจัย ศุภกิจ บุตรน้ำเพชร

สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ดร.สุริยา พันธุ์โกศล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.อัศววัฒน์ ดวงนิล

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาอนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

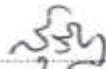
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารีวรรณ เอี่ยมสะอาด)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เก้ากันชา สุกประเสริฐ)



กรรมการ

(ดร.สุริยา พันธุ์โกศล)



กรรมการ

(ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม)



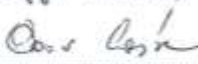
กรรมการ

(ดร.อัศววัฒน์ ดวงนิล)



กรรมการ

(ดร.นุชิต สารวงศ์)



กรรมการและเลขานุการ

(ดร.อังฉรา ห่องพิทยา)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ชื่อเรื่อง	การพัฒนากระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน เพื่อการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊ส ปิโตรเลียมเหลว
ชื่อผู้วิจัย	ศุภกิจ บุตรน้ำเพชร
สาขาวิชา	การจัดการอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ดร.สุรียา พันธุ์โกศล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.อัศววัฒน์ ดวงนิล
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาการนำความร้อนจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวที่ส่งผลต่อแผ่น โลหะกั้นลมและการนำความร้อนของแผ่นทองแดงมาผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก 2) สร้างและทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก และ 3) วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของการเพิ่มวัสดุแผ่นทองแดงมาผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จำนวน 4 โมดูล ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ติดตั้งอยู่ที่แผ่นทองแดงที่ประกบเข้ากับโลหะกั้นลมที่ทำจากสังกะสี ด้านเย็นติดตั้งอยู่กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบริวมกับพัดลมระบายความร้อน ทำการทดสอบในห้องปิดที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้อง 30°C โดยนำความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวมาใช้ผลิตไฟฟ้า ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ตามปรากฏการณ์ซีเบ็ค

ผลการวิจัยพบว่า

- 1) อุณหภูมิเฉลี่ยด้านร้อน 220°C และผลต่างอุณหภูมิ 185°C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s กำลังไฟฟ้าสูงสุด 11.18 W ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ 5.14% ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้จากความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวสามารถนำมาจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กได้
- 2) ได้เตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

3) ระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้ม แก๊สปิโตรเลียมเหลว ถูกกำหนดขึ้นเพื่อพิจารณาสำหรับการลงทุนกับแบตเตอรี่ ขนาด AA พบว่าในการเปิดใช้งาน 15 ชั่วโมง จะมีระยะเวลาคืนทุนเป็น 8.24 ปี และมีแนวโน้มของระยะเวลาคืนทุนที่เร็วขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการใช้งาน

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก แก๊สปิโตรเลียมเหลว การถ่ายเทความร้อน

Title	The Development of Heat Transfer by Conduction to Thermoelectric Power Generative from Petroleum Gas Stove
Author	Supkite Butnampect
Program	Industry Management
Major Advisor	Dr.Suriya Phankosol
Co-advisor	Dr.Narongrit Sonjaitham
Co-advisor	Dr.Akarawat Doungnil
Academic Year	2015

ABSTRACT

This purposes of this research were to 1) determine thermal conductivity of liquid petroleum gas stove affecting plaque wind and thermal conductivity of copper to produce electricity with thermoelectric 2) construct and test electricity production systems from waste heat by using a thermoelectric and 3) analyze the payback period of added material, sheet copper electricity with thermoelectric. The research instrument included 4 modules of hot thermoelectric mounted on a copper plate sandwiched with metal windbreaker made of zinc. The cooler was equipped with a heat exchanger fins with a cooling fan. The testing temperature was set inside a closed room 30 °C by heat loss from stove liquefied petroleum gas used for power generation with the thermoelectric that could convert heat into electrical energy by Seebeck.

The findings revealed as follows.

1) The average temperature of the hot temperatures of 220 °C and 185 °C at a flow rate of air 0.0281 kg/s maximum power 11.18W resulted in energy conversion efficiency of thermoelectric was 5.14%, which had the loss heat power from the liquid petroleum gas stove, and could be used to power small electronic devices.

2) A liquefied petroleum gas stove could generate electricity from waste heat using a thermoelectric.

3) The analysis of payback period of generated electricity system to generate from the waste heat from liquefied petroleum gas stove, set up to consider for investment with AA batteries revealed that the operation of 15 hours led to a payback period of 8.24 years and the trend of payback period was shorter with a longer duration operating.

Keywords: Thermoelectric, Liquefied Petroleum Gas, Heat Transfer

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเพื่อการผลิตไฟฟ้า ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลวนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แก้วกัญญา สุดประเสริฐ ที่เป็นประธานสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงรวมถึงอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สุริยา พันธุ์โกศล ที่สละเวลาให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีและอาจารย์กรรมการสอบโดยมี ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม และดร.อัศววัฒน์ ดวงนิล อาจารย์กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ให้คำแนะนำ คำปรึกษาทางด้านวิชาการความรู้ ทั้งในทางทฤษฎีและในทางปฏิบัติรวมไปถึงคอยแก้ไขปัญหาระหว่างการศึกษางานวิจัยของข้าพเจ้า และดูแลนักศึกษาในความดูแลของอาจารย์เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล สาระวงศ์ และดร.อัจฉรา ผ่องพิทยา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือแก้ไขในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งสนับสนุนห้องปฏิบัติการในการทดลองงานวิจัยและอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ รวมถึงชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาในงานวิจัย ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งและถือเป็นพระคุณอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ศุภกิจ บุตรน้ำเพชร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ทฤษฎีของเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์.....	5
ความร้อนสูญเสีย.....	17
ทฤษฎีการคำนวณที่เกี่ยวข้อง.....	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
การออกแบบอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับรับความร้อนด้านร้อน.....	32
การออกแบบอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับระบายความร้อนด้านเย็น	33
การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้ากับเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์.....	34
การออกแบบวงจรชาร์ต.....	36
การออกแบบระบบวงจรควบคุมการจ่ายไฟ.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เงื่อนไขในการทดลอง.....	39
การปรับเปลี่ยนความร้อนจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว.....	39
การปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศในการระบายความร้อน.....	40
การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชิงมวลผ่านครีbsd้านเย็น.....	41
ตำแหน่งการวัด.....	42
การวัดอุณหภูมิผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีbsd.....	42
ลักษณะการต่อวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแบบอนุกรม.....	42
วิธีการทดลอง.....	43
ขั้นตอนการทดลองหาตำแหน่งเหมาะสมของการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก.....	45
ขั้นตอนการทดลองกรณีปรับเปลี่ยนความเร็วของของไหล.....	45
ขั้นตอนการทดลองต่อกับโหลดตัวต้านทาน.....	47
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งในระบบ.....	48
เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง.....	51
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	56
ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาตำแหน่งอุณหภูมิที่เหมาะสมบนแผ่นโลหะกั้นลมที่ด้านหลังสำหรับการติดตั้งแผ่นนำความร้อน วัสดุทองแดงร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริก.....	56
การทดสอบเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียม กรณีเปิดเตาแก๊สโดยไม่ประกอบอาหาร.....	57
การทดสอบเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียม กรณีเปิดเตาแก๊สโดยประกอบอาหาร.....	58
การถ่ายเทความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว.....	61
อิทธิพลของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิแหล่งความร้อนทางด้านร้อนและการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศด้านเย็น.....	61
วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก.....	68
การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์.....	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	72
สรุปผลการวิจัย.....	72
อภิปรายผล.....	73
ข้อเสนอแนะ.....	74
บรรณานุกรม.....	75
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก รายละเอียดผลการทดลอง.....	81
ภาคผนวก ข รายละเอียดการคำนวณ.....	92
ภาคผนวก ค รายละเอียดรายการสัญลักษณ์.....	95
ภาคผนวก ง หนังสือตอบรับการลงบทความวิจัย.....	99
ประวัติผู้วิจัย.....	102

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิความร้อนสูญเสียที่แผ่นโลหะกั้นลม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กรณีเปิดเตาแก๊สโดยไม่ประกอบอาหาร.....	58
2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิความร้อนสูญเสียที่แผ่นโลหะกั้นลม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กรณีเปิดเตาแก๊สโดยการประกอบอาหาร.....	60
3	การเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละกรณีศึกษา.....	69
4	การเปรียบเทียบค่าผลการทดลองระหว่างแบบที่ติดแผ่นทองแดงและแบบที่ไม่ติดแผ่นทองแดง.....	69
5	แสดงค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก.....	70
6	เงื่อนไขสำหรับการประเมินผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	71

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	4
2	ลักษณะการต่อวงจรของซีบีค.....	5
3	ลักษณะการต่อวงจรของเพลเทียร์.....	7
4	เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ผลิตไฟฟ้า (Power Module).....	8
5	เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ทำความเย็น (Cooling Module).....	9
6	วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด P สำหรับ zT.....	10
7	วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด N สำหรับ zT.....	10
8	โครงสร้างส่วนประกอบของ P – N Junction.....	13
9	การไหลของอิเล็กตรอนในเทอร์โมอิเล็กทริก.....	14
10	การจัดเรียงเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลทางไฟฟ้าแบบอนุกรม และ/หรือ แบบขนาน....	16
11	การวิเคราะห์การนำความร้อนที่ต่อความต้านทานแบบอนุกรม.....	25
12	แผ่นโลหะกั้นลม.....	33
13	แบบอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับระบายความร้อนด้านเย็น.....	34
14	อุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับระบายความร้อนด้านเย็น.....	34
15	การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้ากับเทอร์โมอิเล็กทริก.....	35
16	ขนาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า.....	36
17	แบบวงจรปรับแรงดันไฟสำหรับชาร์ตไฟผ่านพอร์ต USB.....	37
18	วงจรปรับแรงดันไฟสำหรับชาร์ตไฟผ่านพอร์ต USB.....	37
19	วงจรวงจรชาร์ตแบตเตอรี่.....	38
20	ระบบวงจรควบคุมการจ่ายไฟ.....	39
21	การเป่าลมเข้าหาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	40
22	การดูดออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	41
23	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	42
24	การต่อวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแบบอนุกรม.....	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ลักษณะโครงสร้างการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก.....	44
26	การทดลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก.....	44
27	การทดลองหาตำแหน่งเหมาะสมของการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก.....	45
28	ลักษณะตำแหน่งการวัดความเร็วของของไหล.....	46
29	การทดลองต่อกับโหลดตัวต้านทาน.....	47
30	เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล.....	48
31	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบบระบายความร้อน.....	48
32	เตาแก๊สปิโตรเลียมเหลว.....	49
33	พัดลมระบายความร้อน.....	49
34	แบตเตอรี่แห้ง.....	50
35	ฉนวนความร้อนเซรามิกไฟเบอร์.....	50
36	ซิลิโคนนำความร้อน.....	51
37	เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า.....	51
38	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล.....	52
39	สายเทอร์โมคัปเปิล.....	52
40	ตัวต้านทานปรับค่าได้.....	53
41	เครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบคล็องสาย.....	53
42	เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบดิจิตอล.....	54
43	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล.....	54
44	เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิแบบดิจิตอล.....	55
45	แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง DC.....	55
46	อุณหภูมิกรณีเปิดเตาแก๊สโดยไม่ประกอบอาหาร.....	57
47	อุณหภูมิกรณีเปิดเตาแก๊สโดยการประกอบอาหาร.....	59
48	อุณหภูมิความร้อนผิวโลหะกั้นลมเฉลี่ย เมื่อทำการปรับหัวปรับความดันแก๊ส.....	60

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
49	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s.....	62
50	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256 kg/s.....	62
51	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s.....	63
52	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s.....	63
53	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256kg/s.....	64
54	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s.....	64
55	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s.....	65
56	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256 kg/s.....	65
57	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s.....	66
58	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับผลต่างอุณหภูมิเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s.....	66
59	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับผลต่างอุณหภูมิเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256 kg/s.....	67
60	ความสัมพัทธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับผลต่างอุณหภูมิเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s.....	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
61	ความสัมพัทธ์ระหว่างการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิด้านร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ได้กับประสิทธิภาพ ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 120,170 และ 220 ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s.....
	68

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาทางด้านพลังงานในปัจจุบันนับได้ว่าเป็นปัญหาในระดับต้นๆ เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ ในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐาน และเป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิต ในอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน พลังงานมีอยู่อย่างจำกัดแต่ความต้องการกับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันเราสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งพลังงานหลากหลายรูปแบบ โดยพลังงานความร้อนก็เป็นแหล่งพลังงานหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้ ซึ่งพลังงานความร้อนได้ถูกนำมาใช้เกือบทุกกิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะในภาคครัวเรือน ได้นำก๊าซปิโตรเลียมเหลว หรือ ก๊าซหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas: LPG) มาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนสำหรับใช้ประกอบอาหารหรือหุงต้มอาหาร เนื่องจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ไม่มีเขม่าและขี้เถ้า ติดไฟง่าย คับได้รวดเร็วและให้ความร้อนสูง จึงสะดวกสำหรับใช้ในการหุงต้มอาหารในภาคครัวเรือนเป็นหลัก ปัจจุบันปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในปี 2550 ทุกภาคส่วนรวมทั้งสิ้น 7.47 ล้านตันเพิ่มขึ้นจากปี 2550 ซึ่งมีการใช้ 7.38 ล้านตัน โดยสถานการณ์การใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในปี 2556 ภายในประเทศ แยกตามประเภทเป็น การใช้ในภาคปิโตรเคมี มีสัดส่วนร้อยละ 35 ภาคครัวเรือน มีสัดส่วนร้อยละ 32 การใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ มีสัดส่วนร้อยละ 24 ภาคอุตสาหกรรม มีสัดส่วนร้อยละ 8 การใช้ทั่วไปมีสัดส่วนร้อยละ 1 จากข้อมูลจะเห็นว่าการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว เพื่อการหุงต้มอาหารในครัวเรือนเป็นอันดับต้นๆ ของการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (นพพร พัชรประกิติ ยุทธสิทธิ์, แส่นเรือน และพันธ์ชัย กาวิชัย, 2550, น.17) ซึ่งกระบวนการทางความร้อนจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการประกอบอาหารหรือหุงต้มอาหารในขณะที่ความร้อนอีกส่วนหนึ่งเป็นความร้อนสูญเสีย ซึ่งสามารถนำความร้อนสูญเสียนั้นมาใช้ประโยชน์ได้อีก โดยที่บางส่วนมีการสูญเสียไปยังแผ่นโลหะกั้นลม ดังนั้นจึงนำความร้อนที่แผ่รังสีมายังแผ่นโลหะกั้นลมนี่มาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกในการแปลงพลังงานจากความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยใช้ปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck Effect) (ณัฐ จันท์ครบ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์, 2549, น.59) ซึ่งหลักการของเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับความ

ร้อนที่เหลือทิ้งภายในโรงงานอุตสาหกรรมได้ เช่น ความร้อนที่ออกจากป่องเตา ความร้อนของเครื่องจักร ความร้อนจากเตาอบ ความร้อนจากหลังคาและความร้อนจากผนังของโรงงาน เป็นต้น

ในการศึกษานี้สนใจศึกษาการใช้ความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก และทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกศึกษาการระบายความร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีระบายความร้อนร่วมกับการพาความร้อนแบบบังคับ ซึ่งจะนำไปสู่การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเตาแก๊สปิโตรเลียมเหลวโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โดยระบบที่สร้างขึ้นจะเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนสูญเสียจากเตาแก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อประจุลงในแบตเตอรี่ และศึกษาผลจากรูปแบบการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน (Conduction) จากแหล่งเตาแก๊สปิโตรเลียมส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการนำความร้อนจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวที่ส่งผลต่อแผ่นโลหะกั้นลมและการนำความร้อนของแผ่นทองแดงมาผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก
2. สร้างและทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก
3. วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของการเพิ่มวัสดุแผ่นทองแดงมาผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการศึกษาจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว ขนาด 4 กิโลกรัม
2. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ ความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทริกได้รับจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวด้วยการพาความร้อนและการนำความร้อนร่วมกับการถ่ายเทความร้อนออกจากด้านเย็นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีระบายความร้อนโดยใช้อากาศ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. นำความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว มาผลิตไฟฟ้า เพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงานทางหนึ่ง
2. ได้เครื่องต้นแบบที่สามารถพัฒนาให้เป็นเตาหุงต้มที่ผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ได้

นิยามศัพท์เฉพาะ

ซีเบ็ค หมายถึง ปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่อิเล็กทรอนิกส์ภายในโลหะ 2 ชนิดที่ต่างชนิดกัน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิของโลหะทั้งสองมีค่าแตกต่างกันจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์เกิดการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าภายในโลหะของทั้งสองชนิด

ความร้อนสูญเสีย หมายถึง พลังงานความร้อนที่ปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศหลังจากผ่านการใช้ประโยชน์แล้วซึ่งอาจอยู่ในรูป อากาศ ก๊าซ น้ำ หรือของเหลวอื่นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ

สมรรถนะ หมายถึง ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีคุณลักษณะเฉพาะในเชิงการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง

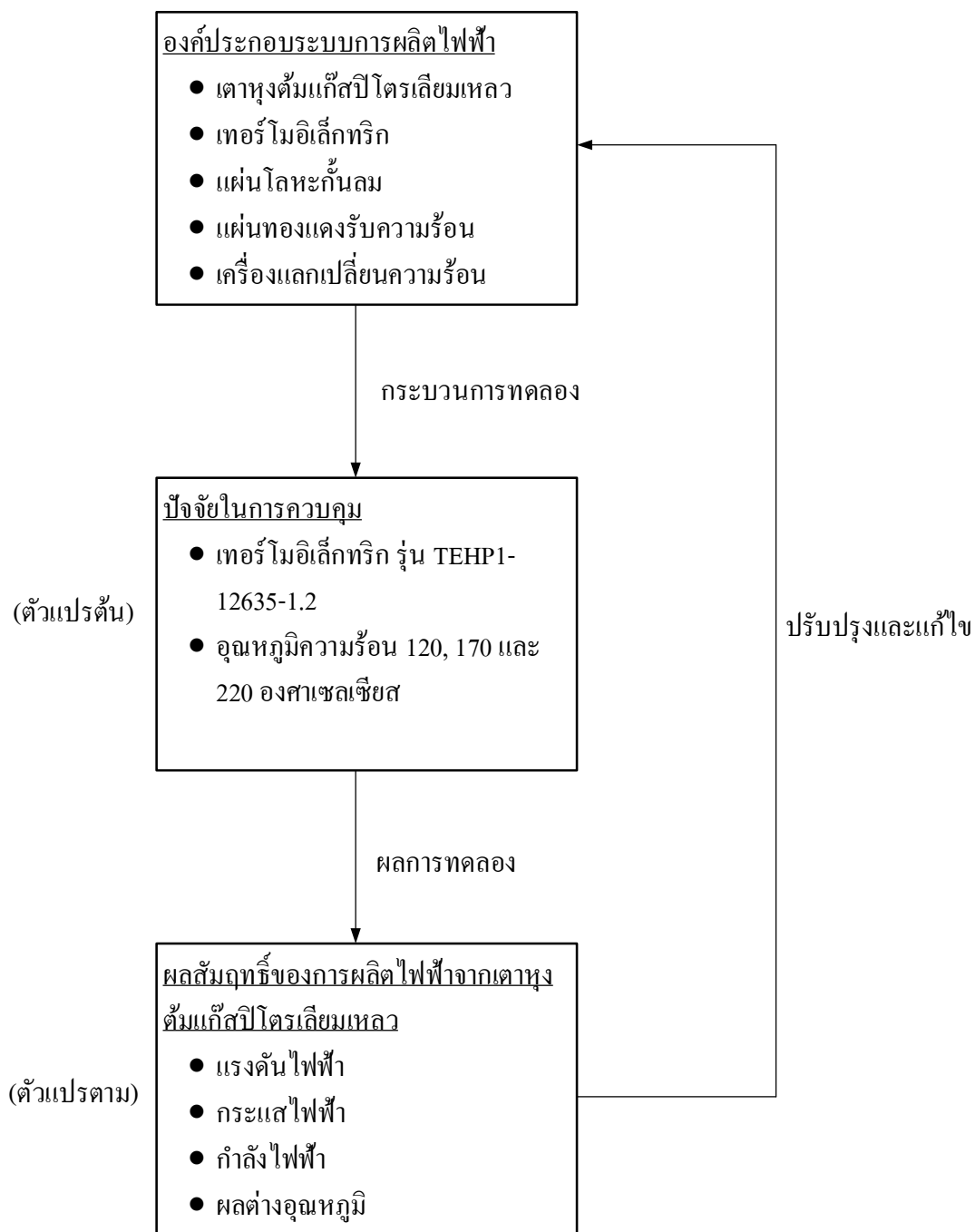
ประสิทธิภาพทางความร้อน หมายถึง ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้กับเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเตาแก๊สปีโตรเลียมเหลว พลังงานที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้เป็นอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงการเผาไหม้กับผลต่างของอุณหภูมิ

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า หมายถึง การแปลงพลังงานจากค่าความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ได้รับจากแผ่นทองแดง อยู่ในรูปอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตได้กับความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ได้รับ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ตัวแปรต้น คืออุณหภูมิที่ควบคุมความร้อนจากการปรับวาล์ว เปิด-ปิด เตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลว 220, 170 และ 120 °C เพื่อป้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงการเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์โมดูล รุ่น TEHP1-12635-1.2 ซึ่งจะถูกกำหนดขึ้นตามอุณหภูมิความร้อนของเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลว

ตัวแปรตาม คือ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ เกิดขึ้นจากอุณหภูมิความร้อนของเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลวที่เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ได้รับจากเตาซึ่งจะแปรผันตามปรากฏการณ์ซีเบ็ค



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

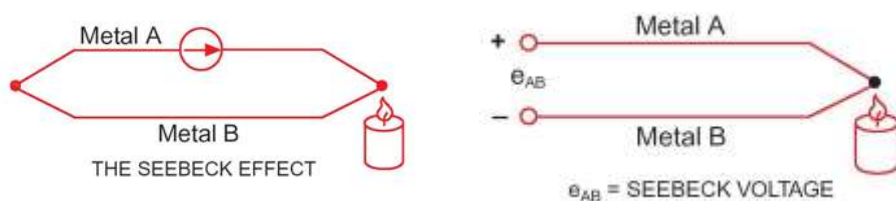
ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีของเทอร์โมอิเล็กทริก
2. ความร้อนสูญเสีย
3. ทฤษฎีการคำนวณที่เกี่ยวข้อง
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีของเทอร์โมอิเล็กทริก

ประวัติความเป็นมา

เทอร์โมอิเล็กทริกถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1821 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อว่า โทมัส โจแฮนน์ ซีเบ็ค (Thomos Johann Seebeck) ซึ่งเขาได้ทำการศึกษาโดยการนำขดลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิของโลหะทั้งสองมีค่าต่างกันก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดดังกล่าวที่ 2 ซึ่งปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสอง และหากทำการเปิดปลายจุดด้านหนึ่งออกก็จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบ็คโวลเตจ” (Seebeck Voltage) (นพพร พัชรประกิติ และคนอื่นๆ, 2550, น.18)



ภาพที่ 2 ลักษณะการต่อวงจรของซีเบ็ค
(นพพร พัชรประกิติ และคนอื่นๆ, 2550, น.18)

หลักการเบื้องต้น

สำหรับสมการของปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck Effect) ถ้าเขียนในรูปของความต่างศักย์ และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ จะได้ว่า

$$\Delta V = \alpha \Delta T \quad 2.1$$

ซึ่งสมการ (2.1) สามารถที่จะเขียนให้อยู่ในภาพของสนามไฟฟ้าและ Gradient ของอุณหภูมิได้ว่า

$$\vec{E} = \alpha \vec{\nabla} T \quad 2.2$$

โดยที่

ΔV คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

\vec{E} คือ เวกเตอร์สนามไฟฟ้า (V/m)

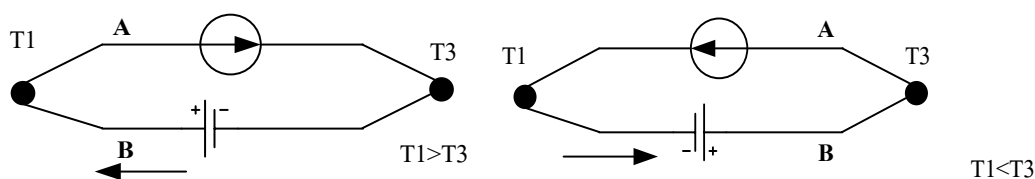
α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (V/K)

ΔT คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

T คือ อุณหภูมิ (K)

โดยที่ α เป็นได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แต่โดยทั่วไปแล้ว N - type มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คเป็นลบ ส่วน P - type มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คเป็นบวก (นพพร พัชรประทีติ และคนอื่นๆ, 2550, น.19)

ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 นักวิทยาศาสตร์ชื่อว่า ยีน เพลทีเยอร์ชาร์เลสอะธานาส (Jean Charles Athanase Peltier) ได้พบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรที่ซีเบ็คสร้างขึ้นซึ่งทำการทดลองโดยใช้ลวดด้านหนึ่งทำจากบิสมัท และอีกด้านหนึ่งทำจากแอนติโมนิ จะส่งผลให้อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อแตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนขึ้น และอีกข้างหนึ่งกลับเกิดในทางตรงข้ามกันคือเย็นลง ซึ่งการทดลองนี้แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะการต่อวงจรของเพลเทียร์
(ณัฐ จันท์ครบและเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์, 2549, น.60)

จากภาพที่ 3 ลักษณะการต่อวงจรของเพลเทียร์ พบว่าเมื่อมีกระแสจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจร (รูปซ้ายมือ) จะทำให้จุดต่อ T_1 มีอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดต่อ T_3 และเมื่อมีกระแสจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจрдังรูปขวามือ จะทำให้จุดต่อ T_3 มีอุณหภูมิสูงกว่า T_1 ซึ่งจากการค้นพบของซีเบ็ค และเพลเทียร์ ทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้างานวิจัยทางด้านเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนมากในเวลาต่อมา โดยทั่วไปสามารถแบ่งเทอร์โมอิเล็กทริกได้เป็น 2 ชนิด คือ เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ทำความเย็น (Cooling Module) และ เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ผลิตไฟฟ้า (Power Module) ทั้งสองชนิดจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ใช้จากปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้น ได้มีการพัฒนาสารกึ่งตัวนำและสร้างรอยต่อโอห์มมิก (Ohmic Junction) ขึ้นแทนรอยต่อเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ของโลหะสองชนิด ทำให้ได้ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงขึ้น ปัจจุบันมีการผลิตในรูปรอยต่อขนาดเล็กหลายรอยต่อบนพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อนำไปใช้งานได้ ใน 2 ลักษณะ คือ เป็นอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากความร้อนและเป็นอุปกรณ์ทำความเย็น (ยศวีร์ ยันตะพันธ์, 2553, น.42)

