

การศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์เพื่อใช้ในรถยนต์ส่วนบุคคล

นายชุมพล ศิริขันธ์แสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์เพื่อใช้ในรถยนต์ส่วนบุคคล

นายชุมพล ศิริขันธ์แสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์เพื่อใช้ในรถยนต์ส่วนบุคคล

โดย นายชุมพล ศิริขันธ์แสง

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน

..... รักษาการคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.เสาวณิต สุขภารังษี)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ติกะ บุนนาค)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชัยยศ ดำรงกิจโกศล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต งามรุ่งโรจน์)

ชื่อ : นายชุมพล ศิริขันธ์แสง
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์เพื่อใช้ในรถยนต์ส่วนบุคคล
สาขาวิชา : เทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชัยยศ ดำรงกิจโกศล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์
ปีการศึกษา : 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งจากท่อไอเสียเครื่องยนต์ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริคเจนเนอเรเตอร์เพื่อผลิตไฟฟ้ามาใช้ในสิ่งอำนวยความสะดวกภายในรถยนต์ส่วนบุคคล โดยทำการออกแบบชิ้นงานและชุดทดลองติดตั้งในรถยนต์ Honda Jazz GK 2019 ระบบส่งกำลัง CVT ใช้ท่อแสตนเลสหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square stainless steel tube) ขนาด 2 นิ้ว ความยาว 30 เซนติเมตร ความหนา 1.2 มิลลิเมตร นำมาติดตั้งแทนท่อกลมเดิมบริเวณด้านหลังของหม้อพักกลางท่อไอเสียเพื่อใช้ความร้อนของไอเสียที่ไหลผ่านเป็นแหล่งความร้อนและติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคเจนเนอเรเตอร์ รุ่น SP1848-27145 จำนวน 12 แผ่น โดยนำรถยนต์ Honda Jazz 2019 ที่ได้ทำการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริคเจนเนอเรเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆ แล้วทำการทดลองโดยใช้แชสซีสไดนาโมมิเตอร์ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ภาระโหลด 335 และ 385 นิวตัน และ ความเร็ว 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ภาระโหลด 500 นิวตัน โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งตามเงื่อนไขและนำผลที่บันทึกได้มาหาค่าเฉลี่ย

ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งของท่อไอเสียได้ โดยกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคเจนเนอเรเตอร์ เมื่อเปิดพัดลมระบายความร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าในทุกสภาวะการทดลอง ทั้งนี้ที่ความเร็ว 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500 นิวตัน สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 17.23 วัตต์ และมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 5.72 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า เทอร์โมอิเล็กทริคเจนเนอเรเตอร์มีศักยภาพในการนำความร้อนเหลือทิ้งจากระบบไอเสียรถยนต์กลับมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเสริมภายในรถยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(มีจำนวนทั้งสิ้น 55 หน้า)

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริคเจนเนอเรเตอร์ แชสซีสไดนาโมมิเตอร์ กำลังไฟฟ้า

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Name : Mr.Chumpon Sirikhansaeng
Thesis Title : Study of Power Generation Systems Using Thermoelectric Generators for Passenger Vehicles
Major Field : Energy Engineering Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Assistant Professor Acting Sub Lt. Dr.Chaiyot Damrongkijkosol
Co-Advisor : Associate Professor Dr.Preeda Chantawong
Academic Year : 2025

ABSTRACT

This research aimed to study electricity generation from waste heat emitted through the engine exhaust pipe by using thermoelectric generators to produce electrical power for use in personal vehicle facilities. The experimental setup and prototype were designed and installed on a 2019 Honda Jazz GK equipped with a CVT transmission system. A square stainless steel tube with dimensions of 2 inches in width, 30 centimeters in length, and 1.2 millimeters in thickness was used to replace the original circular exhaust pipe section located behind the center muffler. The exhaust gas flowing through the pipe served as the heat source. A total of 12 SP1848-27145 thermoelectric generator modules were installed. The experiment was conducted using a 2019 Honda Jazz equipped with thermoelectric generators and related devices. The testing was performed on a chassis dynamometer at a vehicle speed of 80 km/h under load conditions of 335 N and 385 N, and at a speed of 110 km/h under a load condition of 500 N. Each experimental condition was tested three times, and the recorded results were averaged and documented.

The experimental results showed that the system was capable of generating electrical energy from waste heat from the exhaust pipe. The power output and system efficiency increased according to the differential temperature between the hot side and cold side of the thermoelectric generators. Furthermore,

the cooling fan improved the efficiency of electricity generation under all experimental conditions. At a vehicle speed of 110 km/h under a load condition of 500 N, the system produced the maximum power output of 17.23 W with the highest efficiency of 5.72%. The research findings indicate that thermoelectric generators have strong potential for recovering waste heat from automotive exhaust systems and converting it into supplementary electrical energy for use in passenger vehicles.