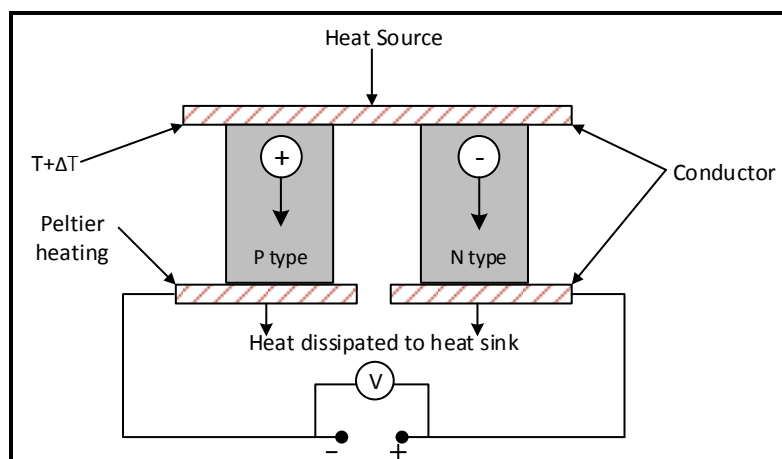
ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก

ปัจจุบันสามารถแบ่งตามเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลได้เป็น เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว (Single – Stage Peltier Module) กับเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage Thermoelectric Module) เทอร์โมอิเล็กทริกได้ประกอบไปด้วยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสองชนิดที่เป็นสารกึ่งตัวนำ คือ N – type และ P – type ซึ่งสามารถแบ่งประเภทตามหลักการทำงานได้สองลักษณะคือ เฉิง, เจีย, ชูย, เบน และเจน โย, 2554, น.5173 (Cheng, Gia, Hsu, Ben, & Jeng Yao et al., 2011, p. 5173)

1. เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์เป็นการผันความร้อนเป็นไฟฟ้า ภาพที่ 4 โดยความร้อนจะไปกระตุ้นให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอน ทำให้สมดุลของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไป เป็นการกำเนิด

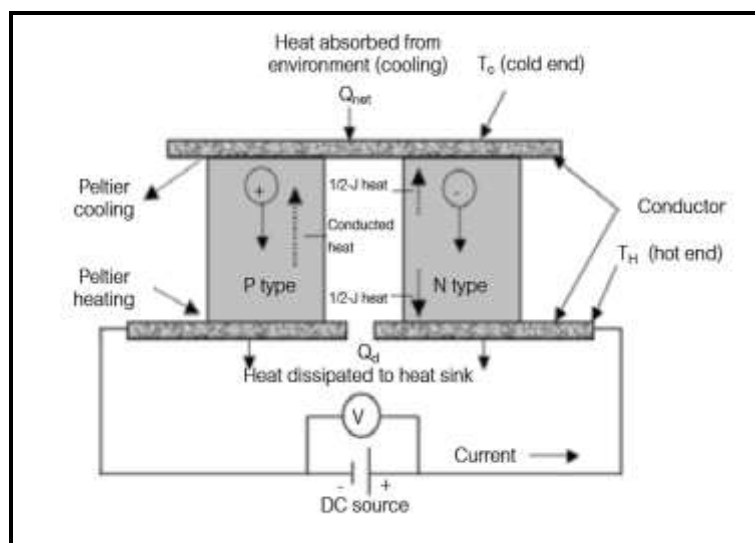
ไฟฟ้าโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิสองด้านของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งหากอุณหภูมิแตกต่างกันมากก็ยิ่งได้กำลังไฟฟ้ามาก แต่ก็ต้องคำนึงถึงทั้งขนาดและรูปร่าง อีกทั้งมีสมบัติหลายอย่างให้เลือกตามลักษณะการใช้งานเช่น ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า และความสามารถในการถ่ายเทความร้อน

2. เทอร์โมอิเล็กทริกคูลลิ่งเป็นการผันไฟฟ้าเป็นความเย็น ภาพที่ 5 โดยกระแสไฟฟ้าที่จ่ายจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ เกิดการนำความร้อนออกจากเซลล์ทำให้เกิดความเย็น สำหรับความสามารถในการทำความเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าน้อย เมื่อเทียบการทำความร้อนเนื่องจากความเย็นที่ผลิตได้ถูกกลทอนจากความร้อนไหลย้อนกลับที่เกิดจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อน และด้านเย็น (Conducted Heat) และความร้อนที่เกิดจากความต้านทานไฟฟ้า (Joule Heat)



ภาพที่ 4 เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ผลิตไฟฟ้า (Power Module)

(ยศวีร์ ยันตะพันธ์, 2553, น.43)

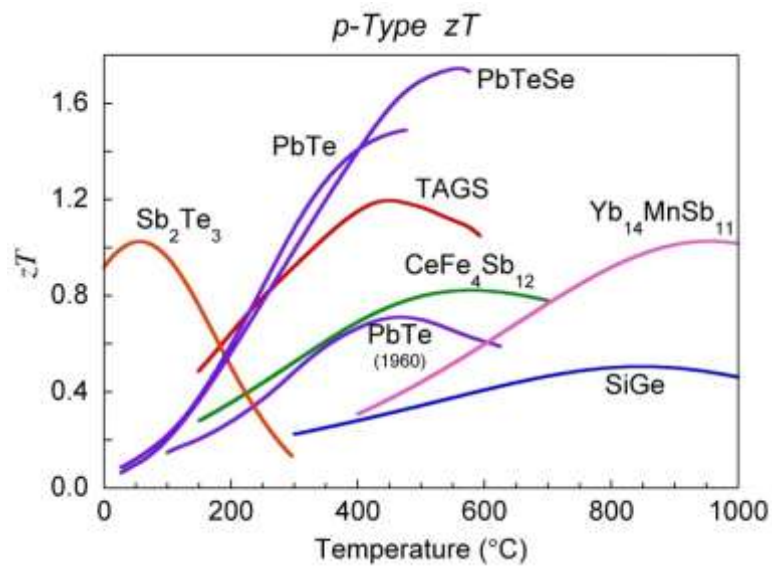


ภาพที่ 5 เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ทำความเย็น (Cooling Module)

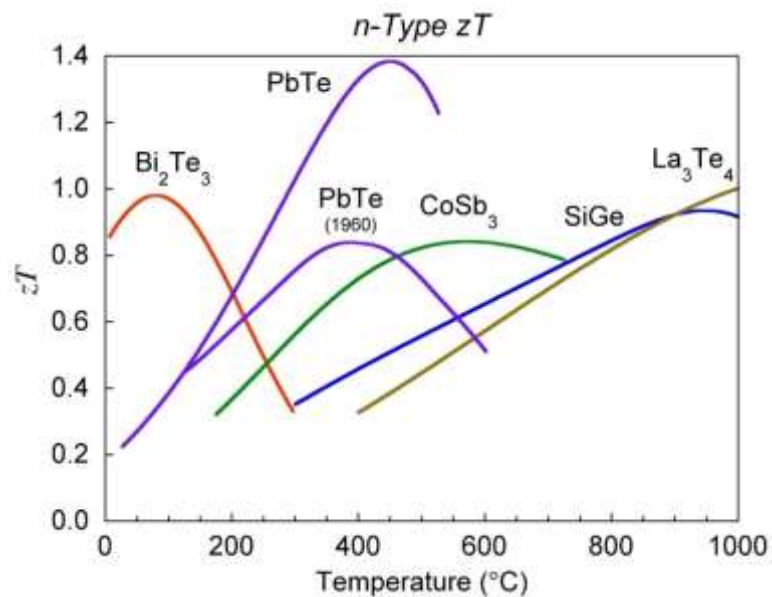
เจิง และคนอื่นๆ, 2554, น.5174 (Cheng, et al., 2011, p. 5174)

วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก

วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกจะเป็นสารที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Seebeck) สูง อันได้แก่ โลหะและสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เนื่องจากวัสดุทั้งสองประเภทนี้มีประจุไฟฟ้าอิสระ (Electron) อยู่จำนวนมากจึงส่งผลต่อประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยนิยามของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าหารด้วยผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก โดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่นิยมใช้จะเป็นพวกสารกึ่งตัวนำผสม โลหะ เช่น ซิลิกอนเจอร์เมเนียม (SiGe) หรือ ลิทเทิลลูไลด์ (PBTE) ซึ่งมีค่าซีเบ็คที่สูงกว่าการใช้โลหะหรือสารกึ่งตัวนำเพียงอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่ง นอกจากนี้สารกึ่งตัวนำยังมีประจุไฟฟ้าอีกรูปแบบหนึ่ง คือ โฮล (Hole) โดยโฮลจะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปยังโฮลได้ และเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างสารกึ่งตัวนำจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานขึ้น ในที่นี้จึงเป็นข้อดีของการใช้สารกึ่งตัวนำผสมโลหะ ซึ่งหากใช้โลหะในการทำเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะมีเพียงอิเล็กตรอนเท่านั้นซึ่งวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน คือ วัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น N และชนิด P สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 6 กับภาพที่ 7 ซาฮิน และคนอื่นๆ, 2554, น.4048 (Sahin, et al., 2011, p. 4048)



ภาพที่ 6 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด P สำหรับ ช่วงแกจ zT
 เฉิ่ง และคนอื่นๆ, 2554, น.5175 (Cheng, et al., 2011, p. 5175)



ภาพที่ 7 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด N สำหรับ ช่วงแกจ zT
 เฉิ่ง และคนอื่นๆ, 2554, น.5175 (Cheng, et al., 2011, p. 5175)

โดย ภาพที่ 6 กับภาพที่ 7 จะเป็นการแสดงถึงวัสดุที่ใช้ทำ P – N Type วัสดุเหล่านี้มีข้อจำกัดด้านอุณหภูมิ ซึ่งแต่ละวัสดุจะมีช่วงอุณหภูมิแตกต่างกัน การเลือกใช้สำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิ เพื่อนำไปสู่การใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกที่ให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งการทดลองงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด Bi_2Te_3 เนื่องจากอุณหภูมิที่ทำการวัดบนแผ่น โลหะกัมมันต์ด้านร้อนนั้นมีอุณหภูมิเฉลี่ย 40-200°C ดังนั้นจากการศึกษาภาพที่ 6 จะสังเกตได้ว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด Bi_2Te_3 นั้นมีคุณสมบัติอยู่ในช่วง 0-300°C จึงได้ทำการเลือกใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด Bi_2Te_3 เป็นวัสดุในการผลิตไฟฟ้าอย่างไรก็ตามวัสดุที่กล่าวถึงข้างต้นยังมีปัญหาต่าง ๆ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีราคาแพงและต้องการการปกป้องผิวจากการกลายเป็นออกไซด์หรือการกลายเป็นไอ วัสดุบางชนิดมีขีดจำกัดในเรื่องอุณหภูมิภายใน ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิสูง เมื่อคำนึงถึงการทำงานที่อุณหภูมิสูงในอากาศแล้วพบว่า ออกไซด์โลหะที่อยู่ในสถานะที่มีออกไซด์อยู่แล้วมีความได้เปรียบเนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีความเสถียรต่อความร้อนเป็นเลิศ นอกจากนี้แล้วยังมีวัสดุออกไซด์อีกหลายชนิดที่มีการรายงานว่ามีสภาพนำไฟฟ้าสูง มีความเสถียรทางความร้อนสูง และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ดังนั้นวัสดุกึ่งตัวนำออกไซด์โลหะ (Metal Oxide Semiconductor) จึงควรนำมาศึกษาในแง่ของความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผันไฟฟ้าจากความร้อนอุณหภูมิสูง (High Temperature Thermoelectric Material) วอง และ อินดราน, 2556, น.1 (Wong & Indran, 2013, p.1)

สมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิลิเมนต์

คุณสมบัติที่ดีของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิลิเมนต์ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และความร้อนที่จ่ายให้ระบบ การที่จะผลิตไฟฟ้าได้ประสิทธิภาพสูงเทอร์โมอิเล็กทริกต้องประกอบด้วยเทอร์โมอิลิเมนต์ (Thermo – Element) ที่มีคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีโดยคุณสมบัติที่ดีของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตไฟฟ้า จะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. มีสภาพนำไฟฟ้าสูงแต่เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อย (ความร้อนเกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า)
2. มีสภาพนำความร้อนต่ำ เพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ
3. สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือแปลงพลังงานไฟฟ้า

ซึ่งสมบัติทั้ง 3 ประการ มีความสัมพันธ์กันทางฟิสิกส์ สำหรับใช้บ่งชี้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ (Z) ตามสมการที่ 2.3 มุฮาเมต และฮาเมต, 2546, น.1069 (Mohamed & Hamed, 2003, p.1069)

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda} \quad 2.3$$

โดยที่

α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (V/K)

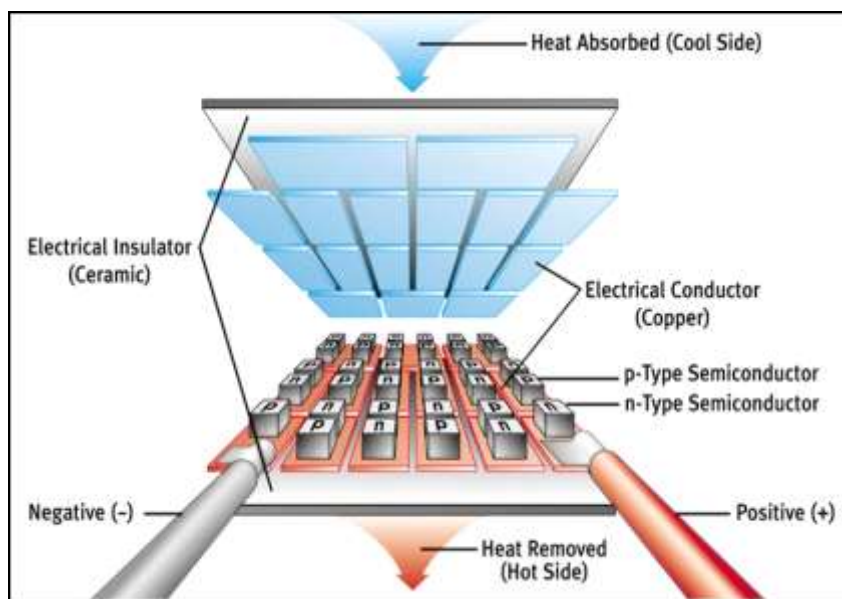
σ คือ สภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ (A/V·m)

λ คือ สภาพนำความร้อนของวัสดุ (W/m·K)

เนื่องจาก Z มีหน่วยต่ออุณหภูมิ แต่ในทางปฏิบัติเพื่อให้ค่าบ่งชี้เปรียบเทียบกันได้ง่ายควร จะไม่มีหน่วย ค่า Z จึงคูณด้วย T โดยที่ T คืออุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำงาน และค่า ZT จะเรียกว่าค่า Figure – Of – Merit ซึ่งเป็นการใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติการเปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า สูงสุด หรือการทำความเย็นสูงสุดของวัสดุที่ใช้ผลิตเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งเป็นชิ้นส่วนหลักของ เทอร์โมอิเล็กทริก วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีจะต้องนำไฟฟ้าดีและเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ในเวลาเดียวกัน

โครงสร้างและหลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

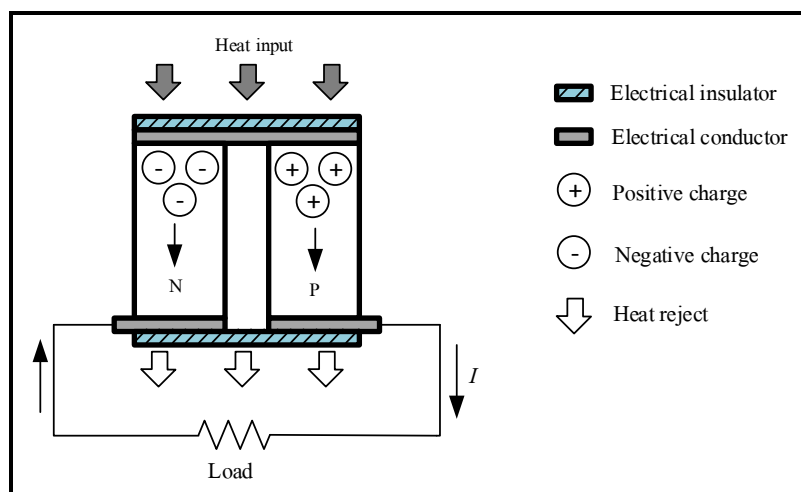
ลักษณะเกิดจากการนำเอาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น (N – Type) และชนิดพี (P – Type) ขนาดชิ้นเล็ก ๆ มาต่อกันเป็นคู่ ๆ โดยวางสลับกันและมีโลหะขนาดเล็กเชื่อมต่อทั้งคู่เข้าด้วยกันซึ่งแต่ละคู่ที่ต่อกันจะมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้าตั้งแต่ตัวแรกถึงตัวสุดท้าย และเมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด (Load) หากมีกระแสไฟฟ้าไหลก็จะครบวงจรพอดี ที่ด้านบนและด้านล่าง ถูกประกบด้วยแผ่นเซรามิก ปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้เนื่องจากความต่างของ อุณหภูมิระหว่างแผ่นด้านบนและด้านล่างขึ้นอยู่กับจำนวนคู่ของ เอ็น-พี ในโมดูลนั้น ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โครงสร้างส่วนประกอบของ P – N Junction

เช่น และอินาดา, 2549, น.687 (Jensak & Itada, 2006, p.687)

เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบนแผ่นเซรามิกด้านบนและล่างทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเนื่องจากพาหะ N และ P ในสารกึ่งตัวนำเหล่านั้น สารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิด P มีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวก เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง โฮลก็จะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจึงไหลตามกันไปทิศทางเดียวกันดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การไหลของอิเล็กตรอนในเทอร์โมอิเล็กทริก

เช่น และอินาดา, 2549, น.688 (Jensak & Itada, 2006, p.688)

ในทางกลับกันแรงดันไฟฟ้าจะเป็นเหตุให้เกิดความไม่สมดุลของอุณหภูมิด้วยโดยสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกเช่นแบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า จะทำให้เกิดความแตกต่างของความร้อนและความเย็นที่ผิวแต่ละด้าน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่ง ไปอีกด้าน

ทฤษฎีสำหรับออกแบบระบบการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก

รูปแบบทั่วไปของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ดังภาพที่ 9 ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ต่อแบบอนุกรมกับแถบตัวนำโลหะในรูปแบบเทอร์โมคัปเปิ้ล โดยคิดค่าความต้านทานไฟฟ้าและความร้อนที่สัมผัส สามารถหาแรงดันเอาต์พุต (V_0) กระแสเอาต์พุต (I_0) และกำลังไฟฟ้า (P_0) ได้จากสมการ ดังต่อไปนี้ แคลเมอร์ แมกเคนานี, กิเอซา และเจิน, 2555, น.1727 (Kraemer, Mc Enaney, Chiesa & Chen, 2012, p.1727)

$$V_0 = \frac{\alpha N (T_h - T_c)}{1 + 2rl_c / l} \quad 2.4$$

$$I_0 = \frac{\alpha A_T (T_h - T_c)}{2\rho(n+1)(1 + 2rl_c / l)} \quad 2.5$$

$$P_0 = \frac{\alpha^2}{2\rho} \frac{A_T N}{(n+1)(1+2rl_c/l)^2} (T_h - T_c)^2 \quad 2.6$$

โดยที่

$$n = 2\rho_c / \rho$$

$$r = \lambda / \lambda_c$$

α คือ สัมประสิทธิ์ Seebeck ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (V/K)

ρ คือ ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (Ω/cm)

ρ_c คือ ความต้านทานไฟฟ้าที่สัมผัส (Ω/cm)

N คือ จำนวนเทอร์โมคัปเปิล

A_T คือ พื้นที่หน้าตัดของเทอร์โมอิลิเมนต์ (cm^2)

l คือ ความยาวของเทอร์โมอิลิเมนต์ (cm)

l_c คือ ความหนาของชั้นสัมผัส (cm)

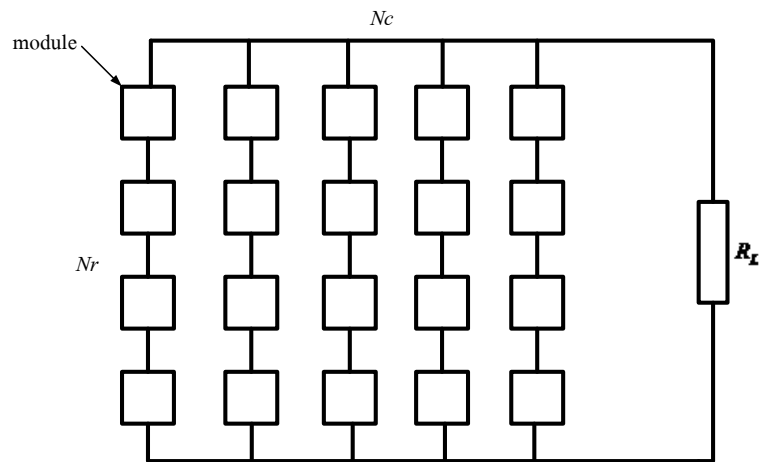
T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อนของโมดูล (K)

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของโมดูล (K)

λ คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ($\text{W} \cdot \text{cm} \text{K}^{-1}$)

λ_c คือ ค่าการนำความร้อนที่สัมผัส ($\text{W} \cdot \text{cm} \text{K}^{-1}$)

ในกรณีที่ต้องการพลังงานเอาต์พุตมาก สามารถทำการจัดเรียงและต่อโมดูลทางไฟฟ้าแบบอนุกรม และ/หรือ แบบขนานได้ ดังภาพที่ 10 โดยสามารถคำนวณ แรงดันเอาต์พุต (V_s) กระแสเอาต์พุต (I_s) และพลังงานเอาต์พุต (P_s) ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นไปตามสมการที่ 2.7, 2.8 และ 2.9 แอสเทรน อีวาน, มาร์ตินเน และ โรดริเก, 2553, น.602 (Astrain, Vian, Martinez, & Rodriguez, 2010, p.602)



ภาพที่ 10 การจัดเรียงเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทางไฟฟ้าแบบอนุกรม และ/หรือ แบบขนาน
แคลเมอร์ และคนอื่นๆ, 2555, น.1728 (Kraemer, et al., 2012, p. 1728)

$$V_s = N_r V_0 \frac{N N_r \alpha \Delta T}{1 + 2r l_c / l} \quad 2.7$$

$$I_s = N_c I_0 \frac{A N_c \Delta T}{2\rho(n+1)(1+2r l_c / l)} \quad 2.8$$

$$P_s = N_r N_c P_0 \frac{\alpha^2}{2\rho(n+1)(1+2r l_c / l)^2} (T_h - T_c)^2 \quad 2.9$$

โดยที่

N_r คือ จำนวนแถวของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

N_c คือ จำนวนหลักของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

การนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายหลาย ซึ่งมีจุดเด่นในด้านขนาดเล็กและมีส่วนประกอบจำนวนน้อย สามารถผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยพลังงานความร้อนจากแหล่งต่าง ๆ เช่น แสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนที่ทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมหรือในชีวิตประจำวัน

สำหรับการใช้งานนั้นการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมีความสำคัญมากเนื่องจาก แรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค(α) ควบคู่กับผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น ($T_h - T_c$) แสดงว่าหากมีการถ่ายเทความร้อนดีในด้านเย็นจะทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองด้านมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ได้แรงดันไฟฟ้ามีค่ามากขึ้นด้วยซึ่งตัวแปรในการถ่ายเทความร้อนเหล่านี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่รองรับการถ่ายเทความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เช่น และอินาดา, 2549, น.689 (Jensak & Itada, 2006, p.689)

ความร้อนสูญเสีย

พลังงานความร้อนที่ปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศหลังจากผ่านการใช้ประโยชน์แล้วซึ่งอาจอยู่ในรูป อากาศ ก๊าซ น้ำ หรือของเหลวอื่นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ

1. ความร้อนสูญเสีย (Waste Heat) ในโรงงานอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานความร้อน มักจะมีความร้อนที่ใช้ไม่หมดแล้วปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นโรงงานควรสำรวจแหล่งของความร้อนที่ปล่อยทิ้ง แล้วหาแนวทางนำกลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการใช้พลังงานความร้อนลดต่ำลง

2. แหล่งความร้อนสูญเสีย

ในกระบวนการอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานความร้อน และจะมีพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งถูกทิ้งออกมาจากกระบวนการ หากมีการนำความร้อนส่วนนี้กลับมาใช้ประโยชน์ได้ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมาก โดยความร้อนที่ปล่อยทิ้งจากกระบวนการอุตสาหกรรมมีหลายรูปแบบ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ

1. ของเหลวร้อน เช่น

- น้ำร้อน (อาจมีสารปนเปื้อน)
- น้ำมันร้อน
- ของเหลวร้อนอื่น ๆ

2. ก๊าซร้อน เช่น

- ก๊าซร้อนจากเตาเผาและเตาอบ
- อากาศร้อนจากกระบวนการระบายความร้อน
- ก๊าซร้อนจากแหล่งอื่น ๆ

ระดับอุณหภูมิเป็นตัวบอกระดับและคุณภาพของความร้อนเหลือทิ้ง ซึ่งแบ่งออก 3 ระดับ ดังนี้

1. อุณหภูมิสูง หมายถึง อุณหภูมิ $> 650^{\circ}\text{C}$
2. อุณหภูมิปานกลาง หมายถึง อุณหภูมิระหว่าง 230 ถึง 650°C
3. อุณหภูมิต่ำ หมายถึง อุณหภูมิ $< 230^{\circ}\text{C}$

ความร้อนสูญเสียคุณภาพสูง

จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 600 ถึง $1,600^{\circ}\text{C}$ โดยทั่วไปจะเป็นความร้อนทิ้งในรูปก๊าซไอเสียจากเตาเผา ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ระบบผลิตกำลัง (Power – Generation) ระบบผลิตกำลังงานและความร้อนร่วม (Cogeneration) หรือนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

ความร้อนสูญเสียคุณภาพปานกลาง

จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 200 ถึง 600°C โดยทั่วไปจะเป็นความร้อนทิ้งในรูปก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ กังหันก๊าซ เครื่องยนต์ หรือเตาขึ้นรูปโลหะ ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำความดันปานกลางหรือนำไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

ความร้อนสูญเสียคุณภาพต่ำ

จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35 ถึง 200°C โดยทั่วไปจะเป็นความร้อนทิ้งในรูปคอนเดนเสท น้ำและของเหลวที่ใช้ระบายความร้อน และอากาศระบายความร้อน ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ในการให้ความร้อนขั้นต้น เช่น อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ อุ่นของเหลว อุ่นอากาศ และทำน้ำร้อน หรือนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

ทฤษฎีการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก

ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกประเภทการเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้า ขณะที่ผลต่างของอุณหภูมิ โดยประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี เลิศสถิตชนกร, 2545, น.59 (Lersatitthanakorn, 2002, p.59)

$$\eta_e = \eta_c \frac{M-1}{M + \left(\frac{T_c}{T_h}\right)} \quad 2.10$$

โดยที่

η_e คือ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

η_c คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

หมายเหตุ M หาได้จากสมการ 2.11 ต่อไปนี เลิศสถิตชนกร, 2545, น.59 (Lersatitthanakorn, 2002, p.59)

$$M = \sqrt{1 + ZT_m} \quad 2.11$$

โดยที่

Z คือ ค่าคุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก, ($Z = 1.6 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$)

T_m คือ อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล หาได้จาก

$$T_m = 0.5(T_h + T_c) \quad 2.12$$

โดยที่

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

ประสิทธิภาพวัฏจักรคาร์โนต์

ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์ เป็นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของกลจักรความร้อนใด ๆ ไม่ว่าจะ เป็นแบบย้อนกลับได้หรือย้อนกลับไม่ได้ก็ตาม โดยที่ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์ขึ้นกับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ต่อไปนี เลิศศักดิ์ชนกร, 2545, น.60 (Lersatitthanakorn, 2002, p.60)

$$\eta_c = \frac{T_h - T_c}{T_h} \quad 2.13$$

โดยที่

η_c คือ ประสิทธิภาพวัฏจักรคาร์โนต์

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก

ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถหาได้จากประสิทธิภาพเชิงความร้อน ซึ่งนิยามโดยเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้รับออกมา (P_0) และความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทริกดูดเข้าไป (Q_h) เขียนเป็นสมการที่ 2.14 ได้ว่า

$$\eta = \frac{P_0}{Q_h} \quad 2.14$$

โดยที่

η คือ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก

P_0 คือ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (W)

Q_h คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (W)

อัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (Q_h)

อัตราการทำความเย็น (ด้านเย็น) และอัตราการถ่ายเทความร้อน (ด้านร้อน) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.15 และ 2.16 ตามลำดับ

$$Q_c = \alpha IT_c + \frac{1}{2} I^2 R + K_t (T_h - T_c) \quad 2.15$$

$$Q_h = \alpha IT_h - \frac{1}{2} I^2 R + K_t (T_h - T_c) \quad 2.16$$

โดยที่

- Q_c คือ อัตราการทำความเย็น (W)
- Q_h คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
- α คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (V/K)
- T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
- T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
- R คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก (Ω)
- I คือ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริก (A)
- K_t คือ ค่าสภาพนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (W/K)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม

การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการวิจัยนี้ อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 โดยที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนหาได้จาก ค่าความร้อนสัมผัสที่น้ำได้รับ โดยวิธีการต้มน้ำจากอุณหภูมิห้องจนใกล้จุดเดือดของน้ำ (เฉลี่ยประมาณ 95°C) แล้ววัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งหาได้จากเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำและอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงแล้วนำมาคำนวณหาตามสมการ 2.17 เลิศศักดิ์ชนกร, 2545, น.61 (Lersatitthanakorn, 2002, p.61)

$$\eta_{th} = \left(\frac{m_{H_2O} C_{p,H_2O} (T_2 - T_1) + m_{H_2O, \text{evap}} L}{v \times LHV \times t} \right) \times 100 \quad 2.17$$

โดยที่

η_{th}	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา
m_{H_2O}	คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดลอง (kg)
$m_{H_2O, evap}$	คือ มวลของน้ำระเหยในการทดลอง (kg)
C_{p, H_2O}	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg·K)
L	คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)
T_1	คือ อุณหภูมิของน้ำตอนเริ่มต้นของการทดลอง (K)
T_2	คือ อุณหภูมิของน้ำตอนสุดท้ายของการทดลอง (K)
ν	คือ ปริมาณอัตราการไหลของเชื้อเพลิง (kg·s ⁻¹)
LHV	คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงก๊าซ (kJ/kg)
t	คือ เวลาการเผาไหม้ (s)

ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเทอร์โมอิเล็กทริก (V_0)

การคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าจากปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck Effect) ถ้าเขียนในรูปของความต่างศักย์และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิตั้งสมการที่ 2.18 คาริ, ทิวโวและจูฮา, 2557, น.2 (Kari, Timo & Juha, 2014, p.2)

$$V_0 = \alpha \Delta T = (R + R_L)I \quad 2.18$$

โดยที่

V_0	คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)
α	คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (V/K)
I	คือ กระแสไฟฟ้า (A)
R	คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก (Ω)
R_L	คือ ความต้านทานโหลดไฟฟ้า (Ω)
ΔT	คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

ค่ากระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของเทอร์โมอิเล็กทริก (I_0)

เป็นค่าของกระแสที่ไหลออกมาจากผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังสมการที่ 2.19 คาริ และคนอื่นๆ, 2557, น.3 (Kari, et al., 2014, p.3)

$$I_0 = \frac{\alpha \Delta T}{(R + R_L)} \quad 2.19$$

โดยที่

I_0 คือ กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (A)

α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (V/K)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก (Ω)

R_L คือ ความต้านทานโหลดไฟฟ้า (Ω)

ΔT คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านร้อนและอุณหภูมิผิวด้านเย็น (K)

ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเทอร์โมอิเล็กทริก (P_0)

เป็นค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่ได้จากกระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่คำนวณได้กับความต้านทานโหลดทางไฟฟ้าในระบบดังสมการที่ 2.20 อุทัย, 2555, น.701-702 (Uthai, 2012, p. 701-702)

$$P_0 = I^2 R_L = I_0 V_0 \quad 2.20$$

โดยที่

P_0 คือ ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (W)

I_0 คือ กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (A)

R_L คือ ความต้านทานโหลดไฟฟ้า (Ω)

V_0 คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)

ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริก (P_{\max})

ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดจะมีค่าสูงสุดคำนวณได้กับความต้านทานโหลดทางไฟฟ้าในระบบ จะได้ว่าดังสมการที่ 2.21 อุทัย, 2555, น.703 (Uthai, 2012, p. 703)

$$P_{0(\max)} = \frac{(\alpha \Delta T)^2}{4R} \quad 2.21$$

โดยที่

$P_{0(\max)}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด (W)

α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (V/K)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก (Ω)

ΔT คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate)

ค่าอัตราการไหลเชิงมวล คืออัตราการเคลื่อนที่ของของไหลโดยวัดเป็นมวลหรือน้ำหนักของของไหลเทียบกับเวลา เช่น น้ำไหลด้วยอัตรา 10 กิโลกรัมต่อวินาที (kg/s) อัตราการไหลนี้ส่วนมากจะใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของของไหล ซึ่งในการทดลองครั้งนี้สามารถหาได้จาก

$$\dot{m} = \rho V \quad 2.21$$

โดยที่

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

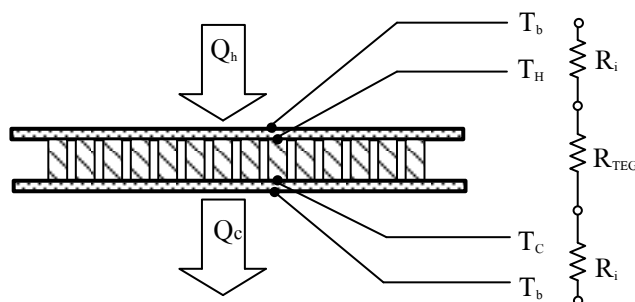
V คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m³)

A_C คือ พื้นที่หน้าตัดภายในท่อสี่เหลี่ยม (m²)

การวิเคราะห์จำลองการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์และจำลองการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปแบบของการนำความร้อนเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้า (Electric Analogy of Conduction) ซึ่งเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงจำลองการถ่ายเทความร้อน โดยการนำเอาการไหลของความร้อนไปเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนที่ซับซ้อนได้สะดวกยิ่งขึ้น แนวคิดที่ใช้แก้ปัญหาคือการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะใช้หลักการของวงจรไฟฟ้า มีชื่อเรียกว่า ความคล้ายคลึง (Analogy) ระหว่างการไหลของความร้อนกับการไหลของกระแสไฟฟ้า ถ้าหากนำอัตราการไหลของความร้อนไปเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าแล้ว กลุ่มของ L/kA จะเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้า ส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิก็เปรียบเทียบกับความแตกต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งการจำลองเพื่อคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะพิจารณาอยู่ในรูปความต้านทานความร้อนได้ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การวิเคราะห์การนำความร้อนที่ต่อความต้านทานแบบอนุกรม

จากภาพที่ 11 แสดงการวิเคราะห์จำลองการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งสมการที่ใช้หาอัตราการความร้อนที่ไหลผ่านเทอร์โมอิเล็กทริก ในลักษณะของการต่อความต้านทานแบบอนุกรมนั้นสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการไฟฟ้าได้ ดังสมการที่ 2.22

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_i + R_{TEG} + R_i} \quad 2.22$$

โดยที่

\dot{Q} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

ΔT คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

R_i คือ ความต้านทานความร้อนที่ผิวของ เซรามิก (KW^{-1}) หาได้จากสมการ 2.23

$$R_i = \frac{L}{k_i A_c} \quad 2.23$$

โดยที่

L คือ ความหนาของผนังแผ่นเซรามิก (m)

k_i คือ ค่าการนำความร้อนของผนังเซรามิก (K)

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของผนังแผ่นเซรามิก (m^2)

ส่วนค่า R_{TEG} คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ 2.24

$$R_{TEG} = \frac{\Delta x}{k_T A_T} \quad 2.24$$

โดยที่

Δx คือ ความหนาของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (mm)

A_T คือ พื้นที่หน้าตัดของเทอร์โมอิเล็กทริก (mm^2)

k_T คือ ค่าการนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ($W/m^2 \cdot K$)

ซึ่งหาได้จากสมการ 2.25

$$k_T = k_e \times Nb \times 2 \times Gf \quad 2.25$$

โดยที่

Nb คือ จำนวนเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์ต่อโมดูล

Gf คือ รูปทรงเรขาคณิตของเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์ (mm)

k_e คือ ค่าการนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์ ($W/m^2 \cdot K$) หาได้จากสมการ 2.26

$$k_e = \left(\begin{array}{l} 5.06021 - 0.04244 \times T_m \\ + 1.96459 \times 10^{-4} \times T_m^2 \\ - 4.19064 \times 10^{-7} \times T_m^3 \\ + 3.4922 \times 10^{-10} \times T_m^4 \end{array} \right) \times 10^{-2} \quad 2.26$$

โดยที่

T_m คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ในศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ โดยการหาระยะเวลากินทุน (Payback period) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.27 ราเดียน, 2555, น.7 (Radion, 2012, p.7)

$$P = B \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad 2.27$$

โดยที่

P คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างระบบผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊ส
ปีโตรเลียมเหลว

B คือ ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้

i คือ อัตราดอกเบี้ย

n คือ ระยะเวลากินทุน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำความร้อนสูญเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์นั้น มีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งแนวทางของงานวิจัยต่าง ๆ จะเป็นการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนสูญเสียในรูปแบบต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่หลากหลายงานวิจัยดังนี้

นพพร พัชรประทีปและคนอื่นๆ, 2550 ได้ทำการวิจัยการผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ด้วยอุปกรณ์ทำความเย็นเพลเทียร์หรือเทอร์โมอิเล็กทริกตามปรากฏการณ์ซีเบ็ค ซึ่งได้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกจะถูกนำไปปรับระดับแรงดันด้วยวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งการปรับระดับแรงดันควบคุมทำได้ด้วยเทคนิคมอดูเลท ความกว้างพัลส์ที่ความถี่ $2\text{--}20\text{kHz}$ เพื่อทำการควบคุมจังหวะการปิด - เปิดของสวิตช์ และพลังงานที่ปรับแรงดันแล้วจะนำไปอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยหลักการอัดประจุแบบแรงดันคงที่ จากทดสอบวงจรโดยใช้แผงเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด $12\text{V}, 12$ ตัวกับแหล่งความร้อนสองชนิดคือ ชนิดไหลความร้อนคอนเดนเซอร์ อุณหภูมิประมาณ 50°C (ผลต่างอุณหภูมิ 10°C) กำลังไฟฟ้าที่ได้ 2.11 W และชนิดไหลความร้อนฮีตเตอร์อุณหภูมิ 90°C (ผลต่างอุณหภูมิ 40°C) กำลังไฟฟ้าที่ได้ 4.05 W ซึ่งไหลความร้อนทั้งสองชนิดสามารถนำไปอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 12V ได้

ณัฐ จันท์ครบ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์, 2549 ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้มหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เตาเศรษฐกิจ เป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) โดยได้ศึกษาความเป็นไปได้จากการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนทั้งจากเตาหุงต้มเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อประจุลงในแบตเตอรี่โดยใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เช่น ถ่าน ไม้ฟืน กะลามะพร้าวและพบว่าความสามารถในการผลิตไฟฟ้าไม่ขึ้นอยู่กับ ชนิดของเชื้อเพลิง แต่ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านของตัวเทอร์โมอิเล็กทริกโดยที่มีผลต่างอุณหภูมิตั้งที่ 50°C ซึ่งจะแปรเปลี่ยนตามความสามารถในการรับความร้อนของตัวรับความร้อนและประสิทธิภาพในการหล่อเย็นของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน

โอชานเนสกี และคนอื่นๆ, 2548 (O'Shaughnessy, et al., 2005) ทำการพัฒนาและทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก จากเตาผิงไฟ ด้วยการระบายความร้อนโดยการพาแบบธรรมชาติ งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก ด้านร้อนเข้ากับผนังเตาด้านข้างขวาของเตา จำนวน 3 โมดูล และด้านเย็นได้ทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีป โดยระบายความร้อนด้วยอากาศธรรมชาติ ได้ทำการทดสอบที่ผลต่างอุณหภูมิต่าง ๆ โดยที่อุณหภูมิด้านร้อนจากเตาทำอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่ 275°C พบว่ากำลังไฟฟ้าไหลที่ได้สูงสุดคือ 4.2 W

เลิศสกิตชนกร, 2550 (Lersatitthanakorn, 2007) ได้ทำการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับการนำเอาเตาชีวมวลซึ่งเป็นเตาที่แพร่หลายภายในประเทศ ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ที่ทำจากวัสดุ บิสมัท – สเทลไรต์ โดยทำการติดตั้งเข้ากับผนังด้านข้างของเตาชีวมวล เพื่อเป็นการสร้างระบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนจากเตาปรุงอาหารชีวมวล ซึ่งเทอร์โมอิเล็กทริกที่นำมาใช้ผลิตไฟฟ้า ชนิด TEP1-1264-3.4 โดยผนังแผ่นโลหะซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของเตาทำหน้าที่เป็นด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล และด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ โดยการทดลองเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีผลการแตกต่างของอุณหภูมิประมาณ 150°C ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ได้ 2.4W ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเป็น 3.2% ซึ่งเพียงพอที่จะขับหลอดไฟต่ำหรือวิทยุแบบพกพาที่มีขนาดเล็กได้ รวมถึงได้ทำการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งให้เห็นว่าระยะเวลาคืนทุนมีแนวโน้มที่สั้นเมื่อเทียบกับการจ่ายให้กลับแบตเตอรี่ ดังนั้นการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้สามารถนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

แชมร์เปียน และคนอื่นๆ, 2554 (Champier, D. et al., 2011) ได้ทำการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากเตาปรุงอาหารชีวมวล ผู้วิจัยได้นำเอาเตาปรุงอาหารชีวมวลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในชุมชนชนบทของประเทศที่กำลังพัฒนา มาเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก โดยที่มีแนวคิดที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเหล่านี้ เพื่อลดมลภาวะโลกร้อน ซึ่งทำการปรับปรุงเตาชีวมวลจากห้องปฏิบัติการและสร้างเตาดันแบบขึ้นใหม่ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จากนั้นจึงนำเอามาประยุกต์ใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เพื่อที่จะผลิตไฟฟ้า ในงานวิจัยทำการทดสอบใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จำนวน 1 โมดูล ชนิด TEP1-1265-0.8 ขนาด $56\text{mm} \times 56\text{mm}$ (กว้าง \times ยาว) ทำการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนเข้ากับผนังท่อลมร้อนของเตา ซึ่งมีอุณหภูมิที่วัดได้ 230°C ส่วนด้านเย็นระบายความร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบทรง แล้วทำการประเมินประสิทธิภาพ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้ 6W จากกำลังไฟฟ้าที่ได้สามารถนำไปเป็นแหล่งพลังงานให้กับหลอดไฟ LED ได้

คาจิกาวา และนิโอนะ, 2539 (Kajikawa & Niino, 1996) ได้ทำการศึกษาและวิจัยถึงความก้าวหน้าในการพัฒนา ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ขยะแข็งในญี่ปุ่น ซึ่งเผาไหม้ขยะ มีอุณหภูมิสูงซึ่งเหมาะกับการประยุกต์ใช้กับ เทอร์โมอิเล็กทริก โดยมีอยู่ 5 แบบ โดยแบบที่ 1 ระบบติดกับผนัง (Wall – Embedded Type) มีขนาดพลังงานเอาต์พุต 500W โดยจะติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกไว้ที่ท่อไอเสียใกล้ปล่องเตาเผาแบบฟูลอิลไดเบต ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

ริกจำนวน 4 โมดูล ซึ่งแต่ละโมดูลสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 125 W แบบที่ 2 เป็นแบบแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยอากาศ (Air Heat Exchanger Type System) โดยท่ออากาศร้อนจะเป็นท่อนำอากาศร้อนไปให้กับเตา (Burner) ใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อน ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 84 โมดูล ทำจาก Bi – Te ในการทดลองครั้งแรกได้พลังงานไฟฟ้า 548 W ที่อากาศเข้า 560.1 K แบบที่ 3 แบบแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยสารอินทรีย์ (Organic Medium Heat Exchange Type) โดยหลักการทำงานคือความร้อนจากการเผาไหม้จะให้ความร้อนกับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลผ่านน้ำมันเป็นสารทำงาน ระบบนำความร้อนกลับมาใช้ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell และ Tube ถ่ายเทความร้อนจากก๊าซให้กับน้ำมัน โดยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบไปด้วย แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนทำจากทองแดง 11 ชั้น โดย 6 ชั้นสำหรับการระบายความร้อน และอีก 5 ชั้นสำหรับให้ความร้อน ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก จำนวน 6 โมดูล ทำจาก Bi – Te แต่ละโมดูลประกอบด้วยอิลิเมนต์ 50 คู่ ซึ่งจะได้พลังงานไฟฟ้าเอาต์พุต 535.8 W ($V = 41.4V$, $I = 12.9A$) ประสิทธิภาพเท่ากับ 2.75% ที่อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า 534.15 K และอุณหภูมิน้ำมันขาออก 520.15 K แบบที่ 4 ระบบท่อความร้อน (Heat Pipe Type) โดยติดตั้ง Heat Pipe แทรกอยู่ในท่อแก๊สบริเวณทางเข้าของปล่องไฟ โดยใช้ Fluoride Carbon เป็นสารทำงานของ Heat Pipe ระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 72 โมดูล ทำจาก Bi – Te แต่ละโมดูลประกอบด้วยอิลิเมนต์ 49 คู่ โดยพลังงานเอาต์พุต ได้ 570 W ที่อุณหภูมิแก๊ส 513 K และความเร็วแก๊ส 18 m/s ทำงานวันละ 16 h/day แบบที่ 5 ระบบลูกสูบ (In – Line Type) เป็นระบบที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1 kW โดยการทำงานคือ ช่วงแรกขณะแข็งจะแยกความร้อนที่อุณหภูมิ 723 K ใน Inner Chamber จากนั้นแก๊สเผาไหม้จะไหลไปที่ห้องเผา และถูกเผาด้วยเตาเผา น้ำมันก๊าดที่อุณหภูมิ 1,473K แก๊สไอเสียจะไหลผ่านส่วนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 523 K ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกแบบ Half – Skeleton ได้พลังงานเอาต์พุตรวม คือ 1,177.5 W ที่ความเร็วแก๊ส เท่ากับ 0.49 Nm³/s ดังนั้นทั้ง 5 ระบบเหมาะสมที่สามารถมาประยุกต์ใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริกได้เป็นอย่างดี

นิคซ์ และคนอื่นๆ, 2552 (Niu et al., 2009) ทำการศึกษาและทดลองผลกระทบของอัตราไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็น โดยใช้ความร้อนจากแหล่งความร้อนเหลือทิ้งอุณหภูมิต่ำ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการนำความร้อนเหลือทิ้งอุณหภูมิต่ำมาใช้ โดยพบว่ายิ่งอุณหภูมิต่ำเข้าสูง และอัตราการไหลของน้ำเร็ว ก็จะทำให้มีประสิทธิภาพมากตาม ณ อุณหภูมิด้านร้อนมีค่า 150 °C และอุณหภูมิด้านเย็นมีค่า 30 °C วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 14.65W และมีค่าประสิทธิภาพในการแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าอยู่ที่ 4.44%

โอชานเนสกี, 2557 (O'Shaughnessy, 2014) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำเตาปรุงอาหารชีวมวลภาคสนามแบบพกพาในชนบทของมาลาวี มาเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก

เพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติเตาปรุงอาหารชีวมวลภาคสนามแบบพกพา ถูกออกแบบมาสำหรับเป็นเตาปรุงอาหารทั่วไปโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงให้กับเตา ซึ่งเตานั้นมีราคาไม่แพงมากนักและเป็นที่แพร่หลายชุมชนชนบทของมาลาวี ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำความร้อนขณะปรุงอาหารนั้น มาใช้ให้เกิดประโยชน์อีก ดังนั้นจึงได้ทำการประยุกต์และออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนขณะปรุงอาหารจากเตาชีวมวล ออกแบบโดยการเจาะรูเตาทางด้านข้างและนำแท่งตะแกรงสอดเข้าไปยังส่วนช่องเผาไหม้ของเตาผ่านช่องรูที่ทำการเจาะไว้เพื่อรับความร้อนขณะทำการปรุงอาหาร จากนั้นนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จำนวน 1 โมดูล ชนิด TEG 12610-5.1 ขนาด 40mm × 40mm (กว้าง×ยาว) มาประกบเข้ากับแท่งตะแกรงเพื่อเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ด้านเขียนระบายความร้อนโดยติดตั้งฮีตไปป์ พร้อมกับติดตั้งพัดลมระบายความร้อน DC ขนาด 5V เพื่อช่วยระบายความร้อน ทำการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งทำการวัดอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เฉลี่ย 240°C จากการทดลองพบว่า กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ เฉลี่ยต่อวัน 2.5 – 8 W·h/day เพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน อาทิเช่น หลอดไฟ LED หรือ โทรศัพท์มือถือได้

ในงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่า มีการใช้เตาในรูปแบบต่าง ๆ อาทิเช่น เตาชีวมวล เตาผิงไฟ เตาปรุงอาหารชีวมวลภาคสนาม ซึ่งเตาจำพวกนี้มีการเผาไหม้ในลักษณะเปิดจึงไม่สามารถนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังภาชนะถูกจำกัดโดยการพาความร้อน (Convection) เป็นส่วนใหญ่ ทั้งยังมีการสูญเสียความร้อนเป็นจำนวนมากไปกับการพาความร้อนและสูญเสียความร้อนของเปลวไฟจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) อีกด้วย โดยที่กล่าวมานี้ เตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิด นำเอาเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมาใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

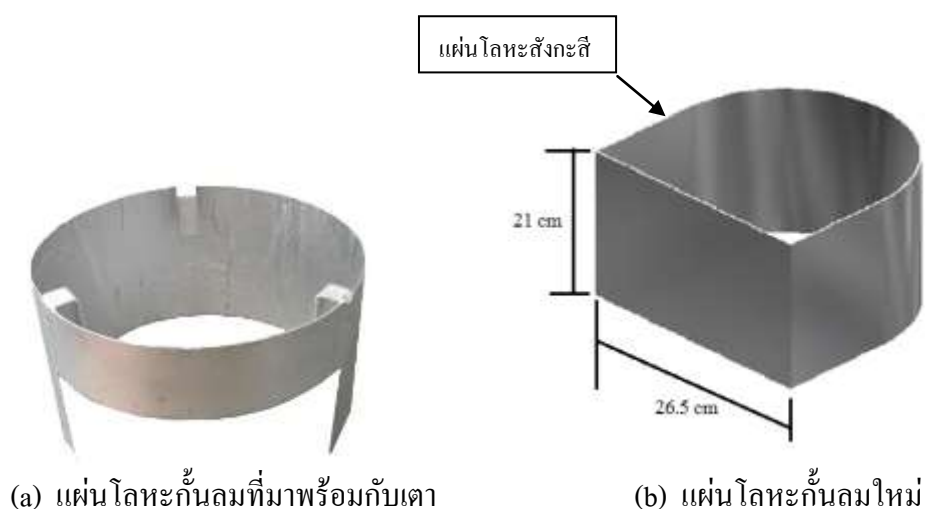
ในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้ทำการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ในการทดลองความเป็นไปได้ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเตาแก๊สปีโตรเลียมเหลว เพื่อนำความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลว มาใช้ผลิตไฟฟ้าและออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตกระแสไฟฟ้าโดยประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โดยการระบายความร้อนด้วย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบริบายความร้อน โดยติดตั้ง ที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก และใช้พัดลมเป่า เพื่อช่วยในการระบายความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมและความร้อนสูญเสียด้านร้อน จากเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลว เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยสังเขปดังต่อไปนี้

1. การออกแบบอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับรับความร้อนด้านร้อน
2. การออกแบบอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับระบายความร้อนด้านเย็น
3. การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้ากับเทอร์โมอิเล็กทริก
4. การออกแบบวงจรชาร์ต
5. การออกแบบระบบวงจรควบคุมการจ่ายไฟ
6. เงื่อนไขในการทดลอง
7. ตำแหน่งการวัด
8. วิธีการทดลอง
9. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งในระบบ
10. เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

การออกแบบอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับรับความร้อนด้านร้อน

จากการศึกษาเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลว พบว่าแผ่นโลหะก้นลมที่มาพร้อมกับเตาดังภาพที่ 12 (a) เนื่องจากแผ่นโลหะมีลักษณะทรงกลมแต่เทอร์โมอิเล็กทริกนั้นรูปทรงสี่เหลี่ยมดังภาพที่ 12 เมื่อทำการประกบผิวหน้าสัมผัสระหว่างแผ่นโลหะก้นลมที่มาพร้อมกับเตาเข้ากับเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วพบว่าเกิดช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสทั้งสอง จึงทำให้ไม่เหมาะสมกับการติดตั้ง

เทอร์โมอิเล็กทริก ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบแผ่นโลหะกั้นลมใหม่ ซึ่งได้ทำการออกแบบให้เหมาะสมกับเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวร่วมกับการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าเมื่อทำการประกบผิวหน้าสัมผัสระหว่างแผ่นโลหะกั้นลมใหม่กับเทอร์โมอิเล็กทริกผลปรากฏว่า ทำให้ไม่เกิดช่องว่างระหว่างผิวหน้าสัมผัสเทอร์โมอิเล็กทริกกับแผ่นโลหะกั้นลมใหม่ โดยรูปแบบของแผ่นโลหะกั้นลมใหม่ดังภาพที่ 12 (b) ทำขึ้นจากแผ่นสังกะสี ความหนาของแผ่น 1 mm

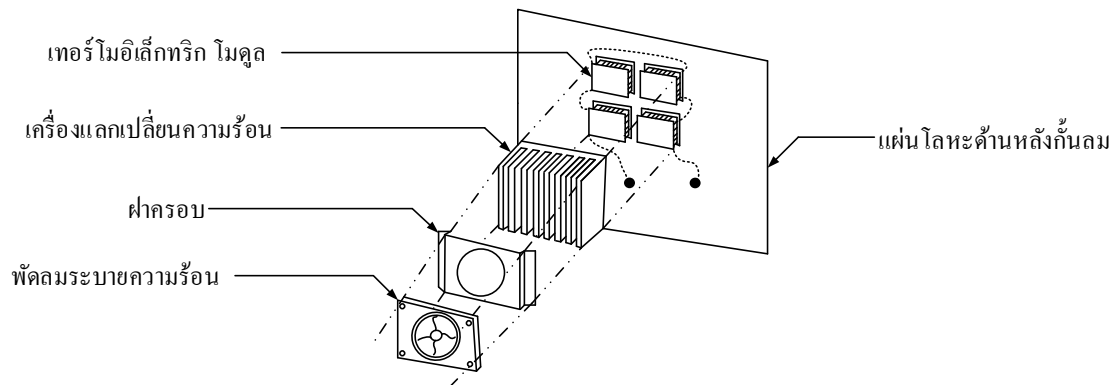


ภาพที่ 12 แผ่นโลหะกั้นลม

บำรุงพันธ์ และเลิศสิทธิชนกร, 2557, น.562 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.562)

การออกแบบอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับระบายความร้อนด้านเย็น

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการนำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มี ขนาด $8.5 \text{ cm} \times 8.5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ (กว้าง \times ยาว \times สูง) โดยครีบบีความหนา 0.13 cm ระยะห่างระหว่างครีบบี 0.32 cm มีจำนวน 15 ครีบบี ประกบเข้ากับฝาครอบขนาดพอดีกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เจาะรูพอเหมาะกับพัดลมระบายความร้อน ด้วยน็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 mm จากนั้นนำพัดลมระบายความร้อน DC 5V , 0.21A ขนาด $8 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ (กว้าง \times ยาว) มาเจาะรูติดเข้ากับฝาครอบ เพื่อใช้สำหรับระบายความร้อนด้านเย็นให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แบบอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับระบายความร้อนด้านเย็น
บำรุงพันธ์ และเลิศสิทธิชนกร, 2557, น.563 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.563)

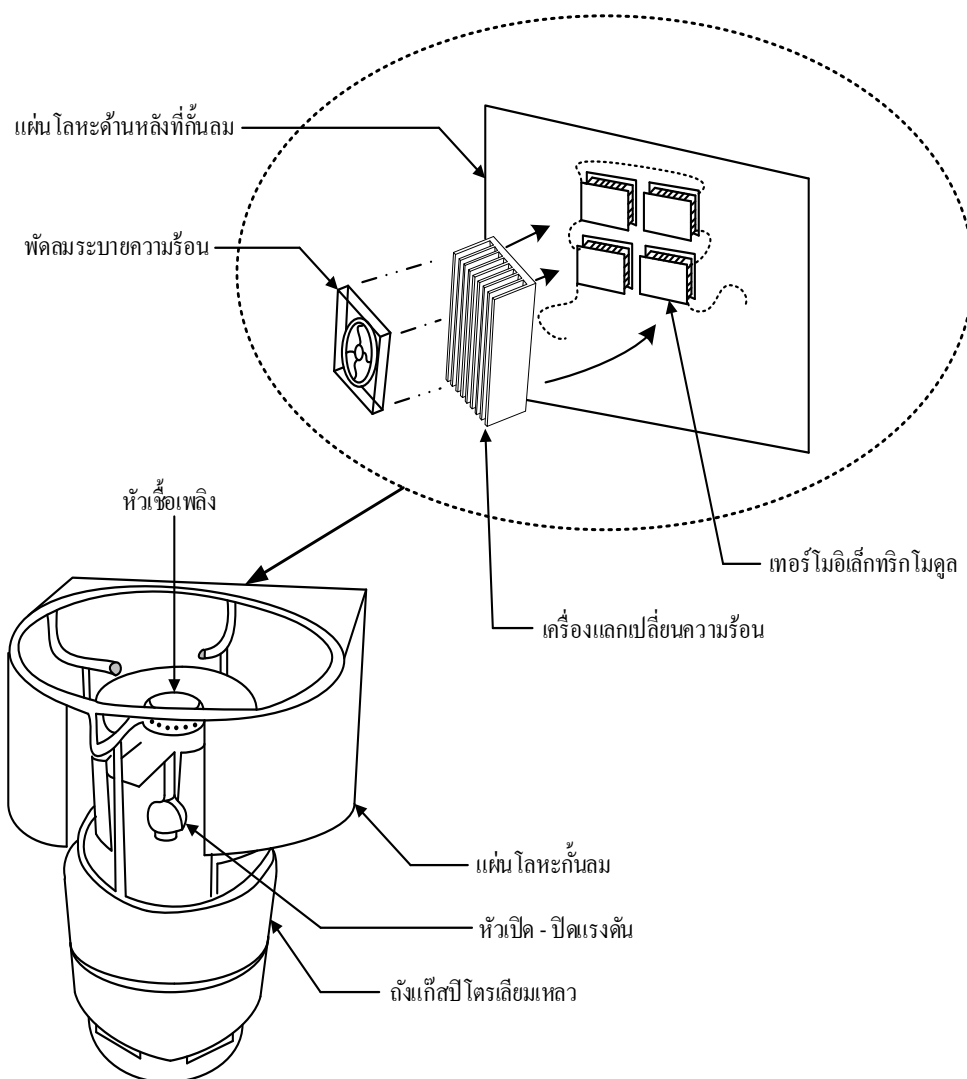


ภาพที่ 14 อุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับระบายความร้อนด้านเย็น
บำรุงพันธ์ และเลิศสิทธิชนกร, 2557, น.564 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.564)

การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้ากับเทอร์โมอิเล็กทริก

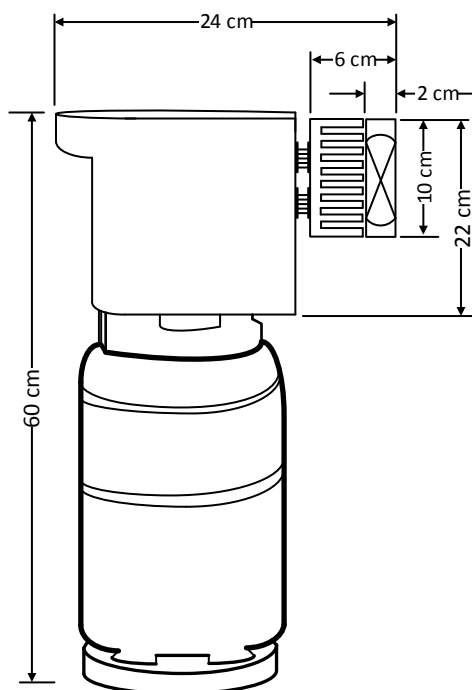
ในการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้ากับเทอร์โมอิเล็กทริก เริ่มจากขั้นตอนแรกนำแผ่นโลหะกั้นลมใหม่ที่ออกแบบตามภาพที่ 12 (b) สวมลงบนโครงเหล็กที่มาพร้อมกับเตา จากนั้นนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEHP1-12635-1.2 ที่ผลิตจากวัสดุกึ่งตัวนำ Bismuth Telluride จำนวน 4 โมดูล ซึ่งมีลักษณะการต่อวงจรเทอร์โมอิเล็กทริก แบบอนุกรมดังภาพที่ 15 มาประกอบเข้า

กับแผ่นโลหะกั้นลมใหม่ โดยที่ผิวหน้าสัมผัสด้านร้อนประกบเข้าหาด้านหลังแผ่น โลหะบริเวณกึ่งกลางด้านบนสุดของแผ่นโลหะกั้นลมใหม่ ขั้นตอนที่สองทำการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่ผิวหน้าสัมผัสด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกประกบเข้ากับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ขั้นตอนสุดท้ายนำพัดลมระบายความร้อนติดตั้งเข้ากับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังภาพที่ 15 และ 16



ภาพที่ 15 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้ากับเทอร์โมอิเล็กทริก

บำรุงพันธ์ และเลิศสิทธิธนกร, 2557, น.563 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.563)

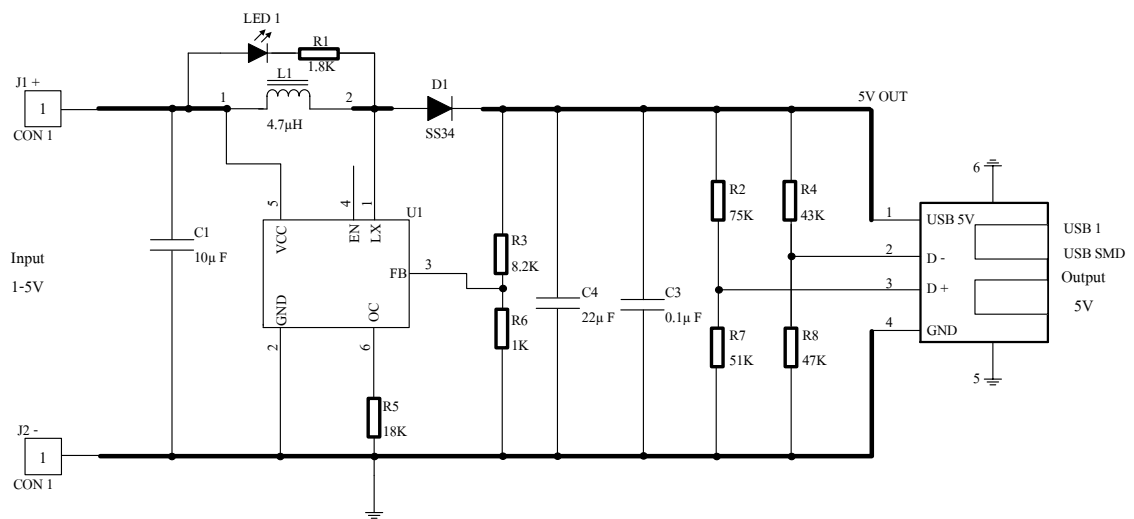


ภาพที่ 16 ขนาดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า

บำรุงพันธ์ และเลิศสิทธิธนกร, 2557, น.563 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.563)

การออกแบบวงจรชาร์ต

การออกแบบวงจรชาร์ตจะออกแบบโดยใช้ วงจรปรับแรงดันไฟสำหรับชาร์ตไฟผ่านพอร์ต USB (USB Charger Step-Up Module) สามารถปรับแรงดัน Input ตั้งแต่ DC 1 – 5V ให้มีแรงดัน output ในระดับ DC 5V กระแสไฟฟ้า Output 3A (Max) และกำลังไฟฟ้า Output สูงสุด 15W อุณหภูมิของวงจรขณะทำงาน -40 ถึง +80 °C โดยมีขนาดของวงจร 18 mm×23 mm×5 mm (กว้าง×ยาว×สูง) ใช้เพื่อชาร์ต อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น มือถือ สมาร์ทโฟน เครื่องเล่น MP3 และกล่อง ดิจิตอล Power Bank



ภาพที่ 17 แบบวงจรปรับแรงดันไฟฟ้าสำหรับชาร์จไฟผ่านพอร์ต USB

บำรุงพันธ์ และเลิศสิทธิธนกร, 2557, น.564 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.564)



ภาพที่ 18 วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าสำหรับชาร์จไฟผ่านพอร์ต USB

บำรุงพันธ์ และเลิศสิทธิธนกร, 2557, น.564 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.564)

ในการออกแบบวงจรชาร์ตในส่วนที่ 2 เป็นการออกแบบวงจรชาร์ตแบตเตอรี่ เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าให้คงที่ตามต้องการ ที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ดังนั้นจึงเลือกใช้วงจรชาร์ตแบตเตอรี่รุ่น CC/CV เป็นวงจรที่ออกแบบด้วยระบบ Switching ซึ่งเมื่อใช้งานจะมีความร้อนน้อย สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 30V และกระแสได้สูงสุดถึง 5A ซึ่งโดยหลักการขับ LED ด้วยวิธีการ Constant Current มีข้อดีคือมีวงจรควบคุมให้กระแสคงที่ตลอดเวลา แม้ว่าแรงดันของแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้นในบางช่วง โดยรูปแบบของวงจรดังภาพที่ 19

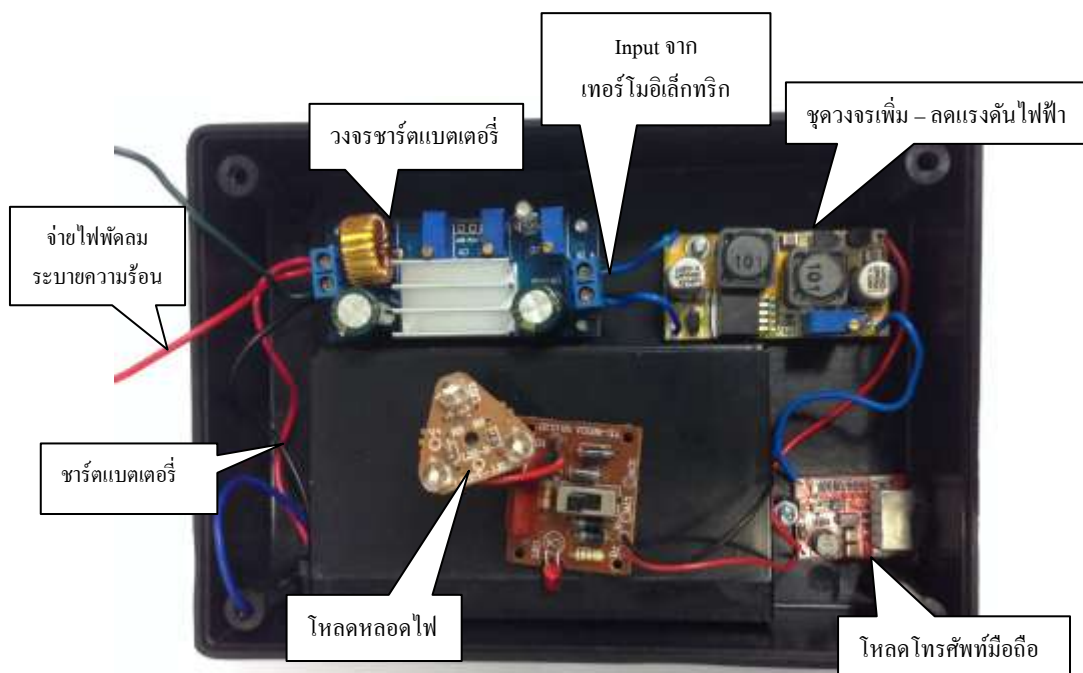


ภาพที่ 19 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

บำรุงพันธ์ และเลิศฤทธิธร, 2557, น.564 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.564)

การออกแบบระบบวงจรควบคุมการจ่ายไฟ

เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าไปขับพัดลมระบายความร้อนก่อนการเริ่มผลิตไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบควบคุมการจ่ายไฟ เพื่อจะควบคุมพัดลมระบายความร้อนร่วมกับโหลดทางไฟฟ้า เช่น หลอดไฟและชาร์ตโทรศัพท์มือถือ ดังภาพที่ 20



รูปที่ 20 ระบบวงจรควบคุมการจ่ายไฟ

บำรุงพันธ์ และเลิศสถิตินกร, 2557, น.564 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.564)

จากภาพที่ 20 หลักการทำงาน เริ่มต้นจากเมื่อได้รับไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโดยตรงขั้วบวก - ขั้วลบเข้าที่วงจรชาร์ตแบตเตอรี่ วงจรชาร์ตแบตเตอรี่จะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมเพื่อจ่ายไฟไปยังสองทาง โดยทางที่ 1 ไปยังแบตเตอรี่เพื่อทำการชาร์ตลงแบตเตอรี่จากนั้นแบตเตอรี่จะจ่ายแรงดันออกไปยังพัดลมระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนให้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่อไป ทางที่ 2 จ่ายให้กับวงจรเพิ่ม - ลดแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการจ่ายไฟไปยังโหนดโหลดไฟและโหนดโทรศัพท์มือถือ ระบบวงจรควบคุมการจ่ายไฟจึงมีความสำคัญต่อระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

เงื่อนไขในการทดลอง

แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ

1. การปรับเปลี่ยนความร้อนจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว

เนื่องจากการใช้งานจริงของเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว ของการหุงต้มอาหาร นั้นมีการใช้ระดับความร้อนในการประกอบอาหารแต่ละประเภทแตกต่างกัน ดังนั้นการทดลองนี้จึงทำการควบคุมเชื้อเพลิง ที่ 3 ระดับ ซึ่งจะทำให้การควบคุมอุณหภูมิด้านร้อนดังนี้

ระดับที่ 1 กำหนดอุณหภูมิด้านร้อน 120°C

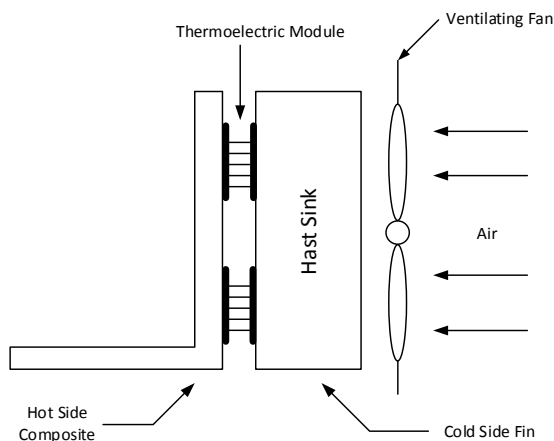
ระดับที่ 2 กำหนดอุณหภูมิด้านร้อน 170°C

ระดับที่ 3 กำหนดอุณหภูมิด้านร้อน 220°C

ในการทดลองนี้ได้ทำการควบคุมอุณหภูมิด้านร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก ที่ได้รับจากเตาหุงต้ม แก๊สปิโตรเลียมเหลว โดยการเปิดเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวจากนั้นทำการปรับหัวเปิด - ปิด แรงดันพร้อมกับการวัดอุณหภูมิ จนถึงสภาวะคงตัวของอุณหภูมิด้านร้อน เฉลี่ยอยู่ที่ $120, 170$ และ 220°C จึงจะทำการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ตามลำดับ

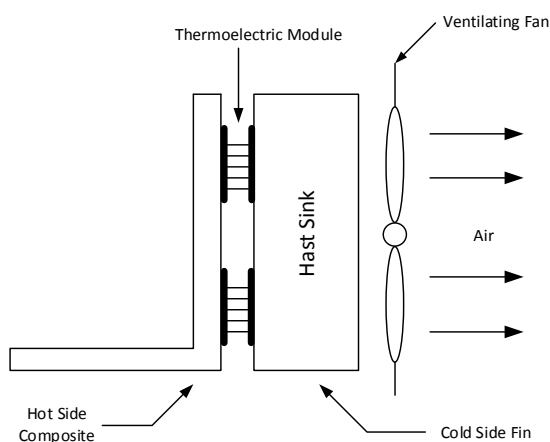
2. การปรับเปลี่ยนทิศทางการระบายความร้อน

การถ่ายเทความร้อนแบบระบายความร้อนด้วยครีประบายความร้อนโดยการเป่าลมเข้าหาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยกำหนดให้ถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแบบบังคับจะติดตั้งอยู่ระหว่างแหล่งความร้อนกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีประบายความร้อน ซึ่งด้านหนึ่งจะติดกับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ส่วนอีกด้านหนึ่งจะติดกับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ทดลองโดยเป่าลมเข้าหาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การเป่าลมเข้าหาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การถ่ายเทความร้อนแบบระบายความร้อนด้วยครีประบายความร้อนโดยการดูดออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยกำหนดให้ถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแบบบังคับ ทดลองโดยดูดออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 การดูดออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

3. การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชิงมวลผ่านครีبد้านเย็น

การทดลองครั้งนี้ทำการกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลผ่านครีبد้านเย็นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อยู่ 3 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1 อัตราการไหลเชิงมวลที่ 0.0281 kg/s

ระดับที่ 2 อัตราการไหลเชิงมวลที่ 0.0256 kg/s

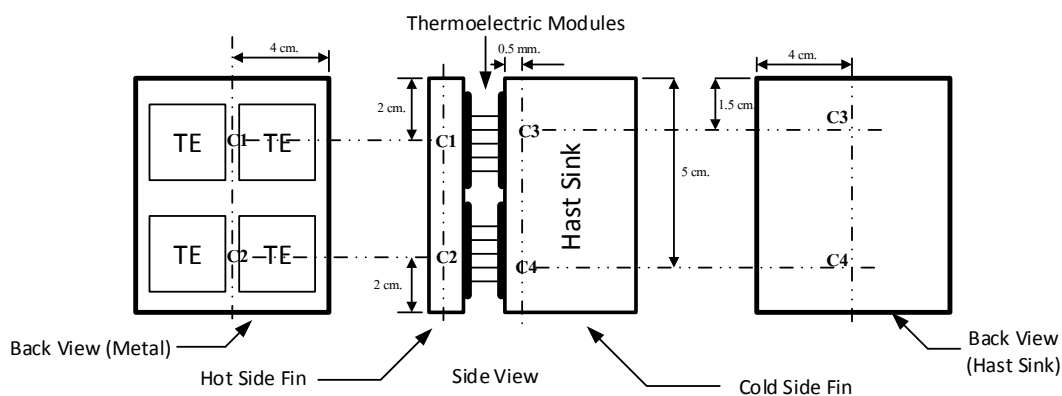
ระดับที่ 3 อัตราการไหลเชิงมวลที่ 0.0191 kg/s

ในการทดลองได้ทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับพัดลมระบายความร้อนในขณะที่ทำการทดลอง โดยการกำหนดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง อยู่ที่ 4, 5 และ 6V ตามลำดับ จากนั้นทำการต่อท่อระบายความร้อนออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วทำการวัดความเร็วของของไหล แล้วนำมาคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล พบว่าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 6V นั้นได้อัตราการไหลเชิงมวลที่ 0.0281 kg/s จากนั้นทำการปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5V ได้อัตราการไหลเชิงมวลที่ 0.0256 kg/s และเมื่อจากจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 4V ได้อัตราการไหลเชิงมวลที่ 0.0191 kg/s ตามลำดับ

ตำแหน่งการวัด

1. การวัดอุณหภูมิผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีป

ทำการวัดที่ผิวโลหะด้านร้อน 2 จุด โดยจุดที่ทำการวัดจุดที่ C1 จะอยู่ต่ำจากด้านบนสุดของครีป 2 cm และจุดที่ C2 จะอยู่สูงจากด้านล่างสุดของครีป 2 cm สำหรับผิวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำการวัด 2 จุด โดยจุด C3 จะอยู่ต่ำจากด้านบนสุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 1.5 cm จุด C4 จะอยู่ต่ำจากด้านบนสุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 5 cm และจุด C5 จะทำการวัดที่ด้านปลายของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังภาพที่ 23

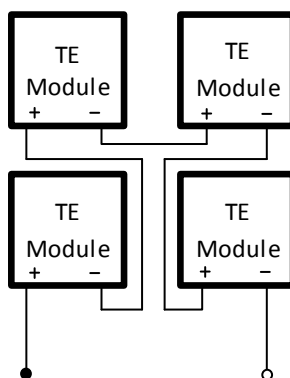


ภาพที่ 23 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

บำรุงพันธ์ และเลิศสิทธิธกร, 2557, น.564 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.564)

2. ลักษณะการต่อวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแบบอนุกรม

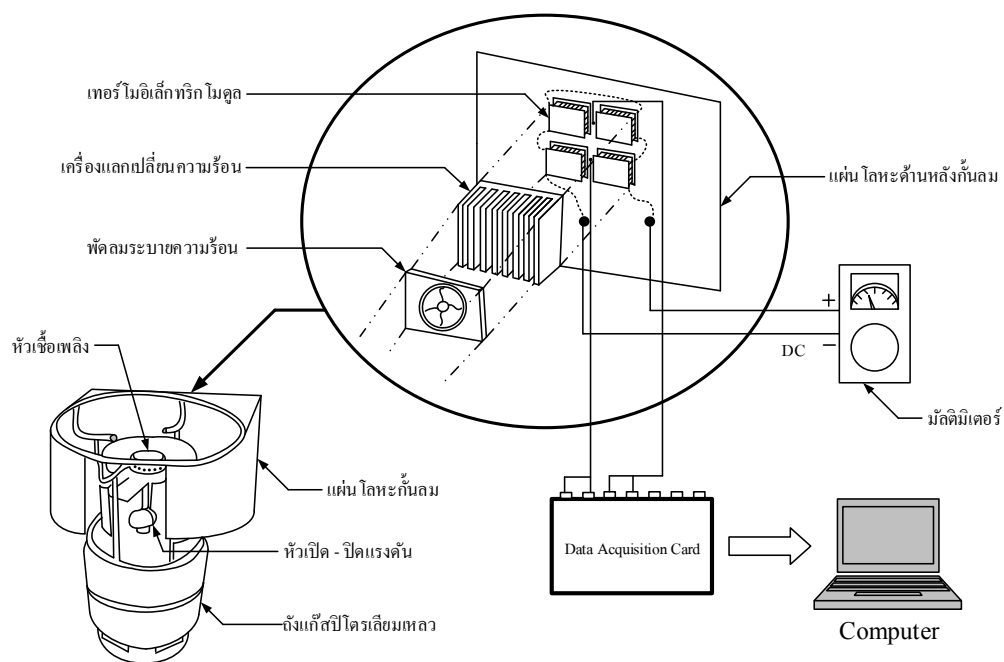
ในการทดลองนี้จะใช้เทอร์โมอิเล็กทริก จำนวน 4 โมดูล โดยลักษณะการต่อวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกจะเป็นแบบอนุกรม ดังภาพที่ 24



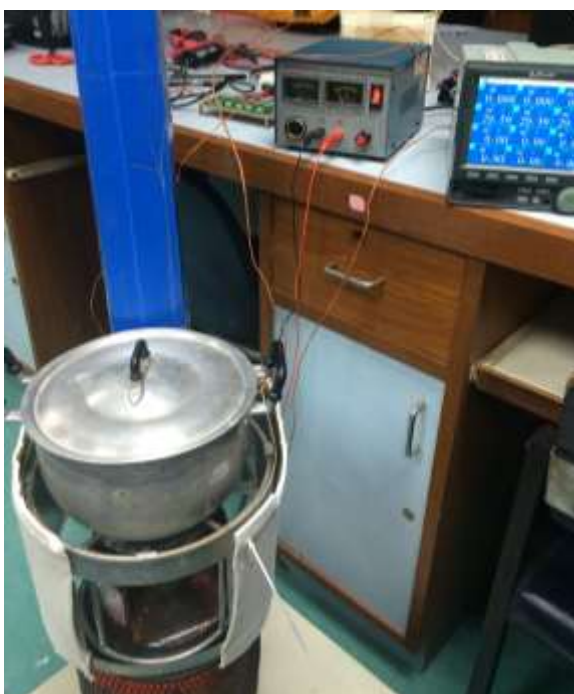
ภาพที่ 24 การต่อวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแบบอนุกรม

วิธีการทดลอง

การทดลองในครั้งนี้จะทำในห้องปิด โดยกำหนดให้การถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแบบบังคับ โดยทำการติดตั้งพัดลมระบายความร้อน ขนาด 8.5 cm×8.5 cm (กว้าง×ยาว) DC 5V, 0.21A จำนวน 1 ตัว ไว้ที่ด้านบนครีบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน กำหนดการถ่ายเทความร้อนด้านร้อนผ่านแผ่นโลหะกั้นลมที่ถูกออกแบบใหม่ดังภาพที่ 12 (b) ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนของเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว กำหนดใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 4 โมดูลต่ออนุกรม ทดลองโดยการจุดเชื้อเพลิงเตาหุงต้มและปรับหัวเปิด – ปิด แรงดัน จากนั้นนำหม้อหุงต้มอาหารวางบนหัวเตาโครมเหล็ก ใส่ น้ำ 3 ลิตร สำหรับการทดลองหุงต้มควบคุมอุณหภูมิที่ 120, 170 และ 220 °C กำหนดการทดลองในแต่ละครั้งที่ 20 นาทีต่อการทดลอง จากนั้นวัดค่าและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก กำหนดใช้เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้าแบบคล็องสายดังภาพที่ 25 สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขาออก ใช้เครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบดิจิตอลดังภาพที่ 26 สำหรับการวัดค่าอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K วัดอุณหภูมิทางด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วบันทึกค่าด้วย Multifunction Data Acquisition DAQ Card (Data Acquisition Card) รุ่น NI USB – 6218 ดังภาพที่ 26 เพื่อความแม่นยำในการวัดจึงทำการวัดอุณหภูมิควบคู่กับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล TESTO 435 ดังภาพที่ 24 รวมกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล TESTO 922 สำหรับวัดอุณหภูมิแวดล้อมภายในห้องปิด ณ ขณะนั้น ซึ่งลักษณะโครงสร้างการทดลองดังภาพที่ 25 กับ 26 โดยขั้นตอนการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ การทดลองหาตำแหน่งเหมาะสมของการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก การทดลองกรณีปรับเปลี่ยนความเร็วของของไหลและการทดลองต่อกับไหลในตัวด้านทาน