(Total 55 Pages)

Keywords: Thermoelectric generator, Chassis dynamometer and Electrical power



_____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์เพื่อใช้ในรถยนต์ส่วนบุคคล สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชัยยศ ดำรงกิจโกศล อาจารย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ตลอดจนให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้มาโดยตลอด และขอขอบคุณ นายนพรัตน์ ธนาปิติวงศวัฒน์ นายภามิน พิชชาวัชร์ และนายธนโชติ โกสินทรจิตต์ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการร่วมดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และภาควิชาเครื่องต้นกำลัง สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ เครื่องมือ และโอกาสทางการศึกษาในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบเป็นเครื่องแสดงความขอบพระคุณแก่คณาจารย์ ครอบครัว และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ชุมพล ศิริขันธ์แสง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง (ถ้ามี) ..... ฌ
สารบัญรูปภาพ (ถ้ามี) ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ประวัติความเป็นมา 4
2.2 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) 5
2.3 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) 8
2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (Thermoelectric Generator, TEG) 10
2.5 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) 11
2.6 กฎของโอห์ม (Ohm's Law) 19
2.7 กำลังไฟฟ้า (Power) 20
2.8 วงจรไฟฟ้า (Electrical circuit) 20
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 22
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 22
3.2 การสร้างและติดตั้งชุดทดสอบการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งจากท่อไอเสียเครื่องยนต์โดย ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ 31
3.3 การคำนวณประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์หลังจากการเก็บผลการทดลอง 37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง 38
4.1 ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 335 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) 38
4.2 ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) 40
4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 335 และ 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) 41
4.4 ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) 42
4.5 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ 44
บทที่ 5 สรุปผลทดลองและข้อเสนอแนะ 46
5.2 ข้อเสนอแนะ 47
บรรณานุกรม 48
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริคเจนเนอเรเตอร์ 51
ภาคผนวก ข ตารางข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ 53
ประวัติผู้เขียน 55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สารบัญตาราง (ถ้ามี)

หน้า

ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติการผันไฟฟ้าจากความร้อนของโลหะ สารกึ่งตัวนำ และฉนวน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเคลวิน [17] 9
ตารางที่ 2-2 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ ที่ 0 °C [19] 14
ตารางที่ 2-3 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convection heat-transfer coefficients, h) [19] 16
ตารางที่ 3-1 ข้อมูลจำเพาะของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์รุ่น SP1848-27145 SA [23] 22
ตารางที่ 3-2 ข้อมูลจำเพาะของ Temperature control รุ่น REX – C100 [25] 24
ตารางที่ 3-3 ข้อมูลจำเพาะของ Solid state relay SSR- 40DA [26] 25
ตารางที่ 3-4 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องวัดความเร็วลมรุ่น UNI-T UT363 [33] 29
ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 335 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) 39
ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) 40
ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองที่ความเร็วรถเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) 42
ตารางที่ 4-4 ตารางประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ 44

สารบัญรูปภาพ (ถ้ามี)

หน้า

ภาพที่ 2-1 การแพร่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิด N [16] 5
ภาพที่ 2-2 การพัฒนาแรงดันไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (TEG) [16] 6
ภาพที่ 2-3 แสดงปรากฏการณ์การผันไฟฟ้าจากความร้อน [17] 6
ภาพที่ 2-4 สารประกอบที่สามารถแสดงสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ [17] 8
ภาพที่ 2-5 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ [18] 10
ภาพที่ 2-6 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ [18] 10
ภาพที่ 2-7 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี[19] 11
ภาพที่ 2-8 การนำความร้อนผ่านตัวกลางแบบมิติเดียว [19] 13
ภาพที่ 2-9 การพาความร้อนผ่านพื้นของแข็ง [19] 16
ภาพที่ 2-10 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันที่มีต่อตัวต้านทาน [20] 19
ภาพที่ 2-11 วงจรอนุกรม [21] 21
ภาพที่ 2-12 วงจรขนาน [21] 21
ภาพที่ 3-1 เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ รุ่น SP1848-27145 SA [23] 22
ภาพที่ 3-2 เครื่องวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าแบบ LED [24] 23
ภาพที่ 3-3 ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Temperature control) [25] 24
ภาพที่ 3-4 โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay) รุ่น SSR-40DA [26] 24
ภาพที่ 3-5 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open source บนแพลตฟอร์ม Arduino UNO R3 [27] 25
ภาพที่ 3-6 จอ LCD I2C (Inter-Integrated Circuit) [26] 26
ภาพที่ 3-7 สายแพรแบนเสียบบอร์ด (Flat Cable) [28] 26
ภาพที่ 3-8 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple, Type K) [29] 27
ภาพที่ 3-9 แผงระบายความร้อน (Heatsink) [30] 27
ภาพที่ 3-10 พัดลมระบายความร้อน [31] 28
ภาพที่ 3-11 พาวเวอร์ซัพพลาย [32] 28