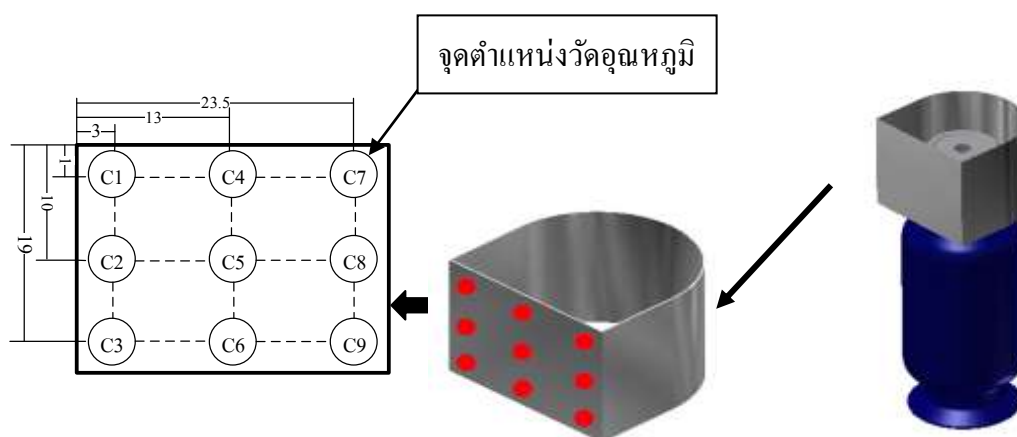
ภาพที่ 25 ลักษณะโครงสร้างการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก
บำรุงพันธ์ และเลิศสิทธิธนกร, 2557, น.565 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.565)



ภาพที่ 26 การทดลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

ขั้นตอนการทดลองหาตำแหน่งเหมาะสมของการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก

- ก. นำแผ่นโลหะกั้นลมที่ออกแบบแล้ว มาติดตั้งบน โครงเหล็กของเตา
- ข. จากนั้นจุดเชื่อมเพลิงบนหัวเชื่อมเพลิงและเปิดหัวปรับแรงดันเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียม
เหลวจนสุครอบหมูน
- ค. นำเครื่อง Data Acquisition Card ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K แล้วนำปลายสาย
เทอร์โมคัปเปิลสัมผัสผิวด้านหลังบนแผ่นโลหะกั้นลมตามตำแหน่งภาพที่ 27 ทั้งหมด 9 จุด
- ง. เตรียมเครื่องเทอร์โมมิเตอร์ที่จะใช้สำหรับวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมทั่วไปในห้องปิด
โดยจะวางใกล้กับบริเวณที่ทำการทดลอง
- จ. จากนั้นเริ่มบันทึกข้อมูลเก็บค่าอุณหภูมิ



ภาพที่ 27 การทดลองหาตำแหน่งเหมาะสมของการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก (หน่วย เซนติเมตร)
บำรุงพันธ์ และเลิศสิทธิธกร, 2557, น.565 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.565)

ขั้นตอนการทดลองกรณีปรับเปลี่ยนความเร็วของของไหล

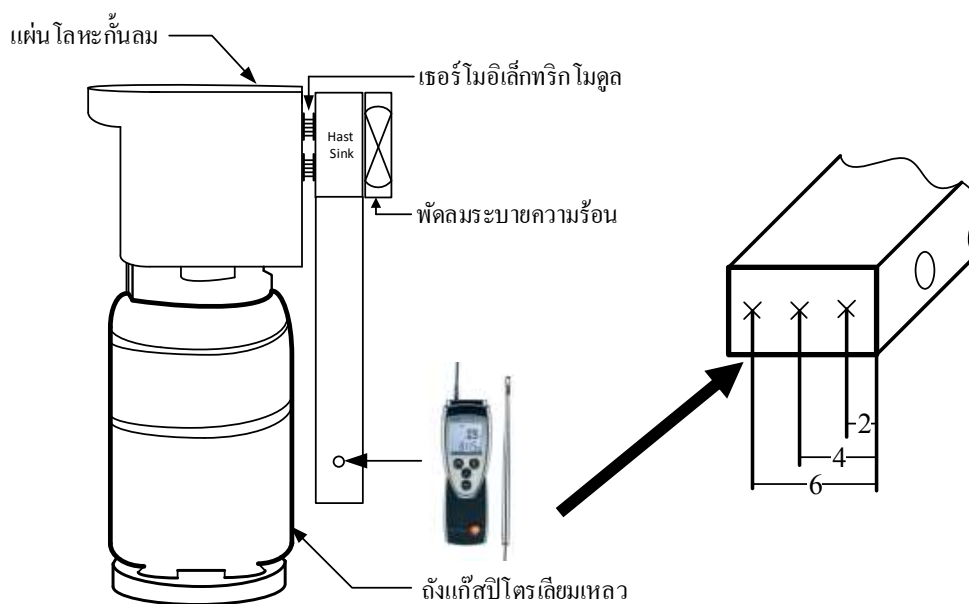
- ก. ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและพัดลมระบายความร้อนเข้ากับแผ่นโลหะกั้นลมด้านหลัง ดังภาพที่ 3.13
- ข. นำท่อสี่เหลี่ยมขนาด 8 cm×51 cm (กว้าง×ยาว) มาต่อเข้ากับท่อระบายความร้อนแล้ว
ทำการเจาะรูด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมขนาดพอเหมาะสมสามารถสอดสายวัดของเครื่องวัดความเร็ว
อากาศได้

ค. จากนั้นจุดเชื้อเพลิงและเปิดหัวปรับแรงดันเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวทำการควบคุมอุณหภูมิบนแผ่นโลหะกั้นลมอยู่ที่ 120, 170 และ 220 °C ตามลำดับ โดยทำการหุงต้มน้ำเริ่มต้นที่ 3,000 mL โดยใช้บีกเกอร์ในการวัดระดับน้ำ

ง. นำเครื่องแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 30V จ่ายไฟให้กับพัดลมระบายความร้อนทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้พัดลม อยู่ที่ 5, 4 และ 3V ตามลำดับ

จ. นำเครื่องวัดความเร็วอากาศมาวัดความเร็วของอากาศภายในท่อเพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ โดยนำสายวัดสอดเข้าไปในท่อผ่านรูที่ทำการเจาะแล้ว จากนั้นทำการปรับตำแหน่งวัด 3 ลำดับ ดังภาพที่ 28

ฉ. ทำการบันทึกข้อมูลอัตราการไหลของอากาศ ที่ทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้พัดลม อยู่ที่ 5, 4 และ 3V ตามลำดับ



ภาพที่ 28 ลักษณะตำแหน่งการวัดความเร็วของของไหล (หน่วย เซนติเมตร)

บำรุงพันธ์ และเลิศสถิตธนกร, 2557, น.565 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.565)

ขั้นตอนการทดลองต่อกับโหนดตัวต้านทาน

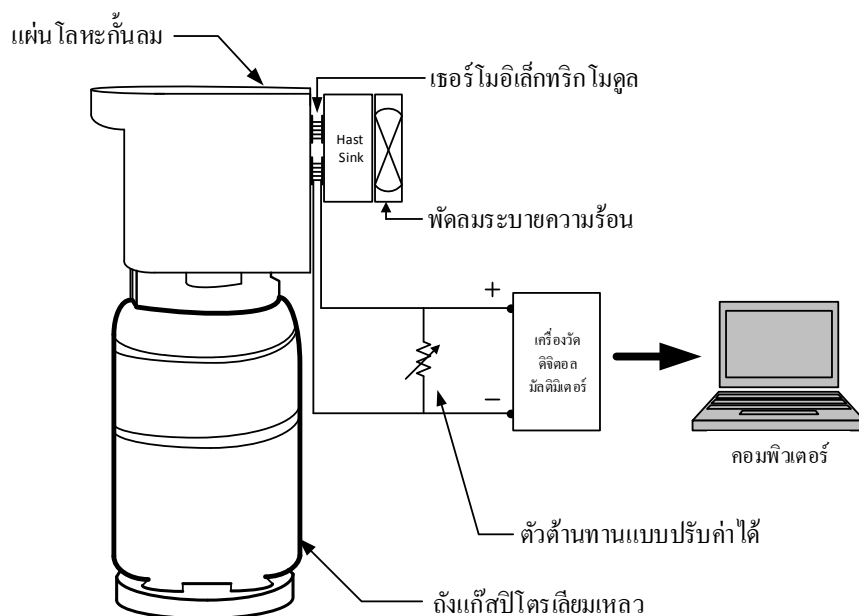
ก. นำตัวต้านทานแบบปรับค่าในภาพที่ 29 มาปรับตั้งค่าแต่ละตัวให้อยู่ที่ 1 ถึง $20\ \Omega$ จำนวน 20 ตัว โดยทำการใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ต่อขั้วบวกที่ปลายสายขั้วบวกตัวต้านทาน และสายขั้วลบของเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ต่อวัดที่ปลายสายขั้วลบตัวต้านทาน

ข. จากนั้นนำตัวต้านทานที่ตั้งค่าเรียบร้อยแล้วมาต่อเข้ากับเทอร์โมอิเล็กทริก โดยทำการต่อเข้ากันในแบบอนุกรมซึ่งขั้วบวกของเทอร์โมอิเล็กทริกต่อเข้ากับขั้วลบตัวต้านทาน

ค. จากนั้นจุดเชื้อเพลิงและเปิดหัวปรับแรงดันเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลวทำการควบคุมอุณหภูมิบนแผ่นโลหะกั้นลมอยู่ที่ 120 , 170 และ $220\ ^\circ\text{C}$ ตามลำดับ พร้อมกับการเปลี่ยนค่าความต้านทาน 1 ถึง $20\ \Omega$ ตามลำดับ

ง. จากนั้นนำเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ต่อตรงกับขั้วบวก – ขั้วลบเทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้ติดตั้งตัวต้านทานไว้ วัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ดังภาพที่ 29

จ. ทำการบันทึกผลข้อมูลแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตบนคอมพิวเตอร์

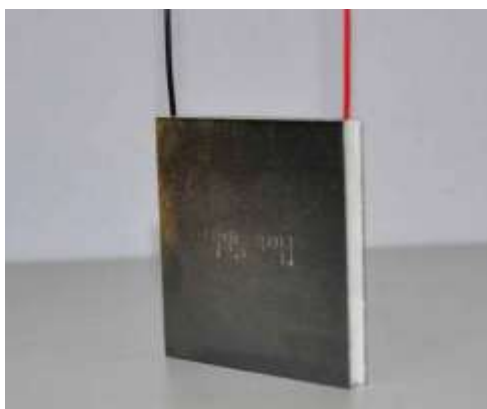


ภาพที่ 29 การทดลองต่อกับโหนดตัวต้านทาน

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งในระบบ

1. เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric Module)

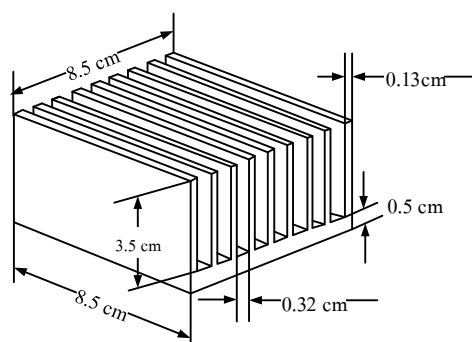
ในการทดลองนี้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกกรุ่น TEHP1-12635-1.2 (Xiamen Taihuaxing Trading Co., Ltd.) ที่ผลิตจากวัสดุกึ่งตัวนำ Bismuth Telluride จำนวน 126 คู่ต่อโมดูล ขนาด $3.5\text{ cm} \times 3.5\text{ cm} \times 0.3\text{ cm}$ (กว้าง×ยาว×สูง) จำนวน 4 โมดูล โดยเชื่อมต่อแบบอนุกรมทางด้านไฟฟ้า



ภาพที่ 30 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบริบายความร้อน (Rectangle Fin)

ในการทดลองนี้ใช้ครีบบนสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำจากอะลูมิเนียม ขนาด $8.5\text{ cm} \times 8.5\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ (กว้าง×ยาว×สูง) โดยครีบบีความหนา 0.13 cm ระยะห่างระหว่างครีบบ 0.32 cm มีจำนวน 15 ครีบบ ทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น



ภาพที่ 31 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบริบายความร้อน

3. เตาแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas)

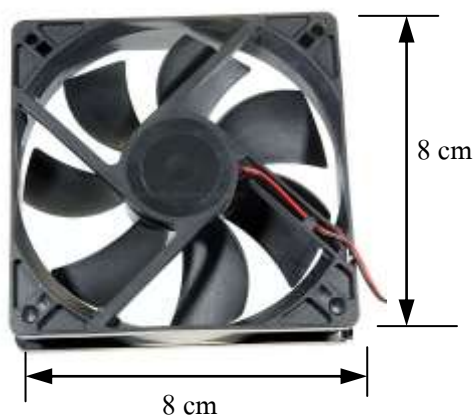
ในการทดลองนี้ใช้เตาแก๊สปิโตรเลียมเหลว ยี่ห้อ เวิลด์แก๊ส ขนาดน้ำหนักของแก๊ส 4 kg ความหนาผนังถัง 1.82 mm ความดันใช้งานสูงสุด 1.65 MPa ความจุ 9.2 dm³ พร้อมชุดหัวเตาโครมเหล็ก



ภาพที่ 32 เตาแก๊สปิโตรเลียมเหลว

4. พัดลมระบายความร้อน (Cooling Fan)

ในการทดลองนี้ใช้พัดลมระบายความร้อน Model : DC BRUSHLESS FAN กระแส 0.21A ใช้ไฟ DC 5V Made In Taiwan จำนวน 1 ตัว ความเร็วรอบ 7350 รอบ/นาที อัตราการไหลของอากาศ 1.1 m³/s ทำงานในสภาวะปกติที่อุณหภูมิ 25 ถึง 72 °C



ภาพที่ 33 พัดลมระบายความร้อน

5. แบตเตอรี่ (Battery)

ในการทดลองนี้ใช้แบตเตอรี่ ยี่ห้อ Sealed Rechargeable Battery SL 6 – 5.5 (DC – 6V) เป็นแหล่งเก็บพลังงานที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อจ่ายไฟให้กับ พัดลมระบายความร้อน



ภาพที่ 34 แบตเตอรี่แห้ง

6. ฉนวนความร้อน (Insulation)

การทดลองครั้งนี้ใช้ฉนวนความร้อนหุ้มแผ่นโลหะกั้นลม แบบเซรามิกไฟเบอร์ แผ่นแข็งหนา 3 mm ทนอุณหภูมิได้สูงสุด $1,260^{\circ}\text{C}$ ขนาดกว้าง 21 cm×80 cm (กว้าง×ยาว) ค่าสภาพนำความร้อน 0.085 – 0.185W/m K เพื่อใช้สำหรับเป็นฉนวนกันความร้อนไม่ให้เกิดความร้อนสูญเสีย



ภาพที่ 35 ฉนวนความร้อนเซรามิกไฟเบอร์

7. ซิลิโคนนำความร้อน (Silicone)

เนื่องจากการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับแผ่นโลหะกั้นลมด้านร้อนและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็นเกิดช่องว่างที่ผิวสัมผัส จึงเลือกใช้ซิลิโคนนำความร้อนเพื่อลดความต้านทานความร้อนที่ผิวสัมผัสระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกกับแผ่นโลหะกั้นลมด้านร้อนและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็น ซึ่งซิลิโคนที่นำมาใช้ยี่ห้อ Unick Silicone Heat Transfer Compound ขนาด 150 g ซึ่งมีค่าสภาพนำความร้อน $0.0015 \text{ Wm}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทนอุณหภูมิได้สูงสุด 200°C



ภาพที่ 36 ซิลิโคนนำความร้อน

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า

เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ทดลอง ยี่ห้อ Multifunction Data Acquisition DAQ Card (Data Acquisition Card) รุ่น NI USB – 6218 (16-Bit, 250 kS/s Isolated M Series MIO DAQ, Bus-Powered) จำนวน 1 เครื่อง ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการวัดอุณหภูมิ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ เพื่อใช้สำหรับบันทึกอุณหภูมิของระบบที่ตำแหน่งต่าง ๆ ณ เวลาใด ๆ



ภาพที่ 37 เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า

2. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล

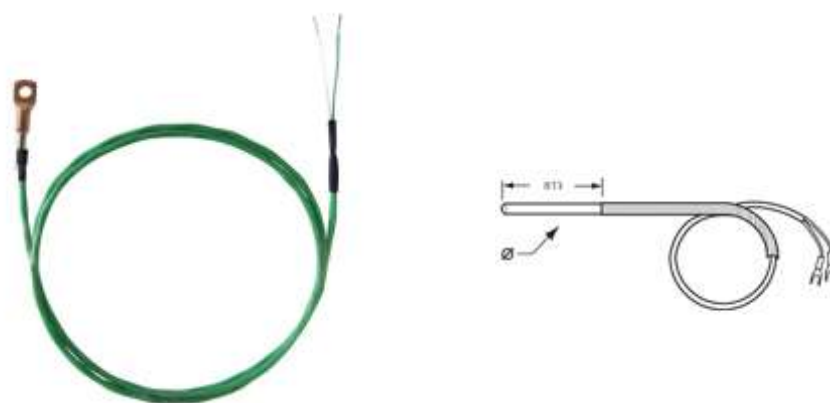
เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ TESTO 435 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิด้านเย็นและ TESTO 922 สำหรับวัดอุณหภูมิถึงเวดล้อม ตามลำดับ มีจุดวัดอุณหภูมิเครื่องละ 2 ช่องสัญญาณ มีช่วงวัดอุณหภูมิ -200 ถึง 1100 °C ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 38 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล

3. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

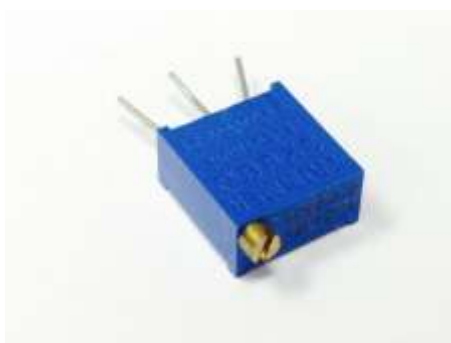
เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ช่วงวัดอุณหภูมิ -100 ถึง 400 °C โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (0.05%)



ภาพที่ 39 สายเทอร์โมคัปเปิล

4. ตัวต้านทานปรับค่าได้

ในการศึกษาต่อตัวต้านทานเข้าไปในระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ได้เลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบ TRIMMER 3296® ELECTRON ซึ่งสามารถปรับค่าความต้านทานได้ตั้งแต่ 0 – 2 M Ω โดยทำการเลือกค่าความต้านทานจากการหมุนเกลียวด้านบนของตัวต้านทาน



ภาพที่ 40 ตัวต้านทานปรับค่าได้

5. เครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบคล้องสาย (Clamp On Power Meter)

เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบคล้องสายที่ใช้เก็บผลการทดลอง ยี่ห้อ UNI-T Clamp meter UT204A (AC/DC Digital LCD Clamp Multimeter DMM Voltmeter 600A) ความคลาดเคลื่อนวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า $\pm 1.0\%$ ซึ่งในการทดลองเพื่อสำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า



ภาพที่ 41 เครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบคล้องสาย

6. เครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบดิจิทัล (Digital Multimeter)

เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบดิจิทัลที่ใช้ ยี่ห้อ Clarke CDM45 Professional Digital Multimeter, Voltage measuring ranges : AC (5) 100 μ V to 700V (rms), DC (5) 100 μ V to 1000V ความคลาดเคลื่อนสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า $\pm 3\%$ ซึ่งในการทดลองเพื่อสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า



ภาพที่ 42 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบดิจิทัล

7. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

การศึกษาวัดน้ำหนักแก๊สใช้เครื่องชั่งดิจิทัล ยี่ห้อ CST รุ่น CDR – 30 โดยพิกัดกำลังชั่งได้สูงสุด 30 kg ความละเอียดในการอ่าน 1 g และแท่นชั่งสเตนเลสมีขนาด 218 mm \times 260 mm (กว้าง \times ยาว) และค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 1 g สำหรับชั่งน้ำหนักถังเพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำหนักแก๊ส



ภาพที่ 43 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล

8. เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ

เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ Testo จากประเทศเยอรมนี รุ่น Testo 425 เหมาะสำหรับงานวัดความเร็วลมของระบบท่อลมในกระบวนการผลิต, ลมในระบบระบายอากาศ โดยมีหัววัดความเร็วลมแบบ Hotwire ติดตั้งที่ตัวเครื่อง พร้อม Telescope ปรับความยาวได้ สูงสุด 820 mm - ช่วงการวัด : ความเร็วลม 0 ถึง 20 m/s / อุณหภูมิ -20 ถึง + 70 °C โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับวัดความเร็วลม $\pm(0.03 \text{ m/s} + 5\% \text{ of mv.})$ และ อุณหภูมิ $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (0 ถึง +60 °C)



ภาพที่ 44 เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิแบบดิจิทัล

9. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply)

เพื่อหาอัตราการไหลของอากาศ เนื่องจากพัดลมระบายความร้อนนั้นจำเป็นต้องใช้ไฟ DC เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าและปรับแรงดันให้กับพัดลม ดังนั้นจึงเลือกใช้พาวเวอร์ซัพพลาย DC ขนาด 30V, 3A ยี่ห้อ SPECTRUM โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.2\text{V}$, $\pm 0.05\text{A}$



ภาพที่ 45 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง DC

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษานี้เป็นการพัฒนาระบบการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเพื่อการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลว เพื่อนำความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลว มาใช้ผลิตไฟฟ้า และศึกษาระบบการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อนำไปใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ วิทยุ เป็นต้น โดยทำการออกแบบและทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่าตำแหน่งอุณหภูมิที่เหมาะสมบนแผ่นโลหะกั้นลมที่ด้านหลังสำหรับการติดตั้งแผ่นนำความร้อนวัสดุทองแดงร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริก

การถ่ายเทความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลว

การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศสำหรับการระบายความร้อนด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

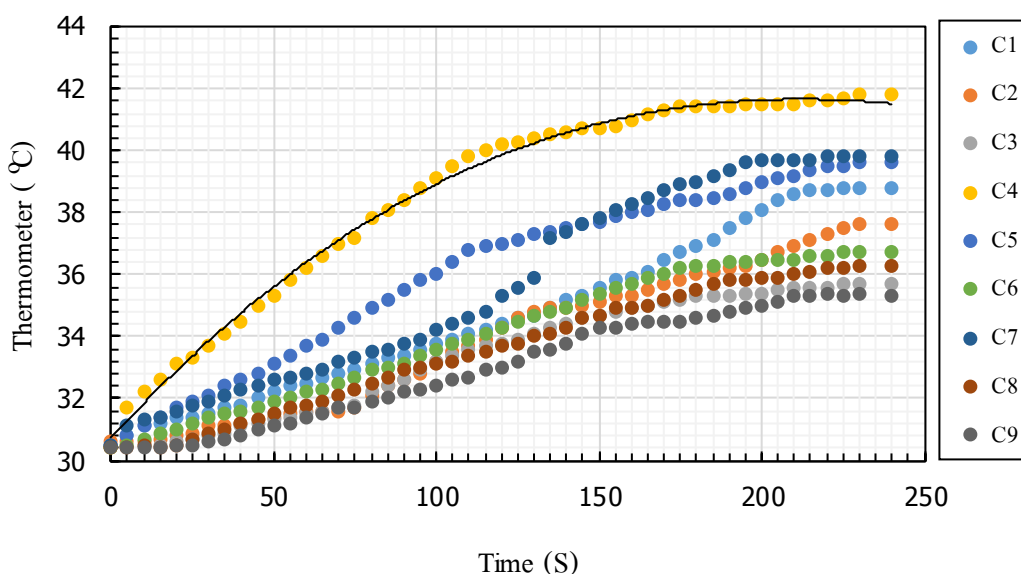
ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกและประสิทธิภาพรวมทั้งระบบ
การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของการเพิ่มวัสดุแผ่นทองแดงทางเศรษฐศาสตร์

ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่าตำแหน่งอุณหภูมิที่เหมาะสมบนแผ่นโลหะกั้นลมที่ด้านหลังสำหรับการติดตั้งแผ่นนำความร้อนวัสดุทองแดงร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริก

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลวเพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าวที่ 25 โดยทำการทดสอบในห้องปิดที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้อง 30°C ใช้หม้อหุงต้มน้ำในการประกอบอาหารและทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

การทดสอบเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียม กรณีเปิดเตาแก๊สโดยไม่ประกอบอาหาร

ในการทดลองนี้ได้ทำการเปิดแก๊สเตาหุงต้ม โดยทำการปรับหัวปรับความดันแก๊สจนสุด และกำหนดอัตราการไหลอากาศด้านเข้ของเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ที่ 0.0281 kg/s โดยไม่ทำการวางหม้อหุงต้มน้ำบนหัวเตา และทำการเก็บข้อมูลบนผิวของแผ่นโลหะกั้นลมด้านหลังรวม 9 ตำแหน่ง ผลที่ได้ภาพที่ 46