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3-12 เครื่องวัดความเร็วลมรุ่น UNI-T UT363 [33] 29
ภาพที่ 3-13 สแตนเลสกล่องขนาด 50x50x1.2 มิลลิเมตร [34] 30
ภาพที่ 3-14 ปลอกฉนวนกันความร้อนสายไฟ [35] 30
ภาพที่ 3-15 ซิลิโคนนำความร้อน (Silicone Compound Thermal) รุ่น HM501 [36] 31
ภาพที่ 3-16 รูปแบบชิ้นงานชุดทดสอบเบื้องต้น 31
ภาพที่ 3-17 โครงสร้างชิ้นงานและจุดวัดของชุดทดลอง (โดยในภาพใช้หน่วยการวัด เป็นมิลลิเมตร) 32
ภาพที่ 3-18 แบบวงจรแสดงการทำงานเบื้องต้นของชุดทดสอบ (Schematic Diagram) 33
ภาพที่ 3-19 วงจรการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า 34
ภาพที่ 3-20 วงจรการอ่านค่าอุณหภูมิฝั่งร้อนและฝั่งเย็น 35
ภาพที่ 3-21 ภาพการทดสอบจริงบนเครื่องแชสซีไดนาโมมิเตอร์ 36
ภาพที่ 4-1 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าจากชุดทดสอบที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 39
ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าจากชุดทดสอบที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) 40
ภาพที่ 4-3 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าจากชุดทดสอบที่ความเร็วรถเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) 43

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลมาจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และการพัฒนาเทคโนโลยีในภาคอุตสาหกรรมและการคมนาคมขนส่ง พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันยังคงมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและมีแนวโน้มลดลงจากการใช้งานในปริมาณมาก นอกจากนี้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังเป็นสาเหตุสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน ดังนั้น การพัฒนาพลังงานทางเลือกและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดการสูญเสียพลังงานและส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน [1]

ในระบบเครื่องยนต์สันดาปภายในของรถยนต์ พลังงานจากเชื้อเพลิงไม่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานกลทั้งหมด แต่มีพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียออกไปในรูปของความร้อน โดยเฉพาะความร้อนจากไอเสียซึ่งถูกปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ได้ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ พลังงานความร้อนเหลือทิ้งดังกล่าวจึงถือเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพ หากสามารถนำกลับมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบยานยนต์ ลดภาระของระบบผลิตไฟฟ้าภายในรถยนต์ และเป็นแนวทางหนึ่งในการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง [2]

เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (Thermoelectric Generator, TEG) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยอาศัยหลักการซีเบค หรือ Seebeck Effect ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะประจุภายในวัสดุและเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น เทคโนโลยีนี้มีข้อดีคือไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ มีขนาดกะทัดรัด ทำงานเงียบ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแหล่งความร้อนเหลือทิ้งได้หลากหลายรูปแบบ [3]

จากหลักการดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนเหลือทิ้งของไอเสียรถยนต์ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ติดตั้งบริเวณระบบท่อไอเสียของรถยนต์ Honda Jazz GK 2019 ระบบเกียร์ CVT การทดลองใช้โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์รุ่น SP1848-27145 จำนวน 12 แผ่น โดยจัดวงจรแบบอนุกรม 4 แผ่น และต่อขนานจำนวน 3 ชุด เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการใช้งานภายในรถยนต์ นอกจากนี้ มีการติดตั้งพัดลมระบายความร้อน

จำนวน 6 ตัว เพื่อช่วยลดอุณหภูมิด้านเย็นของโมดูลและเพิ่มค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการผลิตกำลังไฟฟ้า

การทดสอบดำเนินการบนเครื่องแชสซีไดนาโมมิเตอร์ โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ภาระโหลด 335 และ 385 นิวตัน และความเร็ว 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ภาระโหลด 500 นิวตัน พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกรณีเปิดและปิดพัดลมระบายความร้อน ข้อมูลที่ทำการเก็บประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิด้านร้อน อุณหภูมิด้านเย็น และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ เพื่อนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนเหลือทิ้งของรถยนต์ส่วนบุคคล และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ในระบบยานยนต์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งจากท่อไอเสียเครื่องยนต์ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอร์เรเตอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ รุ่น SP1848-27145 SA ขนาด 40x40x4 มิลลิเมตร จำนวน 12 แผ่น โดยต่อวงจรอนุกรม 4 ตัว 3 ชุด จากนั้นนำมาต่อแบบขนานทั้ง 3 ชุด เพื่อให้แรงดันมีค่าเท่ากับ 12 โวลต์ และสามารถนำแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปใช้ประโยชน์ภายในรถยนต์ส่วนบุคคล

1.3.2 รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ รถยนต์ Honda Jazz GK 2019 ระบบขับเคลื่อนแบบ CVT ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์บริเวณท่อหลังหม้อพักไอเสียของรถยนต์

1.3.3 ขอบเขตในการทดลองโดยใช้รถยนต์ Honda Jazz GK 2019 (CVT) กำหนดความเร็วขณะรถวิ่งบนเครื่องแชสซีไดนาโมมิเตอร์ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ภาระโหลด 335 และ 385 นิวตัน และความเร็ว 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ภาระโหลด 500 นิวตัน ตามลำดับพร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกรณีเปิดและปิดพัดลมระบายความร้อน โดยให้ทำการทดสอบ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการเก็บผลการทดลอง ค่าแรงดันไฟฟ้า(V_{out}) กระแสไฟฟ้า(I_{out}) อุณหภูมิที่ด้านร้อน(T_h) และอุณหภูมิที่ด้านเย็น(T_c) เพื่อหาความแตกต่างของอุณหภูมิ(T_{dif}) และบันทึกผล (T_h ,T_c ,V_{out} และ I_{out}) และคำนวณหากำลังไฟฟ้า (P_{out})