ภาพที่ 46 อุณหภูมิกรณีเปิดเตาแก๊สโดยไม่ประกอบอาหาร

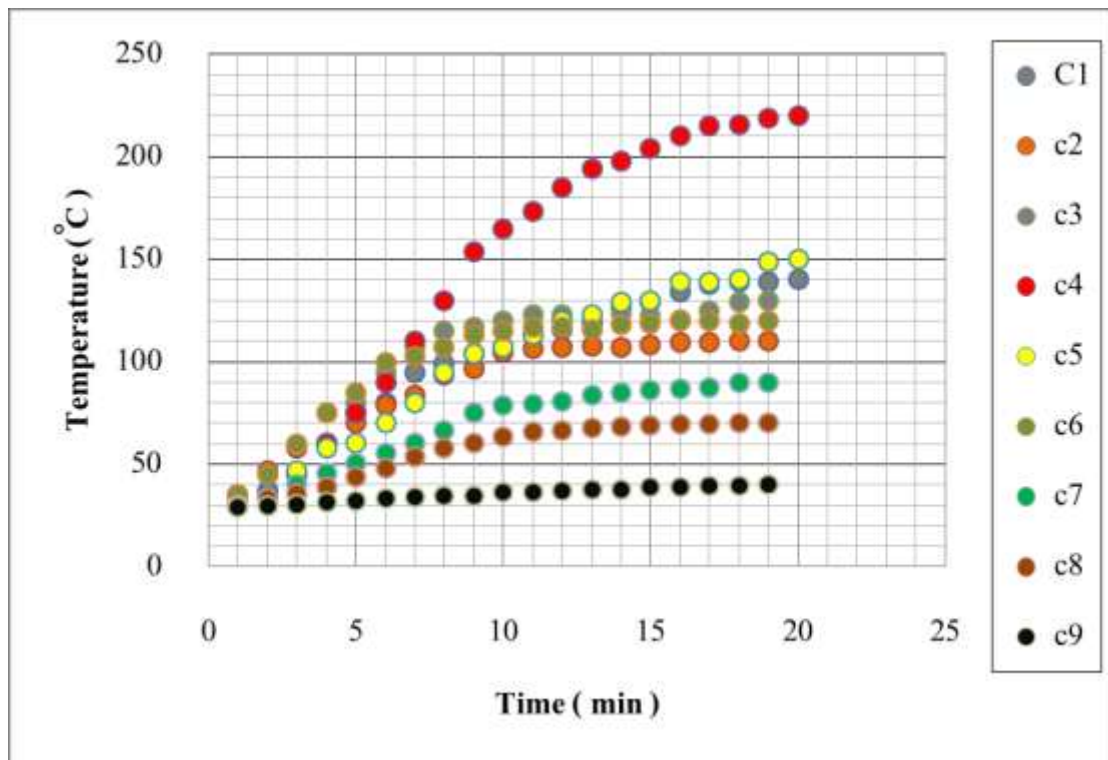
จากภาพที่ 46 พบว่าการทดสอบเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียม กรณีเปิดเตาแก๊สโดยไม่ประกอบอาหาร เมื่อทำการวัดอุณหภูมิบนแผ่นโลหะกั้นลมที่ด้านหลังปรากฏว่า ณ ตำแหน่งที่ C4 มีอุณหภูมิสูงสุด ณ สถานะคงตัวอยู่ที่เฉลี่ย 41°C อันเนื่องมาจากบนหัวเตาไม่มีอุปกรณ์ทำอาหารจึงทำให้ความร้อนสูญเสียที่ออกจากเตา ลอยขึ้นสู่อากาศสิ่งแวดล้อมทำให้ความร้อนสูญเสียที่ถ่ายเทมายังแผ่นโลหะกั้นลมจึงมีอุณหภูมิความร้อนสะสมน้อย จากรูปจะสังเกตได้ว่า ณ ตำแหน่งอื่น ๆ ของแผ่นโลหะกั้นลมนั้นจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เนื่องจากความร้อนสูญเสียที่ถ่ายเทมายังแผ่นโลหะกั้นลมนั้นไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้ความร้อนสะสมบนแผ่นโลหะกั้นลมนั้นมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิความร้อนสูญเสียที่แผ่นโลหะก้นลม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กรณีเปิดเตาแก๊สโดยไม่ประกอบอาหาร

ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิตั้งบนแผ่นโลหะก้นลม สถานะคงตัว (°C)
C1	38
C2	37
C3	35
C4	41
C5	39
C6	36
C7	39
C8	36
C9	35

การทดสอบเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียม กรณีเปิดเตาแก๊สโดยประกอบอาหาร

ในการทดลองนี้ได้ทำการเปิดแก๊สเตาหุงต้ม โดยทำการปรับหัวปรับความดันแก๊สจนสุด และกำหนดอัตราการไหลอากาศด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ที่ 0.0281 kg/s โดยทำการวางหม้อหุงต้มน้ำบนหัวเตา และทำการเก็บข้อมูลบนผิวของแผ่นโลหะก้นลมด้านหลังรวม 9 ตำแหน่ง ผลที่ได้ดังภาพที่ 47



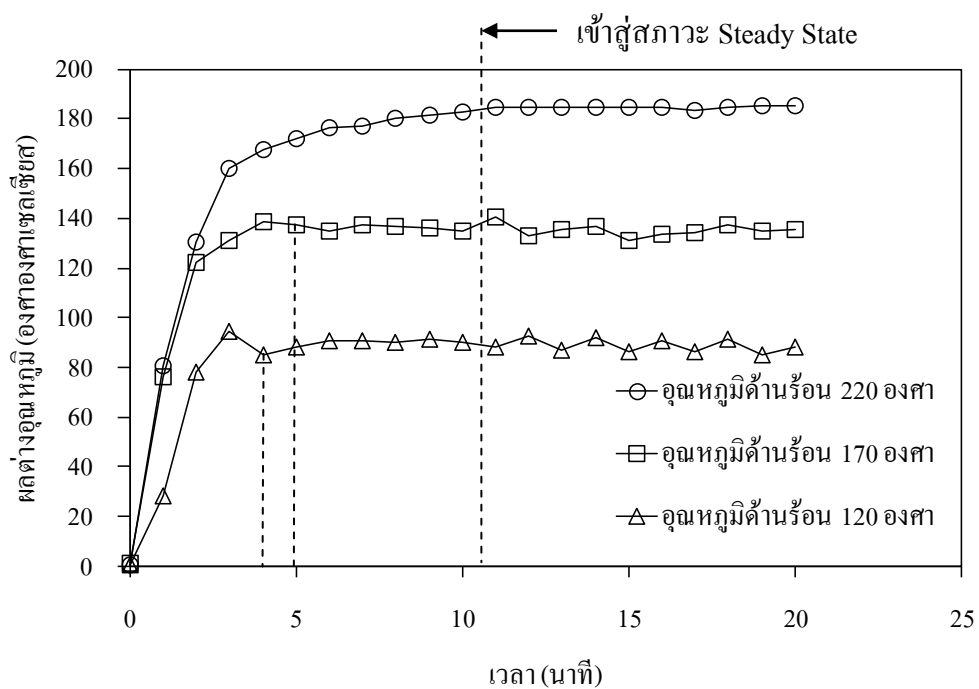
ภาพที่ 47 อุณหภูมิกรณีเปิดเตาแก๊สโดยการประกอบอาหาร

จากภาพที่ 47 พบว่าการทดสอบเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียม กรณีเปิดเตาแก๊สโดยการประกอบอาหาร เมื่อทำการวัดอุณหภูมิบนแผ่นโลหะก้นลมที่ด้านหลังปรากฏว่า ณ ตำแหน่งที่ C4 ยังมีอุณหภูมิสูงสุด ณ สถานะคงตัวอยู่ที่เฉลี่ย 220°C และยังมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกรณีเปิดเตาแก๊สโดยไม่ประกอบอาหาร เนื่องจากบนหัวเตาได้มีอุปกรณ์ทำอาหารจึงทำให้ความร้อนสูญเสียที่ออกจากเตามีการแผ่รังสีทิศทางความร้อนไปยังแผ่นโลหะก้นลมจึงมีอุณหภูมิความร้อนสะสมสูงจากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่า ณ ตำแหน่งอื่น ๆ ของแผ่นโลหะก้นลมนั้นจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันเนื่องจากความร้อนสูญเสียที่ถ่ายเทมายังแผ่นโลหะก้นลมนั้นไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้ความร้อนสะสมบนแผ่นโลหะก้นลมนั้นมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2

จากภาพที่ 46 และ 47 พบว่าผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาคำแหน่งอุณหภูมิที่เหมาะสมบนแผ่นโลหะก้นลมที่ด้านหลังนั้น กรณีที่เหมาะสมที่สุดคือ กรณีเปิดเตาแก๊สโดยประกอบอาหาร เนื่องจากให้อุณหภูมิความร้อนที่ให้กับแผ่นโลหะก้นลมดีที่สุด ณ ตำแหน่ง C4 เพื่อเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกในการผลิตไฟฟ้าต่อไป ดังนั้นจึงใช้ตำแหน่ง C4 บนแผ่นโลหะก้นลมกรณีเปิดเตาแก๊สโดยการประกอบอาหารในการทดลองอุณหภูมิที่ควบคุมได้ ดังภาพที่ 48

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิความร้อนสูญเสียที่แผ่นโลหะก้นลม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กรณีเปิดเตาแก๊สโดยการประกอบอาหาร

ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิตั้งบนแผ่นโลหะก้นลม สถานะคงตัว ($^{\circ}\text{C}$)
C1	70
C2	66
C3	59
C4	220
C5	91
C6	62
C7	70
C8	65
C9	59



ภาพที่ 48 อุณหภูมิความร้อนผิวโลหะก้นลมเฉลี่ย เมื่อทำการปรับหัวปรับความดันแก๊ส

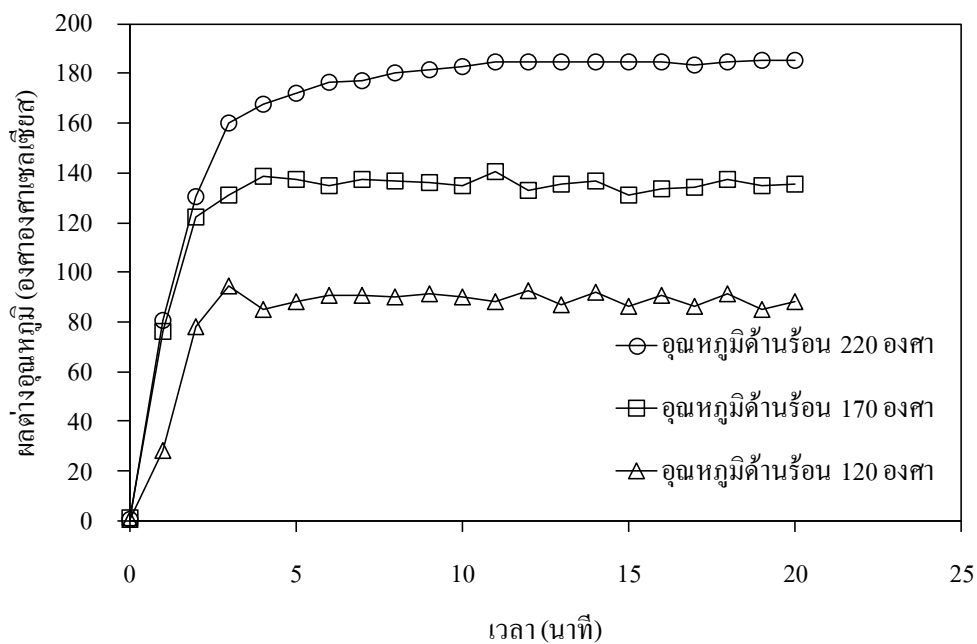
ในการทดลองผลิตไฟฟ้าได้ทำการเลือกใช้ตำแหน่ง C4 บนแผ่นโลหะกั้นลม ที่มีอุณหภูมิ ความร้อนเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 220°C และพิจารณาถึงอุณหภูมิผิวแผ่นโลหะกั้นลม ขณะที่ทำการ ทดลองได้ควบคุมอุณหภูมิ โดยทำการปรับหัวปรับความดันแก๊สให้อุณหภูมิ 120, 170 และ 220°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้สำหรับเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าในการทดลอง อุณหภูมิที่ใช้สำหรับเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกจะใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงที่ เวลา ประมาณ 4 นาที ที่อุณหภูมิ 120, 170 และ 220°C ดังภาพที่ 48 ดังนั้นในการทดลองผลิตไฟฟ้าจะ ใช้เวลาในการทดลองครั้งละ 10 นาที เนื่องจากผลการทดลองเบื้องต้นความร้อนจะเริ่มคงที่ใช้เวลา ประมาณ 4 ถึง 10 นาที เก็บข้อมูลทุก 1 นาที โดยจะทำการศึกษาความร้อนในสภาวะคงที่ ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 120, 170 และ 220°C ตามลำดับ เพื่อศึกษาการนำความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้ม แก๊สปิโตรเลียมเหลว มาใช้ผลิตไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ กำลังไฟฟ้า สูงสุดที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ เพื่อนำผลการศึกษานี้ไปใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น หลอดไฟ วิทยุ เป็นต้น

การถ่ายเทความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊ส ปิโตรเลียมเหลว

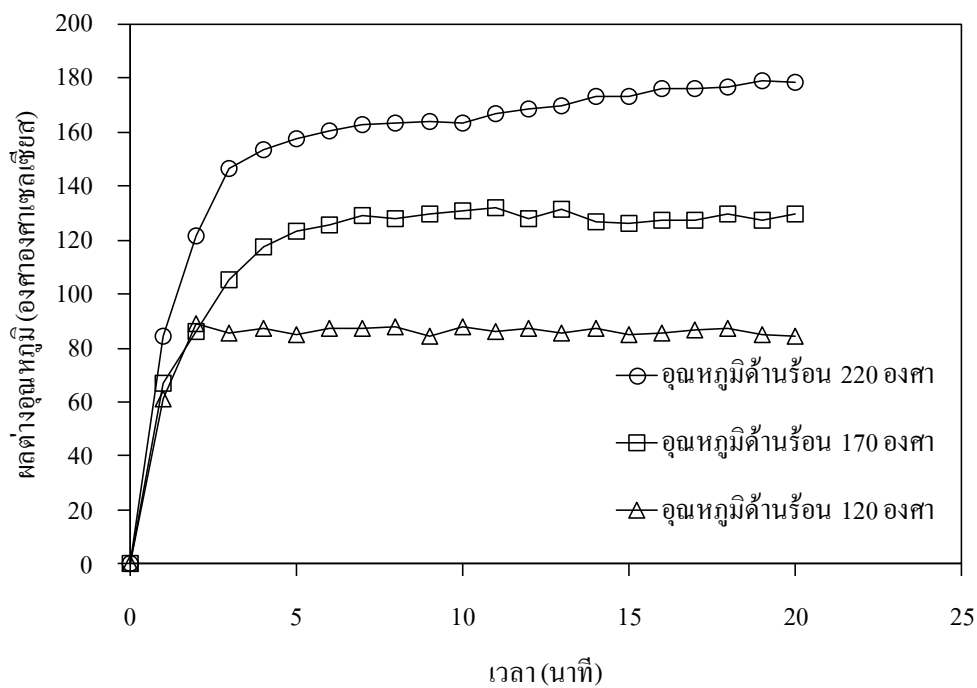
ในการทดลองครั้งนี้ได้แบ่งการศึกษการถ่ายเทความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจาก เทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว กรณีระบายความร้อนโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนแบบครีบระบายความร้อน ออกเป็น 3 ลักษณะได้แก่ อิทธิพลของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ แหล่งความร้อนทางด้านร้อน, อิทธิพลของการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศด้านเย็น และ วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ดังนี้

อิทธิพลของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิแหล่งความร้อนทางด้านร้อนและการปรับเปลี่ยน อัตราการไหลอากาศด้านเย็น

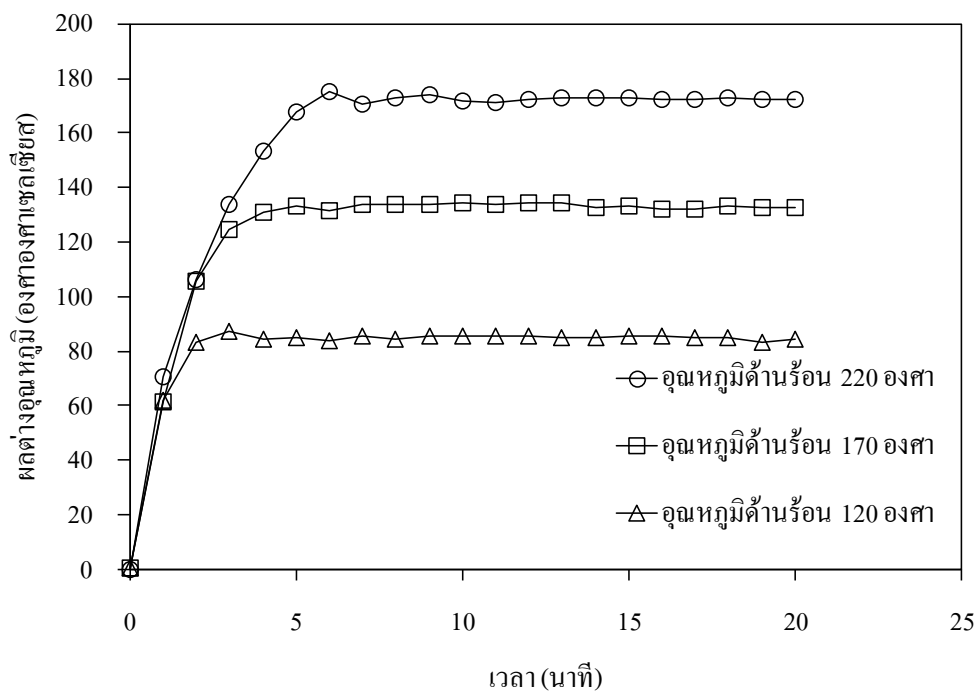
ในการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียม เหลวได้ทำการศึกษการถ่ายเทความร้อน โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระบายความร้อนด้าน เย็น ทำการศึกษา 1 กรณี คือ กรณีแบบการเปรียบเทียบค่าผลต่างของอุณหภูมิจากเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน โดยกำหนดอัตราการไหลอากาศสูงสุดอยู่ที่ 0.0281 kg/s ทดลองที่อุณหภูมิด้านร้อนคงที่ ที่อุณหภูมิ 220°C พบว่า กรณีแบบเป่าลมเข้าหาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อุณหภูมิด้านเย็น ลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 44.80°C ส่งผลให้ผลต่างของอุณหภูมิ เฉลี่ยอยู่ที่ 175.20°C ดังแสดงในภาพที่ 49



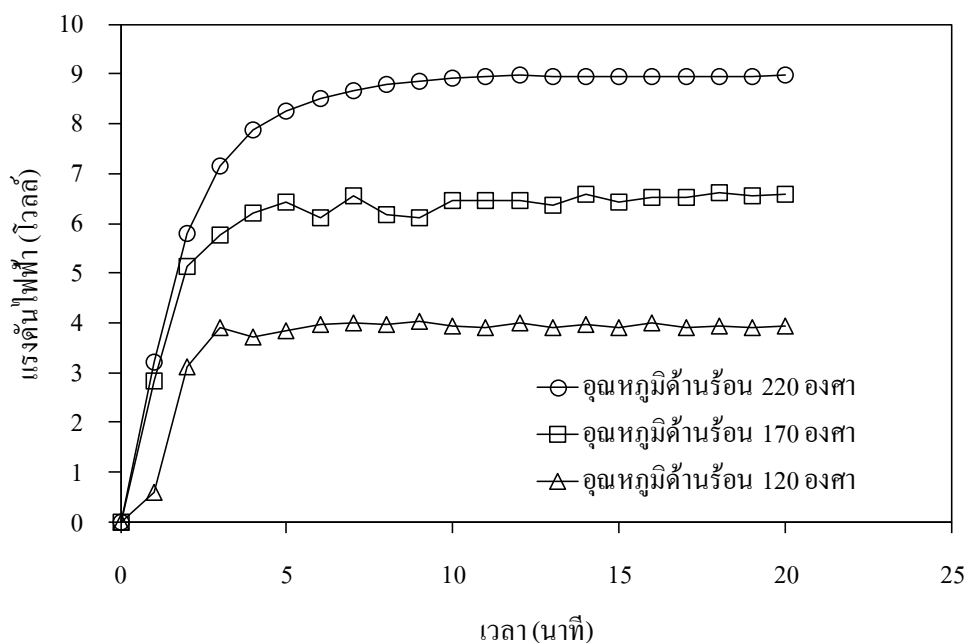
ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิความร้อนที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s



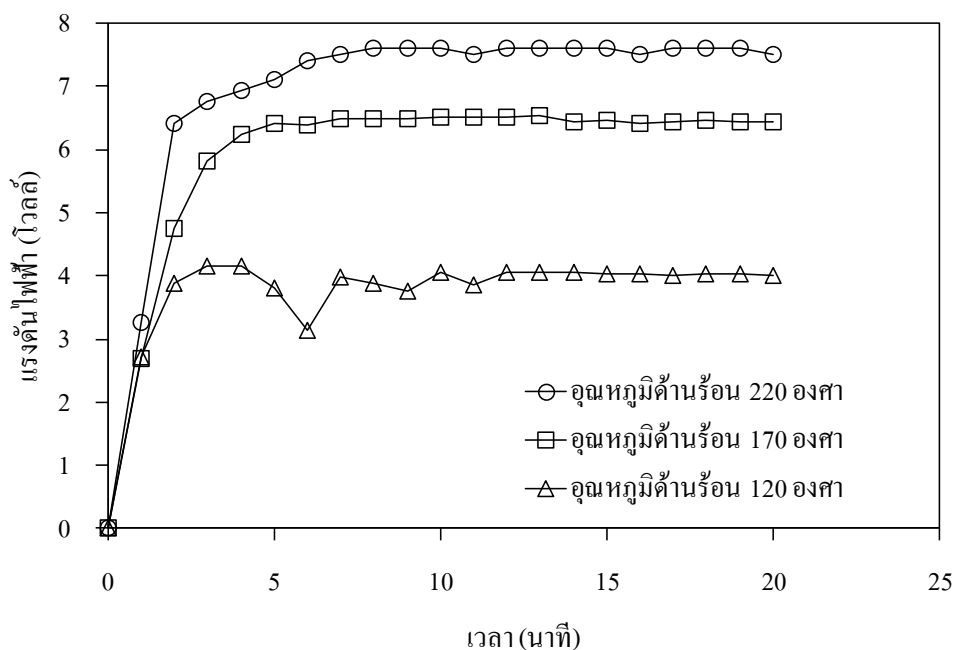
ภาพที่ 50 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิความร้อนที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256 kg/s



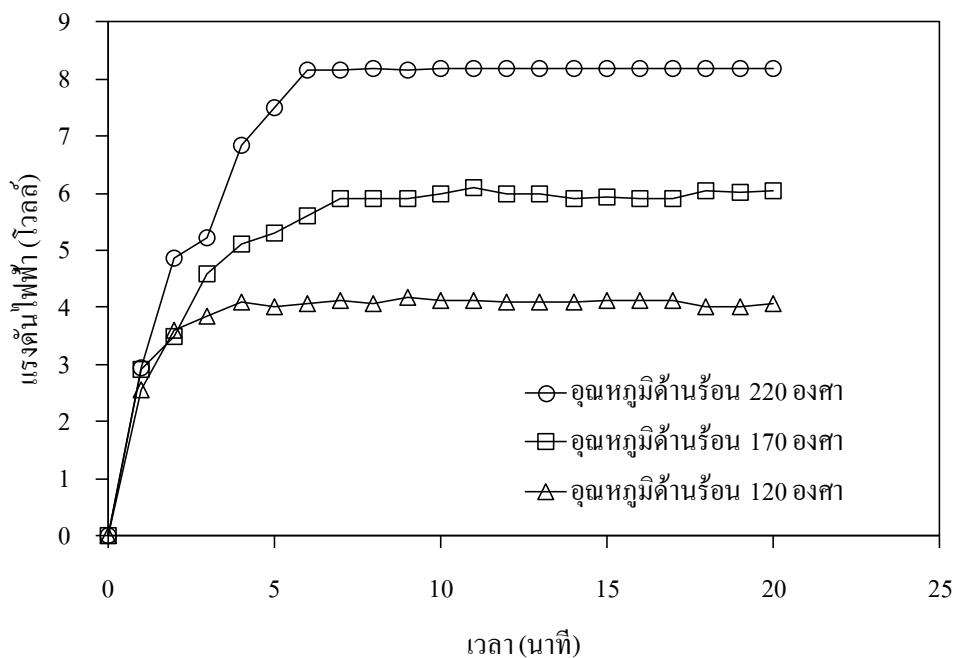
ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s



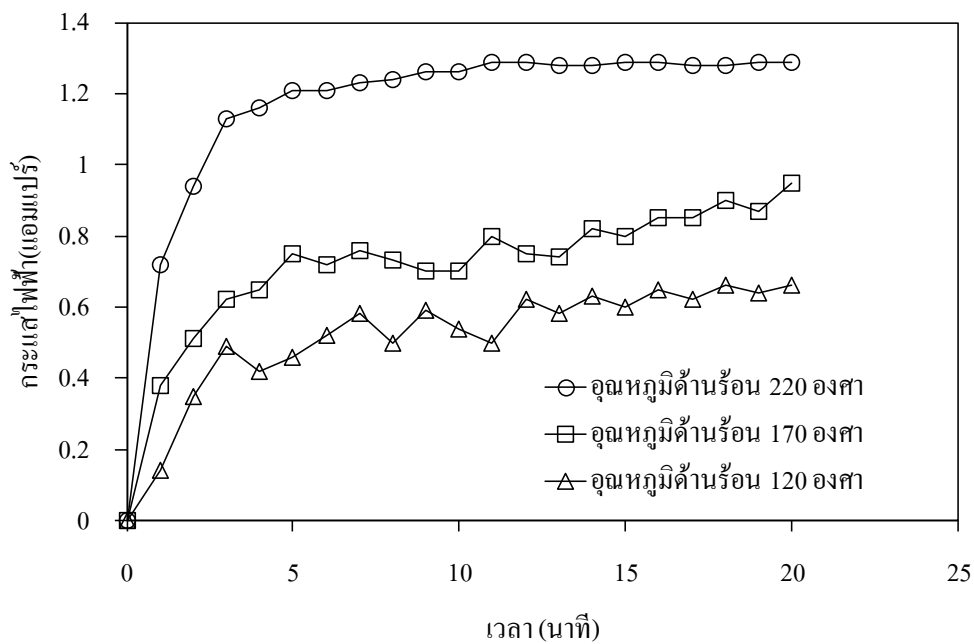
ภาพที่ 52 ความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s



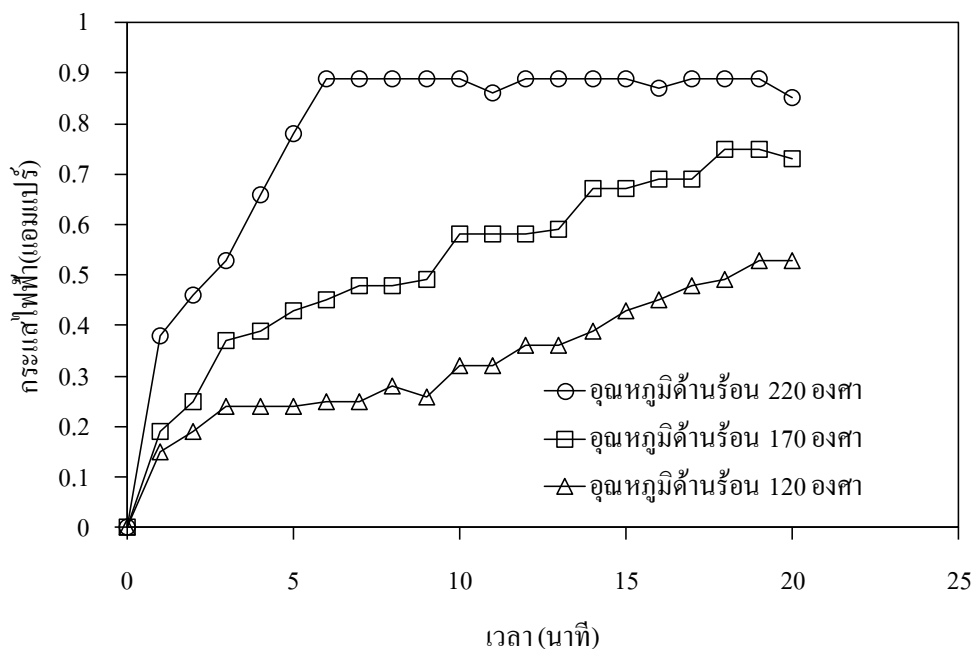
ภาพที่ 53 ความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256 kg/s