1.3.4 คำนวณประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ชุดสาธิตเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอร์เรเตอร์ที่เป็นประโยชน์ในการนำไปติดตั้งในรถยนต์เพื่อผลิตไฟฟ้ามาใช้ในสิ่งอำนวยความสะดวกภายในรถยนต์ส่วนบุคคล

1.4.2 เป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอร์เรเตอร์ให้แก่ผู้จะศึกษา

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมา

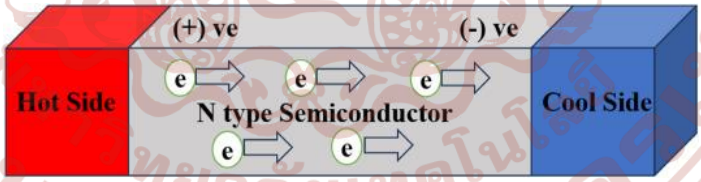
แนวคิดพื้นฐานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1821 ด้วยการประดิษฐ์ปรากฏการณ์ซีเบคโดยโทมัส โยฮันน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน เขาสังเกตว่าเมื่อความร้อนถูกนำไปใช้ในวงจรที่ทำจากโลหะสารกึ่งตัวนำสองชนิดที่ไม่เหมือนกัน โดยที่จุดเชื่อมต่อของโลหะทั้งสองถูกรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่างกัน จะสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กได้ ปรากฏการณ์นี้ ซึ่งต่อมาเรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค เป็นการค้นพบครั้งแรกที่อธิบายหลักการพื้นฐานของการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า [4,5] เรย์ลีห์ (Rayleigh) ได้พิจารณาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในการผลิตไฟฟ้าในปี ค.ศ. 1885 และพยายามคำนวณประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์[6] ในปี ค.ศ. 1909 และ 1911 อัลเทนเคียร์ช (Altenkirch) ได้เสนอทฤษฎีการผลิตเทอร์โมอิเล็กทริกที่น่าพอใจ และแสดงให้เห็นว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีควรมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสูง ค่าการนำความร้อนต่ำ และความต้านทานไฟฟ้าต่ำ [7,8] หลายปีต่อมาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกเครื่องแรกถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1947 โดยเทลเคส (Telkes) ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขาอยู่ที่ประมาณ 5% ซึ่งถือว่าต่ำมาก ต่อมาในปี 1956 อิออฟเฟ (Ioffe) และเพื่อนร่วมงานได้สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกอีกเครื่องหนึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เคยสร้างไว้ก่อนหน้านี้ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใหม่นี้เกือบ 10%[9,6] ในช่วงปลายทศวรรษ 1950 และต้นทศวรรษ 1960 มีความต้องการแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีคนดูแลเป็นเวลานานในดาวเทียมและยานอวกาศ โครงการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกจากไอโซโทปรังสี (Radioisotope thermoelectric generator, RTG) เริ่มต้นขึ้นโดย RTG เครื่องแรกประสบความสำเร็จในการส่งขึ้นสู่วงโคจรรอบโลกบนดาวเทียม Transit ในเดือนมิถุนายน 1961[10] ในปี 1960 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกจากไอโซโทปรังสีขนาดเล็ก (Miniature Radioisotope Thermoelectric Generator, RTEG) ถูกสร้างขึ้นเพื่อการใช้งานทางการแพทย์เป็นครั้งแรกในประวัติศาสตร์ โดยสร้างขึ้นสำหรับใช้กับเครื่องกระตุ้นหัวใจในร่างกายมนุษย์ การนำ RTEG ไปใช้ครั้งแรกประสบความสำเร็จในเดือนพฤษภาคม 1970 ในประเทศฝรั่งเศส ในปีเดียวกันนั้นในวันที่ 15 ได้มีการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ในสหราชอาณาจักรอีกครั้ง [11,12] สำนักงานวิจัยกองทัพเรือและโครงการวิจัยขั้นสูงด้านการป้องกันประเทศของรัฐบาลสหรัฐอเมริกา ได้ขอให้นักวิจัยที่สนใจเสนอแนวทางในการปรับปรุงตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพ (ZT) ซึ่งจะช่วยสร้างอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในปี 1993[13] ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์มีความก้าวหน้ามากขึ้น และประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (thermoelectric generator, TEG) ก็เพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในศตวรรษที่ 21[14,15]

2.2 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

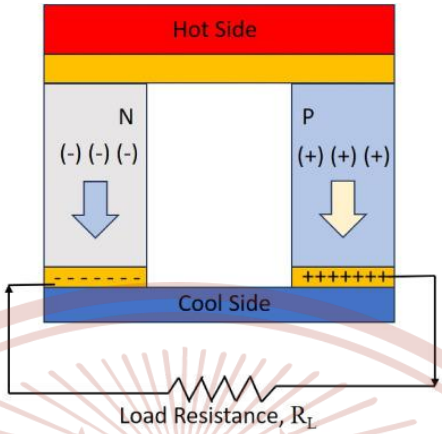
ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) คือการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force, emf) ที่เกิดขึ้นระหว่างจุดสองจุดของวัสดุตัวนำไฟฟ้า เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดทั้งสอง แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าซีเบค (Seebeck emf) หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกอัตราส่วนระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความแตกต่างของอุณหภูมิคือสัมประสิทธิ์ซีเบค โดยเมื่อใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายร้อนและปลายเย็นสำหรับวัสดุสองชนิดที่ไม่เหมือนกัน ความต่างศักย์ไฟฟ้านี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายร้อนและปลายเย็น ค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1794 โดย Alessandro Volta [16] ตั้งชื่อตาม Thomas Johann Seebeck ผู้ค้นพบอีก ครั้งในปี ค.ศ. 1821

หากวัสดุสองชนิดที่ไม่เหมือนกันมีความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเกิดการไล่ระดับความร้อนขึ้น การไล่ระดับนี้ทำให้ตัวพาประจุอิเล็กตรอนในโลหะ ทั้งอิเล็กตรอนและในหลุมสารกึ่งตัวนำ จะใช้พลังงานจลน์ที่ด้านร้อน เนื่องจากมีพลังงานจลน์สูงกว่า ตัวพาประจุที่ด้านร้อนของวัสดุจึงมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ไปยังด้านที่เย็นกว่า ซึ่งก่อให้เกิดกระแส ดังแสดงในรูปที่ 2-1



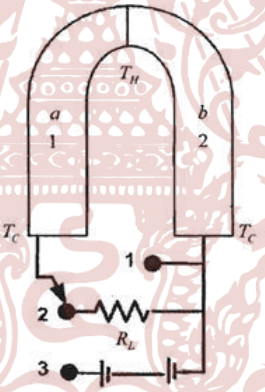
ภาพที่ 2-1 การแพร่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิด N [16]

เมื่อตัวพาประจุสะสมตัวกันที่ด้านหนึ่ง จะเกิดสนามไฟฟ้าขึ้นเพื่อต่อต้านการแพร่ของตัวพาประจุอื่นๆ สนามไฟฟ้านี้จะสะสมตัวขึ้นจนกระทั่งถึงจุดสมดุล ซึ่งการแพร่ของตัวพาประจุจะสมดุลกันโดยสนามไฟฟ้าที่ดึงตัวพาประจุกลับ จากปรากฏการณ์นี้ ศักย์ไฟฟ้าลบจะเกิดขึ้นที่ด้านเย็นของสารกึ่งตัวนำชนิด N และศักย์ไฟฟ้าบวกจะเกิดขึ้นที่ด้านร้อน สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิด P ในทางกลับกัน สามารถสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกได้โดยการเชื่อมต่อสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ขนานกันระหว่างแหล่งความร้อนและแหล่งจ่ายความร้อนเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 การพัฒนาแรงดันไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (TEG) [16]

ถ้ารอยต่อของวงจรจากตัวนำที่ต่างชนิดกันสองตัว a และ b แสดงดังภาพที่ 2-3 ต่อไว้ด้วยกัน เมื่ออุณหภูมิ T_H และ T_C มีค่าต่างกันโดย $T_H > T_C$ แล้วความต่างศักย์ไฟฟ้าของวงจรเปิดจะเกิดขึ้น และสามารถเขียนเป็นความ สัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2-1



ภาพที่ 2-3 แสดงปรากฏการณ์การผันไฟฟ้าจากความร้อน [17]

$$E = S_{ab}(T_H - T_C) \qquad 2\text{-}1$$

เมื่อ E หมายถึง ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Volt)

S_{ab} หมายถึง สัมประสิทธิ์ซีเบค (μVK^{-1}) ของรอยต่อระหว่างวัสดุ a และ b

T_H หมายถึง อุณหภูมิด้านร้อน (K)

T_C หมายถึง อุณหภูมิด้านเย็น (K)

สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิน้อย ๆ ความสัมพันธ์ข้างต้นจะเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของรอยต่อระหว่างวัสดุ a และ b เท่ากับความแตกต่างระหว่างสัมประสิทธิ์ของสองวัสดุนั้น

$$S_{ab} = (S_a - S_b) \quad 2\text{-}2$$

เมื่อ S_a หมายถึง สัมประสิทธิ์ซีเบคของวัสดุ a

S_b หมายถึง สัมประสิทธิ์ซีเบคของวัสดุ b

จากปรากฏการณ์ดังกล่าว ได้นำมาผลิตอุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เรียกว่า เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) [17]

$$ZT = \left(\frac{\sigma S^2}{\lambda}\right) T \quad 2\text{-}3$$

เมื่อ T หมายถึง อุณหภูมิในการทำงาน

ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกใช้ในการสร้าง คุณภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกถูกกำหนดโดยคุณสมบัติสามประการ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (S) ค่าการนำไฟฟ้า (σ) และค่าการนำความร้อน (λ) จากค่าเหล่านี้ เราสามารถคำนวณพารามิเตอร์ที่เรียกว่าตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพ (ZT) โดยใช้สมการต่อไปนี้