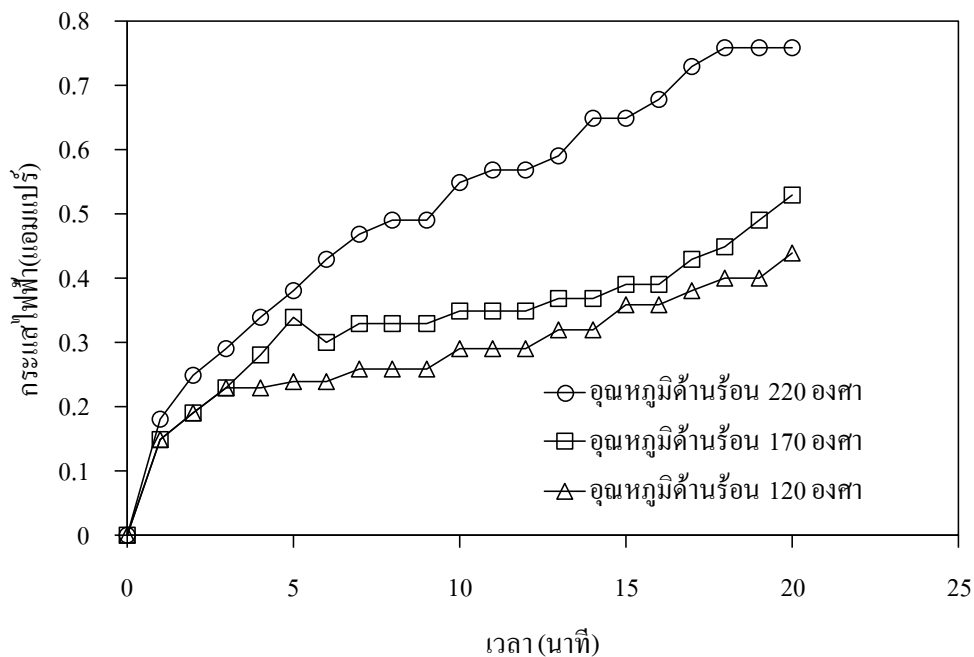
ภาพที่ 54 ความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s



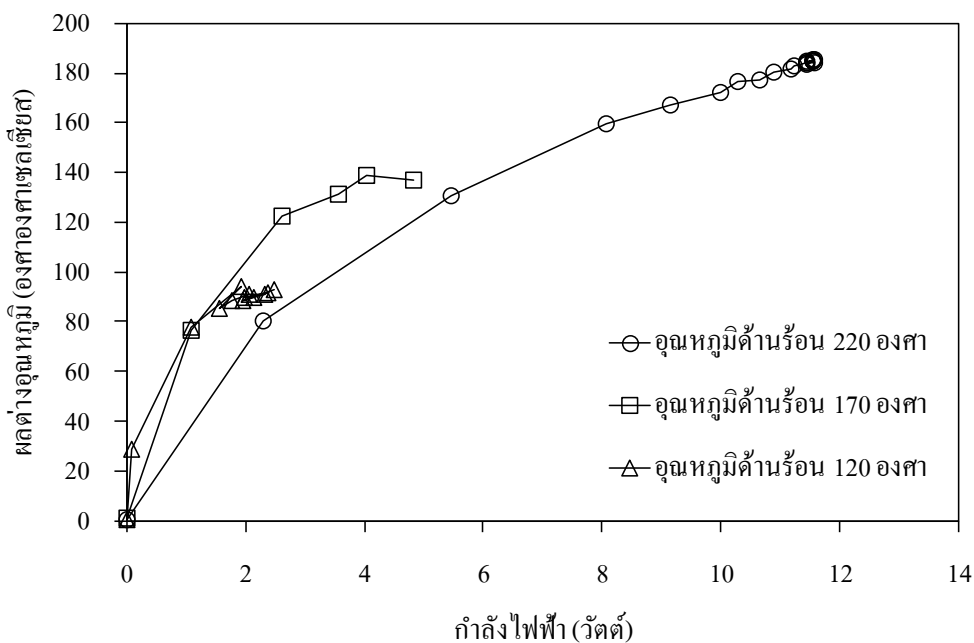
ภาพที่ 55 ความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s



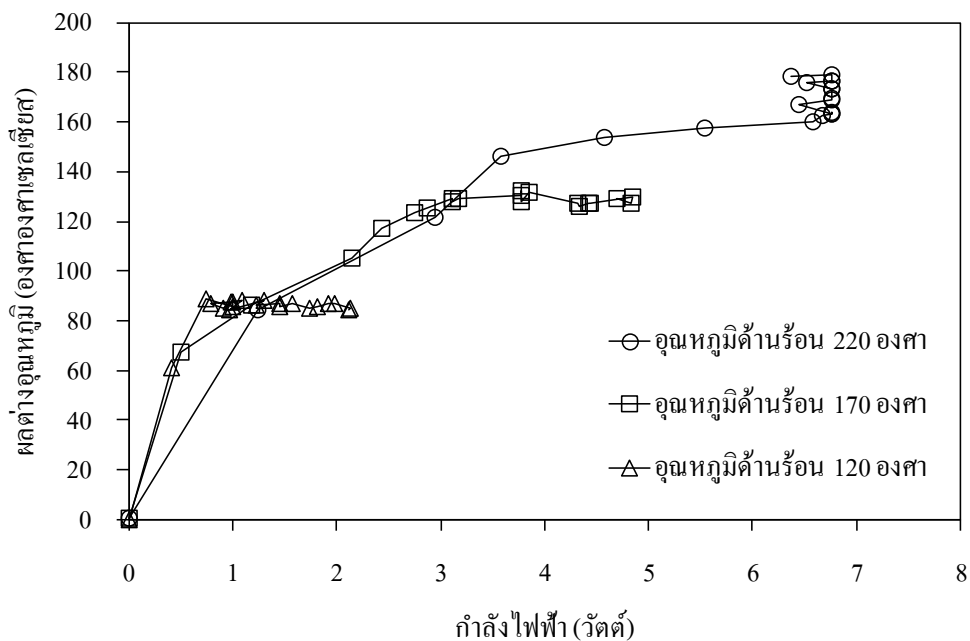
ภาพที่ 56 ความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256 kg/s



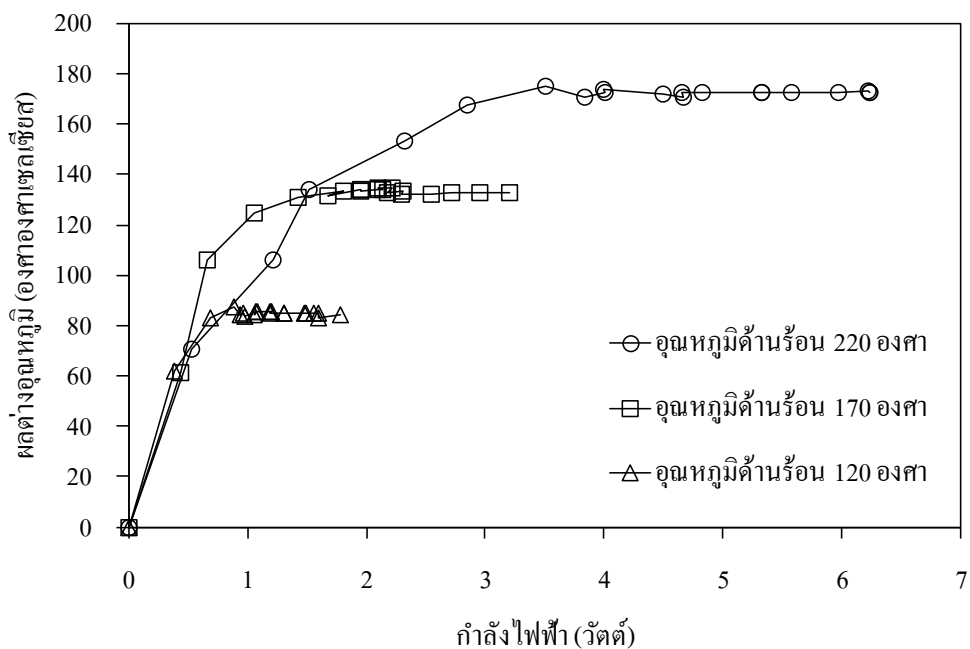
ภาพที่ 57 ความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s



ภาพที่ 58 ความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับผลต่างอุณหภูมิเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s



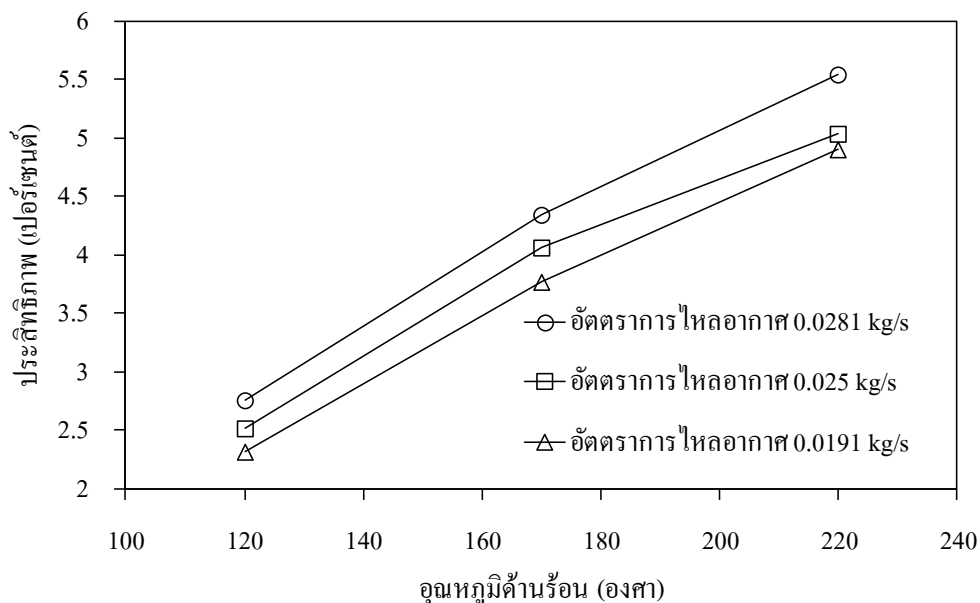
ภาพที่ 59 ความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับผลต่างอุณหภูมิเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256 kg/s



ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนกับผลต่างอุณหภูมิเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s

วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ที่เปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้า โดยทำการทดลองสภาวะที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพ จากสมการ 2.14 ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามภาพที่ 61



ภาพที่ 61 ความสัมพันธ์ระหว่างการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิด้านร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ได้กับ ประสิทธิภาพ ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 120,170 และ 220 °C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s

จากภาพที่ 61 ทำการทดลอง ที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน 120, 170 และ 220 °C ซึ่งในการวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต พบว่า ที่อุณหภูมิด้านร้อน 120 °C กำลังไฟฟ้าที่ได้ 2.59W ส่งผลให้ประสิทธิภาพได้ 2.26% และเมื่อปรับเปลี่ยนอุณหภูมิด้านร้อนให้สูงขึ้น สังเกตได้ว่าที่อุณหภูมิด้านร้อน 220 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิด้านร้อนสูงสุดที่เทอร์โมอิเล็กทริก ได้รับ กำลังไฟฟ้าที่ได้ 11.18W ส่งผลให้ประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นเป็น 5.14% เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมดจะได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละกรณีศึกษาดังนี้

อัตราการใช้ของภาค อุณหภูมิความร้อน	0.0281 kg/s					0.0256 kg/s					0.0191 kg/s				
	ผลต่าง อุณหภูมิ (°C)	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	กำลัง ไฟฟ้า (W)	ประ สิทธิภาพ ภาพ (%)	ผลต่าง อุณหภูมิ (°C)	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	กำลัง ไฟฟ้า (W)	ประ สิทธิภาพ ภาพ (%)	ผลต่าง อุณหภูมิ (°C)	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	กำลัง ไฟฟ้า (W)	ประ สิทธิภาพ ภาพ (%)
120	88.1	4.04	0.66	2.67	2.76	84.56	3.81	0.53	2.02	2.52	84.4	3.59	0.44	1.58	2.31
170	135.7	6.6	0.95	6.27	4.34	129.4	6.41	0.73	4.41	4.06	133.4	6.1	0.73	4.41	3.77
220	185.4	8.97	1.29	11.57	5.55	178.6	7.5	0.85	6.38	5.04	172.5	6.81	0.76	5.18	4.9

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าผลการทดลองระหว่างแบบที่ติดแผ่นทองแดงและแบบที่ไม่ติดแผ่นทองแดงดังนี้

รายการ	ไม่ติดแผ่นทองแดง	แบบติดตั้งแผ่นทองแดง
แรงดันไฟฟ้า (V)	8.19	9
กระแสไฟฟ้า (A)	1.14	1.29
กำลังไฟฟ้า (W)	9.33	11.81
ผลต่างอุณหภูมิ (C)	60	185.4
อุณหภูมิด้านร้อน (C)	130	220
ประสิทธิภาพ (%)	2.81	5.14
เงินลงทุน (บาท)	3000	3300
จุดคุ้มทุน (ปี)	1.53	0.5

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ โดยการหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อเป็นทางเลือกในการลงทุนสำหรับการนำเอาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งทั้งระบบนั้นพิจารณาได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	ชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ด้านรับความร้อน - แผ่นโลหะสังกะสีกั้นลมกับ แผ่นทองแดง	1	450	450
2	- เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	4	400	1,600
3	ชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ด้านระบายความร้อน - เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน - พัดลมระบายความร้อน	1 1	100 150	100 150
4	ชุดควบคุมการจ่ายไฟ - วงจรปรับแรงดันรวม - แบตเตอรี่	1 1	800 200	800 200
ค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น				3,300

จากตารางที่ 5 แสดงค่าใช้จ่ายรวมในการสร้างเครื่อง รวมทั้งสิ้น 3,300 บาท ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ โดยการหาระยะเวลาคืนทุน พิจารณาเมื่อกำหนดระยะเวลาที่ต้องใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยพิจารณาจากอัตราดอกเบี้ย 14.875% คิดจากอัตราเงินกู้ของธนาคารกรุงไทยต่อปี เมื่อทำการวิเคราะห์จากสมการที่ 2.27

ตารางที่ 6 เงื่อนไขสำหรับการประเมินผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ลำดับ	รายการ	การวิเคราะห์
1	โหลด 3.2W	พัฒนาระบายความร้อน
2	ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (บาท)	3,300
3	อัตราดอกเบี้ย (%)	14.875
4	แบตเตอรี่ (ขนาด AA, 1.2V) ค่าใช้จ่าย (บาท/ชม.)	17.41

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง ประเมินและเปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้มา วิเคราะห์กับแบตเตอรี่ ขนาด AA, 1.2V จำนวน 4 ก้อน ร่วมกับโหลดพัฒนาระบายความร้อน 3.2W โดยระยะเวลาคืนทุนถูกกำหนดขึ้นเพื่อพิจารณาสำหรับการลงทุนกับแบตเตอรี่ ขนาด AA ที่มีขายทั่วไป ซึ่งเงื่อนไขสำหรับการประเมินผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ สรุปตามตารางที่ 6 ซึ่งผลประเมินและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายต่อพลังงานที่ได้มากับโหลด 3.2W พบว่า ระยะเวลาคืนทุนขึ้นอยู่กับเวลาการทำงาน เมื่อทำการเปิดใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ในการเปิดใช้งาน 15 ชั่วโมง คิดเป็นกำลังไฟฟ้ารวมที่ได้ 330W/day จะมีระยะเวลาคืนทุนเป็น 8.24 ปี ทำให้ทราบว่าจากการเปิดใช้งานที่ยาวนานต่อเนื่อง 15 ชั่วโมงต่อวัน สรุปได้ว่ายังไม่คุ้มต่อการลงทุน เนื่องจากเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นยังมีราคาที่สูงส่งผลให้การลงทุนนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้ผลิตไฟฟ้าจากความร้อนยังคงต้องให้กระบวนการผลิตเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นต้นทุนต่ำเสียก่อนในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามการนำเอาความร้อนสูญเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนจะช่วยส่งผลให้ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานทั้งบ้านเรือนรวมถึงในเชิงอุตสาหกรรม อีกทั้งยังเป็นพลังงานที่สะอาดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเพื่อนำความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว มาใช้ผลิตไฟฟ้า รวมถึงสร้างและทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก และศึกษาในสภาวะอุณหภูมิด้านร้อนต่าง ๆ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ออกเป็นดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาทดลองเบื้องต้นเพื่อหาตำแหน่งอุณหภูมิที่เหมาะสมบนแผ่นโลหะกั้นลมที่ด้านหลัง สรุปได้ว่า การทดสอบเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียม กรณีเปิดเตาแก๊สโดยประกอบอาหารทำอุณหภูมิตามแผ่นโลหะกั้นลมได้ดีที่สุด โดยที่ตำแหน่งที่ดีที่สุดคือ ตำแหน่ง C4 ทำอุณหภูมิได้ 220°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก

2. จากทดสอบการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศด้านเย็นรวมกับการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิด้านร้อน สรุปได้ว่าอัตราการไหลอากาศด้านเย็นที่เหมาะสมที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s รวมกับอุณหภูมิด้านร้อนที่ทำได้ 220°C ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดที่ทำได้ 11.18W ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงวงจรเปิด 8.87V และกระแสไฟฟ้ากระแสตรงลัดวงจร 1.26A ซึ่งเพียงพอจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กได้

3. จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก สรุปได้ว่า ที่ค่าอัตราการไหลอากาศด้านเย็น 0.0281 kg/s รวมกับอุณหภูมิด้านร้อนที่ทำได้ 220°C ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ทำได้ 5.14% และเมื่อเปรียบเทียบกับวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพจากสมการ 2.10, 2.14

4. จากผลการทดลองความสัมพันธ์ของระบบผลิตไฟฟ้าหลักปิดระบบการใช้งาน สรุปได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาทีนับจากสภาวะผลต่างอุณหภูมิกงที่ ทำการปิดระบบผลิตไฟฟ้า เมื่อทำการปิดระบบแล้วนั้น ส่งผลให้ผลต่างอุณหภูมิก่อๆ ลดลง ซึ่งช่วงเวลาที่ผลต่างอุณหภูมิลดลงนี้นั้น

ใช้เวลาถึง 6 นาที ถึงจะทำให้ ผลต่างอุณหภูมิเข้าใกล้ 0°C ดังนั้นในช่วงเวลา 6 นาที ทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกยังสามารถนำความร้อนในช่วงเวลานี้มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้

5. ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ โดยการหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก สรุปได้ว่าการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง ประเมินและเปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้มา วิเคราะห์กับแบตเตอรี่ ขนาด AA, 1.2V จำนวน 4 ก้อน รวมกับโหลดพัฒนาระบายความร้อน 3.2.W สรุปได้ว่าระยะเวลาคืนทุนขึ้นอยู่กับเวลาการทำงาน เมื่อทำการเปิดใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ในการเปิดใช้งาน 15 ชั่วโมง จะมีระยะเวลาคืนทุนเป็น 8.24 ปี และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการใช้งานมากขึ้น ก็จะทำให้มีระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้น

อภิปรายผล

จากการวิจัยพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้และระยะเวลาคืนทุนเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ บำรุงพันธ์ และคนอื่นๆ, 2557, น.560-565 (Bamroongkhan & Lertsatitthanakorn, 2014, p.560-565) ซึ่งได้ทำการศึกษาสมรรถนะระบบการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว และได้ค่าจากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านร้อน 130°C และผลต่างอุณหภูมิ 60°C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s กำลังไฟฟ้าสูงสุด 9.33W ส่งผลให้ประสิทธิภาพผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ 2.92% ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้จากความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวสามารถนำมาจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กได้ และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ โดยมีการหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โดยระยะเวลาคืนทุนถูกกำหนดขึ้นเพื่อพิจารณาสำหรับการลงทุนกับแบตเตอรี่ ขนาด AA พบว่าในการเปิดใช้งาน 1 ชั่วโมง จะมีระยะเวลาคืนทุนเป็น 1.53 ปี และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการพัฒนาโดยการติดตั้งแผ่นทองแดงเข้าไปพบว่าค่าที่ได้ จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านร้อน 220°C และผลต่างอุณหภูมิ 60°C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s กำลังไฟฟ้าสูงสุด 11.18W ส่งผลให้ประสิทธิภาพผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ 5.14% ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้จากความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลวสามารถนำมาจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กได้ และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ โดยการหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โดยระยะเวลาคืนทุนถูกกำหนดขึ้นเพื่อพิจารณาสำหรับการลงทุนกับแบตเตอรี่ ขนาด AA พบว่าในการเปิดใช้งาน 15 ชั่วโมง จะมี

ระยะเวลาคืนทุนเป็น 8.24 ปี ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าส่วนที่ติดตั้งแผ่นทองแดงเข้าไปทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ในการนำความร้อนสูญเสียจากเตาหุงต้มแก๊สปีโตรเลียมเหลว บนแผ่นโลหะกั้นลมมาเป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกนั้น ยังไม่สามารถนำความร้อนสูญเสียบนแผ่นโลหะกั้นลมมาใช้ได้หมด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกเพียงด้านเดียวเท่านั้น

2. ควรศึกษาวิธีการระบายความร้อนด้านเย็นที่เหมาะสม เนื่องจากการใช้งานไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง หากไม่มีการระบายความร้อนด้านเย็นที่เหมาะสม จะเกิดการพาความร้อนจากฝั่งด้านร้อนมายังฝั่งด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ลดลง

3. จากข้อมูลการประเมินต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่อาศัยกระบวนการของความแตกต่างของอุณหภูมิสองด้านในสารกึ่งตัวนำ พบว่าขณะนี้ยังมีต้นทุนสูงอยู่แต่ในอนาคตเชื่อว่าต้นทุนจะลดลงอันเนื่องมาจากเทคโนโลยีการผลิตเทอร์โมอิเล็กทริกมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องซึ่งจะมีผลให้ระยะเวลาคืนทุนจะสั้นลงด้วย

บรรณานุกรม

- ณัฐ จันท์กรบ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์. (2549). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้ม. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย. ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์.
- นพพร พัชรประภิติ, ยุทธสิทธิ์ แสนเรือน และพันธ์ชัย กาวิชัย. (2550). ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานเทอร์โมอิเล็กทริก. การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย. น. 17 – 25.
- ยศวีร์ ยันตะพันธ์. (2553). เครื่องชาร์จแบตเตอรี่คุณภาพสูงด้วยระบบรวมพลังงานแสงผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ โดยวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. น. 42-64
- Astrain, D., Vian, J.G, Martinez, A., Rodriguez, A. (2010). “Study of the influence of heat exchangers’ thermal resistances on a thermoelectric generation system.” **Journal of Energy**. Vol. 35. pp. 602-610.
- Bamroongkhan, P., and Lertsatitthanakorn,C. (2014)“Performance Study of a Thermoelectric Generator Incorporated in a Liquid Petroleum Gas Stove.” **Burapha University International Conference**. July 3-4. Thailand. Vol. 3. p. 560 - 565
- Bulusu, A., and Walker, D., G. (2008). “Reviews of Electronics Transport Models for Thermoelectrics Material.” **Superlattice & Microstruc**. Vol. 44. p. 1-36.
- Buist, R.J. and Lau, P.G. (1997). “Thermoelectric power generator design and selection from TE cooling module specifications.” **16th International Conference on Thermoelectrics**. p. 551-554.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Cheng, T., Gia, Y., Hsu, S., Ben, U., Jeng Yao, D. (2011). “An effective Seebeck coefficient obtained by experimental results of a thermoelectric generator module.” **Journal of Applied Energy**. Vol. 88. p. 5173-5179.
- Cheng, T., Gia-Yeh, H., Hsu-Shen, C. (2011). “Experiments and simulations on low-temperature waste heat harvesting system by thermoelectric power generators.” **Journal of Applied Energy**. Vol. 88. p. 1291–1297.
- Chien-Chang, W., Chen-I, H. (2012). “Design of heat sink for improving the performance of thermoelectric generator using two-stage optimization.” **International Journal of Energy**. Vol. 39. p. 236-245.
- Chen, L., Meng, F., and Sun, F. (2012). “Effect of heat transfer on the performance of thermoelectric generator-driven thermoelectric refrigerator system.” **Cryogenics**. Vol. 52. p. 58-65.
- Champier D., Bédécarratsb J.P., Kouksoua T., Rivalettoa M., Strubc F., Pignoleta P. (2011). “Study of a TE (thermoelectric) generator incorporated in a multifunction wood stove.” **Energy**. Vol. 36. No. 3. p. 1518-1526.
- Chen, J. (1996). “Thermodynamic analysis of a solar – driven thermoelectric generation.” **Journal of Appl. Phy**. Vol. 79. No. 5. p. 2717-2721.
- Itsariwan, P., Sarakonsri, T., and Phiyalinmat, S. (2011). “Phase Identification of Bi-Se-Te Thermoelectric Material by Non-aqueous Method.” **Submitted April 2011**. ChiangMai J. Sci.
- Jensak, E., Itsda, B. (2006). “Development of a thermoelectric battery - charger with microcontroller – based maximum power point tracking technique.” **Journal of Applied Energy**. Vol. 83. p.687- 704.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Jung, C. (2013). "Thermoelectric transformation and illuminative performance analysis of a novel LED-MGVC device." **International Journal of Communications in Heat and Mass Transfer**. Vol. 48. pp. 80-85.
- Kari, A., Timo, L., Kari, S., Juha, J. (2014). "Analysis of a wooden pellet-fueled domestic thermoelectric cogeneration system." **Journal of Applied Thermal Engineering**. Vol. 63. p. 1-10.
- Kraemer, D., McEnaney, K., Chiesa and G. Chen, C. (2012). "Modeling and optimization of solar thermoelectric generators for terrestrial applications." **Journal of Solar Energy**. Vol. 89. p.1727-1734.
- Kajikawa, T. and Niino, M., (1996). "Advance in development of thermoelectric power generation system recovering combustion heat of solid waste in Japan." **Fifteenth International Conference**. p. 343-351.
- Lersatitthanakorn C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Dagueuet M. (2002). "Experimental Performance of a Ceiling-Type Free Convected Air Conditioner." **International Journal of Ambient Energy**. Vol. 23. p. 59-68.
- Lersatitthanakorn C. (2007). "Electrical performance analysis and economic evaluation of combinedbiomass cook stove thermoelectric (BITE) generator." **Bioresource Technology**. Vol. 98. p. 1670-1674.
- Minnich, A. J., Dresselhaus, M. S., Ren, Z. F., and G. Chen. (2009). "Bulk Nanostructured Thermoelectrics Materials: Current Research and Future prospects." **Energy Environ. Sci**. Vol. 2. p. 66-479.
- Mohamed, S., Hamed, H., (2003). "High efficiency segmented thermoelectric uncouple for operation between 973 and 300 K," **Energy Conversion and Management**. Vol. 44. p. 1069-1088

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Nuwayhid Y., Shihadeh A., Ghaddar N. (2005). "Development and testing of a domestic Woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling." **Energy Conversion and Management**. Vol. 46. p. 1631-1643
- Niu, X., Yu, J. and Wang, S. (2009). "Experimental Study on Low – Temperature Waste Heat Thermoelectric generator." **Journal of Power Sources**. Vol. 188. No. 2. p. 621-626.
- Omer, S.A., Infield, D.G. (1998). "Design optimization of thermoelectric devices for solar power generation." **Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells**. Vol. 53. p. 67-82.
- Radion, C. (2012). "Theoretical studies on the efficiency of air conditioner based on permeable thermoelectric converter." **Journal of Applied Thermal Engineering**, Vol. 38. No. 4. p. 7-13.
- Rowe, D. M. (1999). "Thermoelectrics, an Environmentally-friendly Source of Electrical Power." **Renewable Energy**. Vol. 16. p. 1251-1256.
- Rozver, Yu. (1994). "Renewal thermoelectric generator on geothermal energy." **Journal of Thermoelectricity**. No. 1. p. 82-89.
- Rowe, D.M. and Min, G. (1996). "Design theory of thermoelectric modules for electrical power generation." **IEE Proc.-Sci. Meas. Technol**. Vol. 143. No. 6. p. 351-356.
- Sahin, A.Z., Yilbas, B.S., Shuja, S.Z., Momin, O. (2011). "Investigation into topping cycle: Thermal efficiency with and without presence of thermoelectric generator." **Journal of Energy**. Vol. 36. p. 4048-4054
- Sakurada, S., Shutoh, N., and Hirono S. (2010). "Thermoelectrics Material and Thermoelectric Device." **US Pate**. Vol. 7. 745. 720 p. B2.
- Uthai P. (2012). "Determination for the Heat Transfer Rates through a Straight Rectangular Fin by the Numerical Method in 3 Dimensions." **Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok**. Vol. 22. No. 1. Jan. - Apr. 2012. p. 701-713