พารามิเตอร์เรียกว่า ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพ (ZT) นี้ใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพ (η) ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกตามสมการที่ 2-4 และ 2-5 ดังต่อไปนี้

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_H}\left\{\frac{\sqrt{ZT+1}-1}{\sqrt{ZT+1}+1-\left(\frac{\Delta T}{T_H}\right)}\right\} \quad 2\text{-}4$$

$$\Delta T = T_H - T_C \quad 2\text{-}5$$

เมื่อ η หมายถึง ประสิทธิภาพ

T_H หมายถึง อุณหภูมิด้านร้อน (K)

T_C หมายถึง อุณหภูมิด้านเย็น (K)

2.3 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)

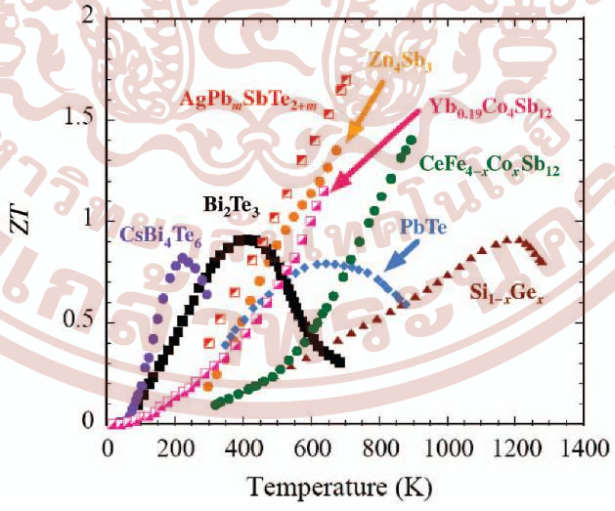
วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแบ่งกลุ่มออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ แบ่งกลุ่มตามลักษณะการใช้งาน และลักษณะของวัสดุ ดังนี้

2.3.1 การแบ่งกลุ่มตามลักษณะการใช้งาน โดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารกึ่งตัวนำที่นิยมในปัจจุบันมีหลายองค์ประกอบดังรูปที่ 2-5 สามารถแบ่งกลุ่มของสารตามอุณหภูมิการใช้งานออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.3.1.1 กลุ่มที่ใช้งานที่อุณหภูมิต่ำหรือที่อุณหภูมิห้อง เช่น บิสมัทเทลลูไรด์ (Bismuth Telluride, Bi_2 Te_3) เป็นต้น โดยสารในกลุ่มนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานได้หลากหลายและสะดวก เนื่องจากทำงานได้ดี และมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิห้อง จึงทำให้ได้รับความนิยมและสนใจในการศึกษากันอย่างมาก

2.3.1.2 กลุ่มที่ใช้งานที่อุณหภูมิปานกลาง เช่น ตะกั่วเทลลูไรด์ (Lead Telluride, PbTe) เป็นต้น

2.3.1.3 กลุ่มที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น ซิลิคอน-เจอร์เมเนียม (Silicon-Germanium, SiGe) เป็นต้น วัสดุในกลุ่มที่ใช้งานที่อุณหภูมิห้อง เป็นวัสดุที่เป็นที่นิยมและมีการใช้งานเป็นจำนวนมาก สารที่นิยมใช้เพื่อเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก เช่น บิสมัทเทลลูไรด์ (Bismuth Telluride, Bi_2Te_3) เป็นต้น



ภาพที่ 2-4 สารประกอบที่สามารถแสดงสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ [17]

2.3.2 การแบ่งกลุ่มตามลักษณะของวัสดุ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ดังนี้

2.3.2.1 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกกลุ่มโลหะ ในโลหะที่มีเพียงสถานะใกล้ระดับพลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอนอิสระ เรียกว่า ระดับพลังงานเฟอร์มิ (Fermi level, EF) เมื่ออะตอมของธาตุที่เป็น

โลหะมารวมตัวอยู่เป็นก้อน อะตอมแต่ละตัวจะให้อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นนอกสุดของอะตอมออกมา ซึ่งเรียกว่าวาเลนซ์อิเล็กตรอน ซึ่งวา-เลนซ์อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาไม่ได้ถูกจำกัดให้เคลื่อนที่อยู่เฉพาะใกล้ๆ กับอะตอมเท่านั้น แต่สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งก้อน ทำให้บางครั้งเราเรียกอิเล็กตรอนเหล่านี้ว่าอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งในโลหะแถบวาเลนซ์ (valance band) และแถบการนำ (conduction band) มีลักษณะวางตัวซ้อนทับกัน ทำให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ได้ทั่วทั้งก้อน ถ้ามีสนามไฟฟ้ามากระทำกับอิเล็กตรอน ก็จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระวิ่งได้ง่าย ทำให้เกิดอิทธิพลต่อกระแส และสัมประสิทธิ์ซีเบคจะมีค่าต่ำ ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน ดังนั้นโลหะจึงไม่ใช่วัสดุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ในงานวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

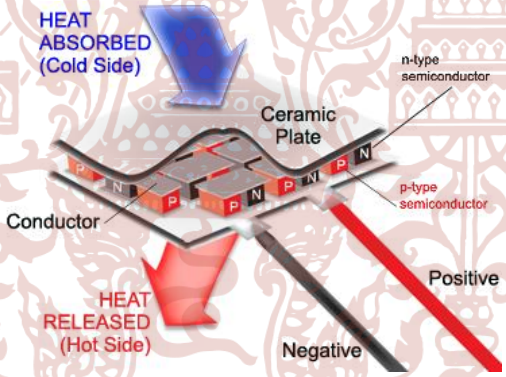
2.3.2.2 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกกลุ่มกึ่งตัวนำและฉนวน โดยสารกึ่งตัวนำและฉนวนมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสูงกว่าโลหะ กล่าวคือ แถบวาเลนซ์และแถบการนำอยู่ห่างกัน และไม่ซ้อนทับกัน ทำให้เกิดช่องว่างหวงห้าม (Forbidden gap) ส่งผลให้ระดับเฟร์มิอยู่ในช่องว่างหวงห้าม ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนโดยการทำให้พลังงานเฟร์มิมีค่าเพิ่มขึ้นดังนั้นค่าจำกัดของสัมประสิทธิ์ซีเบคจะถูกจำกัดโดยค่าของช่องว่างพลังงาน ในขณะที่ระดับพลังงานเฟร์มิในวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ใกล้กับกึ่งกลางของช่องว่าง การกระจายตัวของพลังงานต่างๆ ต่อสัมประสิทธิ์ซีเบคจะเกิดจากพาหะประจุ ได้แก่ พาหะประจุของอิเล็กตรอนและพาหะประจุของโฮลในแถบวาเลนซ์ ถ้ามีพาหะประจุของอิเล็กตรอนและโฮลเกิดขึ้นมาก ยิ่งส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่สูงควรจะพบในวัสดุที่มีพลังงานกว้างๆ เช่นวัสดุจำพวกฉนวน ซึ่งสามารถมีค่าพลังงานเฟร์มิมาก และนำไปสู่การมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในระดับ ~1 mV/K หรือสูงกว่าได้ อย่างไรก็ตามสภาพการนำไฟฟ้าสำหรับฉนวนค่อนข้างต่ำปกติอยู่ในระดับ 10^{-12} $\Omega^{-1}cm^{-1}$ หรือต่ำกว่า ดังนั้นอาจทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมีค่าสูงหรือสูงกว่าสามารถพิจารณาจากตาราง 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติการผันไฟฟ้าจากความร้อนของโลหะ สารกึ่งตัวนำ และฉนวน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเคลวิน [17]

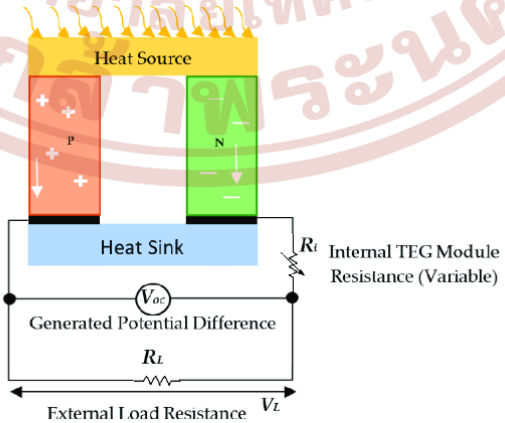
สมบัติ	หน่วย	โลหะ	สารกึ่งตัวนำ	ฉนวน
S	μVK^{-1}	5	200	$1x10^{3}$
ρ	Ω-cm	10^{6}	10^{3}	10^{-12}
K	$Wm^{-1}K^{-1}$	$7.3x10^{-6}$	4.4x10	$4.4x10^{-6}$
Z	K^{-1}	$2x10^{-6}$	$2x10^{-3}$	$5x10^{-17}$

2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (Thermoelectric Generator, TEG)

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ที่ทำการเปลี่ยนจากพลังงานความร้อนให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าได้หรือในทางตรงกันข้าม เทอร์โมอิเล็กทริกก็ยังสามารถเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนได้เช่น เดียวกันโดยอาศัยหลักการสั่นสะเทือนของโครงสร้างวัสดุเชิงควอนตัมฟิสิกส์ผ่านตัวกลางวัสดุที่เรียกว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นได้รับอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะเกิดการถ่ายเทอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิที่ต่ำกว่า และมีการถ่ายเทความต่างศักย์ไฟฟ้าจากศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำ ซึ่งการเคลื่อนที่นี้จะมีการเคลื่อนที่ของพาหะชนิดพี (p-type) และพาหะชนิดเอ็น (N-type) โดยที่พาหะชนิดพี จะมีพาหะประจุส่วนมากที่เรียกว่าโฮล (Hole) ที่เป็นประจุบวกและในทางตรงกันพาหะชนิดเอ็น (N-type) จะมีพาหะประจุส่วนมากคืออิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบทำให้เกิดแลกเปลี่ยนพาหะระหว่างชนิดพีกับชนิดเอ็นจึงทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นในเทอร์โมอิเล็กทริก ดังภาพที่ 2-5 [18]