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Wong, K., Indran, S. (2013). "Impingement heat transfer of a plate fin heat sink with fillet profile." **International Journal of Heat and Mass Transfer**. Vol. 65. No. 4. p. 1-9
- Wang Z. (2009). "Realization of a wearable miniaturized thermoelectric generator for human body applications." **Sensors and Actuators A: Physical**. Vol. 156 p. 95-102.
- Wu, C. (1995). "Performance of solar-pond thermoelectric power generation." **International Journal of Ambient Energy**. Vol. 16. No. 2. p. 59-66.
- Yarygin, V.I. and Meleta, Ye.A. (1998). "New natural gas fired thermoelectric converter for the electricity and heat supply to the corrosion protection systems in arctic regions." **Journal of Thermoelectricity**. No. 3. p. 95-103.
- Yogesh, K. Ramadass and Anantha, P. Chandrakasan (2011). "A Battery – Less Thermoelectric Energy Harvesting Interface Circuit with 35 mV Startup Voltage." **Solid – State Circuits**. Vol. 46. Issue 1. p. 333-341.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายละเอียดผลการทดลอง

รายละเอียดผลการทดลอง

ตารางที่ 1.1 ค่าการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาตำแหน่งอุณหภูมิที่เหมาะสมบนแผ่นโลหะก้นลมที่ด้านหลัง ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s

เวลาดทดลอง(min)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	28.60	28.00	25.87
2	37.00	34.5	35.00	35.00	34.50	35.00	30.40	30.35	28.87
3	45.00	46.8	45.00	45.00	46.80	45.00	33.54	33.56	29.76
4	60.00	57.9	60.00	60.00	57.90	60.00	40.43	35.87	30.65
5	75.00	60.7	75.00	75.00	60.70	75.00	45.76	38.96	31.77
6	80.00	70.5	80.00	90.00	70.50	85.00	50.32	43.57	32.43
7	95.00	78.9	95.00	110.00	80.00	100.00	55.47	47.89	33.45
8	99.00	83.5	107.30	130.00	95.00	103.00	60.43	53.54	33.89
9	104.00	93.6	115.20	153.80	104.00	107.00	66.57	57.89	34.52
10	107.00	96.8	117.00	164.80	107.00	113.00	74.88	60.43	34.78
11	113.00	104.9	120.20	173.70	113.00	115.00	78.57	63.26	36.43
12	116.00	106.4	123.20	185.00	120.20	117.00	79.67	65.76	36.67
13	119.00	106.9	123.20	194.00	123.20	117.00	80.47	66.54	36.98
14	127.00	107.5	122.40	198.00	129.50	116.00	83.67	67.86	37.43
15	129.00	107.4	123.90	204.00	130.00	118.00	84.77	68.43	37.76
16	134.00	108.6	122.50	210.00	139.00	119.00	85.97	68.88	38.76
17	138.00	109.3	120.60	215.00	139.00	120.00	86.67	69.65	38.98
18	139.00	109.8	125.20	216.00	140.00	120.00	87.32	69.89	39.66
19	139.00	110.4	129.50	219.00	148.90	118.50	89.77	69.98	39.86
20	140.00	110.00	130.00	220.00	150.00	120.00	90.00	70.00	40.00

ตารางที่ 1.2 ค่าการทดลองที่อุณหภูมิ 120°C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s

ข้อมูลอุณหภูมิที่ 120 องศา						
Time (นาที)	T (Hot) C	T (Cool) C	ΔT	V (Output)	I (A)	P(W)
0	28.30	27.70	0.60	0.00	0.00	0.00
1	56.50	27.90	28.60	0.58	0.14	0.08
2	107.30	29.30	78.00	3.11	0.35	1.09
3	125.20	30.80	94.40	3.92	0.49	1.92
4	117.00	31.70	85.30	3.72	0.42	1.56
5	120.20	32.00	88.20	3.84	0.46	1.77
6	123.20	32.20	91.00	3.98	0.52	2.07
7	123.20	32.50	90.70	4.01	0.58	2.33
8	122.40	32.40	90.00	3.98	0.50	1.99
9	123.90	32.50	91.40	4.04	0.59	2.38
10	122.50	32.50	90.00	3.94	0.54	2.13
11	120.60	32.40	88.20	3.91	0.50	1.96
12	125.20	32.50	92.70	4.01	0.62	2.49
13	119.50	32.70	86.80	3.92	0.58	2.27
14	124.60	32.50	92.10	3.98	0.63	2.51
15	118.90	32.50	86.40	3.90	0.60	2.34
16	122.90	32.40	90.50	4.00	0.65	2.60
17	118.50	32.50	86.00	3.90	0.62	2.42
18	123.60	32.50	91.10	3.94	0.66	2.60
19	117.50	32.40	85.10	3.89	0.64	2.49
20	120.50	32.40	88.10	3.93	0.66	2.59

ตารางที่ 1.3 ค่าการทดลองที่อุณหภูมิ 170°C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s

ข้อมูลอุณหภูมิที่ 170 องศา						
Time (นาที)	T (Hot) C	T (Cool) C	ΔT	V (Output)	I (A)	P(W)
0	29.10	27.90	1.20	0.00	0.00	0.00
1	105.20	28.80	76.40	2.82	0.38	1.07
2	153.80	31.60	122.20	5.12	0.51	2.61
3	164.80	33.60	131.20	5.76	0.62	3.57
4	173.70	35.10	138.60	6.21	0.65	4.04
5	171.60	34.40	137.20	6.44	0.75	4.83
6	170.50	35.50	135.00	6.12	0.72	4.41
7	173.00	35.80	137.20	6.54	0.76	4.97
8	172.70	36.10	136.60	6.18	0.73	4.51
9	172.10	35.70	136.40	6.10	0.70	4.27
10	171.50	36.40	135.10	6.46	0.70	4.52
11	176.70	36.40	140.30	6.46	0.80	5.17
12	170.10	37.20	132.90	6.47	0.75	4.85
13	171.40	36.20	135.20	6.35	0.74	4.70
14	173.90	36.90	137.00	6.59	0.82	5.40
15	168.20	37.00	131.20	6.42	0.80	5.14
16	170.80	36.90	133.90	6.51	0.85	5.53
17	171.10	37.00	134.10	6.51	0.85	5.53
18	174.40	36.90	137.50	6.63	0.90	5.97
19	172.20	37.10	135.10	6.54	0.87	5.69
20	172.60	36.90	135.70	6.60	0.95	6.27

ตารางที่ 1.4 ค่าการทดลองที่อุณหภูมิ 220 °C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0281 kg/s

ข้อมูลอุณหภูมิที่ 220 องศา						
Time (นาที)	T (Hot) C	T (Cool) C	ΔT	V (Output)	I (A)	P(W)
0	28.70	28.40	0.30	0.00	0.00	0.00
1	110.50	29.90	80.60	3.20	0.72	2.30
2	164.30	33.90	130.40	5.80	0.94	5.45
3	194.40	34.60	159.80	7.14	1.13	8.07
4	204.00	36.60	167.40	7.88	1.16	9.14
5	210.00	37.80	172.20	8.27	1.21	10.01
6	215.00	38.60	176.40	8.51	1.21	10.30
7	216.00	38.60	177.40	8.67	1.23	10.66
8	219.00	38.50	180.50	8.79	1.24	10.90
9	220.00	38.40	181.60	8.87	1.26	11.18
10	221.00	38.40	182.60	8.92	1.26	11.24
11	223.00	38.50	184.50	8.96	1.29	11.56
12	223.00	38.60	184.40	8.97	1.29	11.57
13	223.00	38.60	184.40	8.94	1.28	11.44
14	223.00	38.55	184.45	8.94	1.28	11.44
15	223.00	38.55	184.45	8.96	1.29	11.56
16	223.00	38.55	184.45	8.96	1.29	11.56
17	222.00	38.60	183.40	8.94	1.28	11.44
18	223.00	38.60	184.40	8.94	1.28	11.44
19	224.00	38.60	185.40	8.96	1.29	11.56
20	224.00	38.60	185.40	8.97	1.29	11.57

ตารางที่ 1.5 ค่าการทดลองที่อุณหภูมิ 120°C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256 kg/s

ข้อมูลอุณหภูมิที่ 120 องศา						
Time (นาที)	T (Hot) C	T (Cool) C	ΔT	V (Output)	I (A)	P(W)
0	30.49	30.29	0.20	0.00	0.00	0.00
1	93.29	32.29	61.00	2.72	0.15	0.41
2	122.50	33.49	89.01	3.89	0.19	0.74
3	120.29	34.49	85.80	4.15	0.24	1.00
4	121.50	34.15	87.35	4.16	0.24	1.00
5	119.75	35.00	84.75	3.81	0.24	0.91
6	122.50	35.29	87.21	3.15	0.25	0.79
7	122.95	35.49	87.46	3.97	0.25	0.99
8	123.56	35.49	88.07	3.87	0.28	1.08
9	119.29	34.99	84.30	3.75	0.26	0.98
10	123.09	35.19	87.90	4.05	0.32	1.30
11	121.35	35.00	86.35	3.85	0.32	1.23
12	122.67	35.49	87.18	4.05	0.36	1.46
13	120.87	35.49	85.38	4.05	0.36	1.46
14	122.59	35.49	87.10	4.05	0.39	1.58
15	120.59	35.49	85.10	4.03	0.43	1.73
16	120.96	35.49	85.47	4.03	0.45	1.81
17	122.39	35.75	86.64	4.00	0.48	1.92
18	122.99	35.79	87.20	4.04	0.49	1.98
19	120.59	35.79	84.80	4.02	0.53	2.13
20	120.15	35.59	84.56	4.00	0.53	2.12

ตารางที่ 1.6 ค่าการทดลองที่อุณหภูมิ 170°C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256 kg/s

ข้อมูลอุณหภูมิที่ 170 องศา						
Time (นาที)	T (Hot) C	T (Cool) C	ΔT	V (Output)	I (A)	P(W)
0	28.70	28.40	0.30	0.00	0.00	0.00
1	98.50	31.29	67.21	2.68	0.19	0.51
2	118.90	32.79	86.11	4.75	0.25	1.19
3	140.25	35.19	105.06	5.82	0.37	2.15
4	153.70	36.49	117.21	6.24	0.39	2.43
5	160.50	37.29	123.21	6.41	0.43	2.76
6	165.70	40.29	125.41	6.38	0.45	2.87
7	169.90	40.79	129.11	6.48	0.48	3.11
8	169.49	41.39	128.10	6.48	0.48	3.11
9	171.29	41.89	129.40	6.49	0.49	3.18
10	172.79	42.09	130.70	6.51	0.58	3.78
11	174.90	42.69	132.21	6.50	0.58	3.77
12	170.49	42.49	128.00	6.52	0.58	3.78
13	173.79	42.39	131.40	6.53	0.59	3.85
14	170.29	43.29	127.00	6.45	0.67	4.32
15	169.19	43.19	126.00	6.47	0.67	4.33
16	170.49	43.29	127.20	6.42	0.69	4.43
17	170.59	43.09	127.50	6.43	0.69	4.44
18	172.43	42.89	129.54	6.47	0.75	4.85
19	170.49	42.99	127.50	6.44	0.75	4.83
20	172.59	43.19	129.40	6.44	0.73	4.70

ตารางที่ 1.7 ค่าการทดลองที่อุณหภูมิ 220 °C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0256 kg/s

ข้อมูลอุณหภูมิที่ 220 องศา						
Time (นาที)	T (Hot) C	T (Cool) C	ΔT	V (Output)	I (A)	P(W)
0	28.70	28.40	0.30	0.00	0.00	0.00
1	114.00	29.80	84.20	3.26	0.38	1.24
2	154.00	32.40	121.60	6.42	0.46	2.95
3	181.00	34.60	146.40	6.77	0.53	3.59
4	190.00	36.40	153.60	6.93	0.66	4.57
5	195.00	37.40	157.60	7.10	0.78	5.54
6	199.00	38.70	160.30	7.40	0.89	6.59
7	201.00	38.60	162.40	7.50	0.89	6.68
8	202.00	38.90	163.10	7.60	0.89	6.76
9	203.00	39.00	164.00	7.60	0.89	6.76
10	203.00	39.80	163.20	7.60	0.89	6.76
11	206.00	39.10	166.90	7.50	0.86	6.45
12	208.00	39.40	168.60	7.60	0.89	6.76
13	210.00	40.20	169.80	7.60	0.89	6.76
14	215.00	41.80	173.20	7.60	0.89	6.76
15	216.00	42.70	173.30	7.60	0.89	6.76
16	219.00	43.20	175.80	7.50	0.87	6.53
17	220.00	43.70	176.30	7.60	0.89	6.76
18	221.00	44.30	176.70	7.60	0.89	6.76
19	223.00	44.20	178.80	7.60	0.89	6.76
20	223.00	44.40	178.60	7.50	0.85	6.38

ตารางที่ 1.8 ค่าการทดลองที่อุณหภูมิ 120°C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s

ข้อมูลอุณหภูมิที่ 120 องศา						
Time (นาที)	T (Hot) C	T (Cool) C	ΔT	V (Output)	I (A)	P(W)
0	28.89	28.99	0.10	0.00	0.00	0.00
1	91.99	30.19	61.80	2.56	0.15	0.38
2	113.39	30.19	83.20	3.59	0.19	0.68
3	119.79	32.49	87.30	3.86	0.23	0.89
4	119.79	35.19	84.60	4.10	0.23	0.94
5	120.79	35.99	84.80	4.00	0.24	0.96
6	119.49	35.99	83.50	4.06	0.24	0.97
7	121.99	36.29	85.70	4.13	0.26	1.07
8	120.39	36.29	84.10	4.08	0.26	1.06
9	121.59	36.29	85.30	4.17	0.26	1.08
10	121.99	36.49	85.50	4.13	0.29	1.20
11	121.79	36.49	85.30	4.11	0.29	1.19
12	121.49	36.29	85.20	4.10	0.29	1.19
13	121.19	36.29	84.90	4.09	0.32	1.31
14	121.09	36.29	84.80	4.10	0.32	1.31
15	121.69	36.49	85.20	4.11	0.36	1.48
16	121.69	36.49	85.20	4.13	0.36	1.49
17	121.39	36.49	84.90	4.11	0.38	1.56
18	121.29	36.29	85.00	4.00	0.40	1.60
19	119.49	36.29	83.20	4.00	0.40	1.60
20	120.69	36.29	84.40	4.06	0.44	1.79

ตารางที่ 1.9 ค่าการทดลองที่อุณหภูมิ 170 °C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s

ข้อมูลอุณหภูมิที่ 170 องศา						
Time (นาที)	T (Hot) C	T (Cool) C	ΔT	V (Output)	I (A)	P(W)
0	28.09	27.99	0.10	0.00	0.00	0.00
1	90.79	29.39	61.40	2.90	0.15	0.44
2	137.59	31.79	105.80	3.50	0.19	0.67
3	158.79	34.09	124.70	4.60	0.23	1.06
4	166.49	35.79	130.70	5.10	0.28	1.43
5	170.09	36.69	133.40	5.30	0.34	1.80
6	168.69	37.09	131.60	5.60	0.30	1.68
7	170.99	37.09	133.90	5.90	0.33	1.95
8	171.29	37.29	134.00	5.90	0.33	1.95
9	170.99	37.29	133.70	5.90	0.33	1.95
10	171.49	37.39	134.10	6.00	0.35	2.10
11	171.59	37.59	134.00	6.10	0.35	2.14
12	171.99	37.49	134.50	6.00	0.35	2.10
13	172.19	37.59	134.60	6.00	0.37	2.22
14	170.29	37.59	132.70	5.90	0.37	2.18
15	170.59	37.39	133.20	5.93	0.39	2.31
16	169.79	37.79	132.00	5.90	0.39	2.30
17	169.79	37.59	132.20	5.92	0.43	2.55
18	170.69	37.59	133.10	6.04	0.45	2.72
19	170.49	37.59	132.90	6.02	0.49	2.95
20	170.49	37.59	132.90	6.04	0.53	3.20

ตารางที่ 1.10 ค่าการทดลองที่อุณหภูมิ 220 °C ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0191 kg/s

ข้อมูลอุณหภูมิที่ 220 องศา						
Time (S)	T (Hot) C	T (Cool) C	ΔT	V (Output)	I (A)	P(W)
0	29.80	29.79	0.01	0.00	0.00	0.00
1	103.29	32.80	70.49	2.93	0.18	0.53
2	140.70	34.60	106.10	4.86	0.25	1.22
3	170.50	36.70	133.80	5.23	0.29	1.52
4	190.70	37.50	153.20	6.83	0.34	2.32
5	206.40	38.90	167.50	7.50	0.38	2.85
6	217.80	42.70	175.10	8.16	0.43	3.51
7	218.60	47.80	170.80	8.16	0.47	3.84
8	220.70	47.80	172.90	8.19	0.49	4.01
9	220.50	46.70	173.80	8.17	0.49	4.00
10	218.80	46.90	171.90	8.18	0.55	4.50
11	218.80	47.80	171.00	8.20	0.57	4.67
12	220.30	47.80	172.50	8.18	0.57	4.66
13	220.60	47.70	172.90	8.18	0.59	4.83
14	219.70	46.80	172.90	8.20	0.65	5.33
15	219.70	46.80	172.90	8.19	0.65	5.32
16	219.20	46.76	172.44	8.20	0.68	5.58
17	220.00	47.60	172.40	8.18	0.73	5.97
18	220.70	47.70	173.00	8.19	0.76	6.22
19	220.10	47.75	172.35	8.20	0.76	6.23
20	220.30	47.80	172.50	8.20	0.76	6.23

ภาคผนวก ข
รายละเอียดรายการคำนวณ

การคำนวณประสิทธิภาพและเศรษฐศาสตร์

1. การคำนวณประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริก (Conversion Efficiency)

แบ่งการคำนวณได้เป็น 3 วิธี

วิธีที่ 1 การคำนวณประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเชิงทฤษฎี

$$\eta_e = \eta_c \frac{M-1}{M + \left(\frac{T_c}{T_h}\right)}$$

โดยควบคุมอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก และวัดอุณหภูมิด้านเย็นจากนั้นคำนวณจากสมการวิธีที่ 1

$$\text{หาค่า } Z \text{ ได้จาก } Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda} = \frac{(0.0515)^2}{(2.4927)(0.4635)} = 2.3 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\eta_c = \frac{393.35 - 305.15}{393.35} = 0.22 \quad ; \quad T_m = 0.5(393.35 + 305.15) = 349.25 \quad ;$$

$$M = \sqrt{1 + (0.0016)(349.25)} = 1.24$$

$$\therefore \eta_e = 0.22 \frac{1.24 - 1}{1.24 + \left[\frac{305.15}{393.35}\right]} = 2.62\% \text{ ที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน } 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\eta_{\square} = \frac{443.65 - 326.65}{443.65} = 0.26 \quad ; \quad \eta_{\square} = 0.5(443.65 + 317.65) = 380.63 \quad ;$$

$$\eta_{\square} = \sqrt{1 + (0.0016)(380.63)} = 1.26$$

$$\therefore \eta_e = 0.26 \frac{1.26 - 1}{1.26 + \left[\frac{326.65}{443.65}\right]} = 3.38\% \text{ ที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน } 170 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\eta_{\square} = \frac{493.15 - 317.95}{495.95} = 0.35 \quad ; \quad \eta_{\square} = 0.5(493.15 + 317.95) = 405.55 \quad ;$$

$$\eta_{\square} = \sqrt{1 + (0.0016)(405.55)} = 1.28$$

$$\therefore \eta_e = 0.26 \frac{1.28 - 1}{1.28 + \left[\frac{317.95}{493.95} \right]} = 5.14\% \text{ ที่ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน } 220 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2. การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

คำนวณจากราคาค่าต้นทุนของโครงการ 3,300 บาท กำหนดให้มีการใช้งานแก๊สหุงต้ม 15 ชั่วโมงต่อวัน และคิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 1.975 บาทต่อวัน หรือ 720.89 บาทต่อปี จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อหาเวลาในการคุ้มทุนในการดำเนินโครงการจากสมการ 2.24

$$\text{จากสูตร } P = B \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

$$3,300 = 720.89 \left[\frac{(1+0.14875)^n - 1}{0.14875(1+0.14875)^n} \right]$$

$$n = 8.24$$

ดังนั้นเมื่อทำการใช้งานแก๊สหุงต้ม 15 ชั่วโมงต่อวัน จะได้จุดคุ้มทุนที่ 8.24 ปี

ภาคผนวก ค
รายละเอียดการบัญชี

รายการสัญลักษณ์

A_T	=	พื้นที่หน้าตัดของเซอร์โมอิลิเมนต์, cm^2
\vec{E}	=	เวกเตอร์สนามไฟฟ้า, V/m
α	=	สัมประสิทธิ์ซีเบคของวัสดุเซอร์โมอิลีกทริก, V/K
ΔT	=	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น, K
T	=	อุณหภูมิ, K
Z	=	คุณสมบัติทางเซอร์โมอิลีกทริกของวัสดุ, K^{-1}
σ	=	สภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ, $\text{A/V}\cdot\text{m}$
λ	=	สภาพนำความร้อนของวัสดุเซอร์โมอิลีกทริก, $\text{W/m}\cdot\text{K}$
V_0	=	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต, V
I_0	=	กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต, A
P_0	=	กำลังไฟฟ้า, W
ρ	=	ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเซอร์โมอิลีกทริก, Ω/cm
ρ_c	=	ความต้านทานไฟฟ้าที่สัมผัส, Ω/cm
N	=	จำนวนเซอร์โมอิลีกทริก
l	=	ความยาวของเซอร์โมอิลิเมนต์, cm
l_c	=	ความหนาของชั้นสัมผัส, cm
T_h	=	อุณหภูมิด้านร้อนของเซอร์โมอิลีกทริกโมดูล, K
T_c	=	อุณหภูมิด้านเย็นของเซอร์โมอิลีกทริกโมดูล, K
λ_c	=	ค่าการนำความร้อนที่สัมผัส, $\text{W}\cdot\text{cm}\text{K}^{-1}$
N_r	=	จำนวนแถวของเซอร์โมอิลีกทริกโมดูล
N_c	=	จำนวนหลักของเซอร์โมอิลีกทริกโมดูล
η_e	=	ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์เซอร์โมอิลีกทริก
η_c	=	ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์
T_m	=	อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเซอร์โมอิลีกทริกโมดูล
η	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเซอร์โมอิลีกทริกเจเนอเรเตอร์

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

Q_h	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์, W
R	=	ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก, Ω
η_{th}	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา
m_{H_2O}	=	มวลของน้ำที่ใช้ในการทดลอง, kg
C_{p,H_2O}	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg·K
T_1	=	อุณหภูมิของน้ำตอนเริ่มต้นของการทดลอง, K
T_2	=	อุณหภูมิของน้ำตอนสุดท้ายของการทดลอง, K
v	=	ปริมาณอัตราการไหลของเชื้อเพลิง, m^3s^{-1}
LHV	=	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงก๊าซ, kJ·m ³
t	=	เวลาการเผาไหม้, s
R_L	=	ความต้านทานโหลดไฟฟ้า, Ω
\dot{Q}	=	ค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก, W
R_i	=	ความต้านทานความร้อนที่ผิวของ เซรามิก, KW^{-1}
L	=	ความหนาของผนังแผ่นเซรามิก, m
k_i	=	ค่าการนำความร้อนของผนังเซรามิก, $^{\circ}C$
A_c	=	พื้นที่หน้าตัดของผนังแผ่นเซรามิก, m ²
R_{TEG}	=	ค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในเทอร์โมอิเล็กทริก, $^{\circ}C$ v
Δx	=	ความหนาของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล, cm
k_T	=	ค่าการนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก, W/cm·K
Nb	=	จำนวนเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์ต่อโมดูล
Gf	=	รูปทรงเรขาคณิตของเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์, mm
k_e	=	ค่าการนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์, W/K
P	=	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างระบบผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

B	=	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้
i	=	อัตราดอกเบี้ย
n	=	ระยะเวลาคืนทุน

ภาคผนวก ง
แบบตอบรับบทความและใบประกาศ

หนังสือตอบรับการลงทะเบียนความวิจัย



การประชุมวิชาการระดับชาติ "เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชาติ" ปี ๒๕๕๘

คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
เลขที่ ๔๖ ถนนจรัลสนิทวงศ์
แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่
กรุงเทพมหานคร
๑๐๖๐๐

๒๕ มิถุนายน ๒๕๕๘

เรียน คุณศุภกิจ บุตรน้ำเพชร

ตามที่ท่านได้ลงทะเบียนวิชาการเรื่อง การศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน เพื่อการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาฟืนแก๊สปิโตรเลียมเหลว (*Performance Study of a heat conduction to thermoelectric power generative from petroleum gas stove*) เพื่อร่วมในการประชุมวิชาการระดับชาติ "เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชาติ" ปี ๒๕๕๘ บัณฑิตวิทยาลัยได้ผ่านการตรวจสอบจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว คณะผู้จัดงานขอแจ้งผลการพิจารณาขอความของท่านได้รับการพิจารณาตอบรับเข้าร่วมงานประชุมในครั้งนี้

คณะผู้จัดงานขอแสดงความขอบคุณและยินดีต้อนรับท่านในวันเสาร์ที่ ๑๑ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๕๘ เวลา ๐๘.๓๐ - ๑๗.๓๐ น. ห้องสัมมนาใหญ่ อาคารเฉลิมพระเกียรติ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.สุกฤต ปานชลิน)

ประธานคณะกรรมการดำเนินงาน

โทร. ๐๒-๘๕๙๕-๕๐๓๐, ๐๒-๘๕๙๕-๕๐๓๓

E-mail: techcon2015@botmail.com

บทความที่ได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์












คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ขอมอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า
ศุภกวีจ บุญร่ำน้ำเพชร
 ได้เข้าร่วมการนำเสนอผลงานวิจัย
 การศึกษาศาสตร์และการถ่ายทอดความรู้แบบบูรณาการนำความรู้ร่วมเพื่อการผลิตไฟฟ้าด้วย
 เฮอร์โมอิเล็กทรอนิกส์จากเตาหมุงต้มแก๊สปิโตรเลียมเหลว
 ในการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 1
 "เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชาติ"
 วันที่ 11 กรกฎาคม 2558
 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม


 (อาจารย์พาพิชญ์ มงคลวณิช)
 อธิการบดี
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม


 (ดร.สุกฤต ปานขลิบ)
 คณบดีคณะเทคโนโลยี
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายศุภกิจ บุตรน้ำเพชร
วัน เดือน ปีเกิด	17 ตุลาคม 2532
ภูมิลำเนา	จังหวัด สมุทรปราการ
สถานที่ปัจจุบัน	165 หมู่ 9 ต.ในคลองบางปลากด อ. พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ 10290
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ
ระดับมัธยมศึกษา	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ พ.ศ. 2550
ระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและ เทคโนโลยี (การผลิต) มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา พ.ศ. 2556
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา พ.ศ. 2558