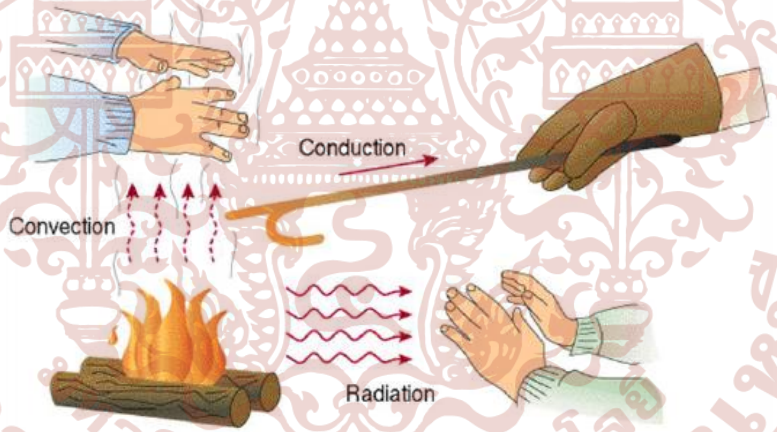
ภาพที่ 2-5 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ [18]



ภาพที่ 2-6 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ [18]

2.5 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนคือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนมักจะเกิด ขึ้นได้ ดังภาพที่ 2.7 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในแบบต่างๆ เมื่อมี เกรเดียนท์อุณหภูมิ (Temperature Gradient) เกิดขึ้นในตัวกลางที่อยู่นิ่ง เช่นของแข็ง หรือของไหล เทอมของการนำความร้อน(Conduction) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิด ขึ้นผ่านตัวกลาง ในขณะที่การพาความร้อน (Convection) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวและของไหลที่เคลื่อนที่เมื่อมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ส่วนการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) จะเป็นการที่ทุกพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิหนึ่งจะปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ดังนั้นในสถาวะที่ปราศจากตัว กลางใด ๆ จะมีการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวสองพื้นผิวที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันได้ [19]



ภาพที่ 2-7 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี[19]

2.5.1 การนำความร้อน (Conduction) เป็นการเคลื่อนที่รูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) จากวัตถุหนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังอีกวัตถุหนึ่งที่มีชนิดเดียวกันหรือต่างกันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยไม่มีตัว กลางในการเคลื่อนที่ เช่น การจับแท่งโลหะที่ปลายอีกข้างเผาไฟจากนั้นจะรู้สึกถึงความร้อนมาถึงมือที่จับแท่งโลหะอยู่ การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกันซึ่งวัตถุจะนำความร้อนได้ดีหรือไม่ดีนั้นจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) นอกจากนี้การนำความร้อนจะเกิดขึ้นในของแข็ง ของเหลว และแก๊สเท่านั้น แต่สำหรับในของแข็งทึบแสงจะไม่มีการเคลื่อนไหวภายในวัสดุ

จะมีแต่การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำเพียงอย่างเดียว อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจะเป็นสัดส่วนกับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature gradient) dT/dx คูนกับพื้นที่ A ที่ความร้อนไหลผ่านดังสมการที่ 2-6 [19]

$$\text{Rate of conduction } \alpha = \frac{(area)(Temperature\ differance)}{Thickness} \qquad 2\text{-}6$$

$$q_{cond}\ \alpha\ A\frac{dT}{dx} = -kA\ \frac{\Delta T}{\Delta x} \qquad 2\text{-}7$$

เมื่อ q_{cond} หมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (W)

A หมายถึง พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

T หมายถึง อุณหภูมิ (K)

X หมายถึง ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (m)

ความสามารถในการนำความร้อนของสาร วัดด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หรือใช้ตัวอักษรย่อว่า k ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่มีความร้อนเคลื่อนที่ผ่านอัตราการนำความร้อนจึงมีค่าเป็น

$$q_{cond} = -kA\ \frac{dT}{dx} \qquad 2\text{-}8$$

เมื่อ q_{cond} หมายถึง อัตราการไหลของความร้อนในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ (W , J/s)

A หมายถึง พื้นที่การถ่ายเทความร้อน (m^2)

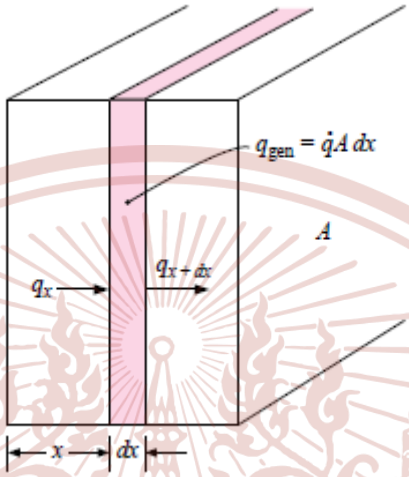
T หมายถึง อุณหภูมิ (K)

X หมายถึง ระยะทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่การถ่ายเทความร้อน

k หมายถึง สัมประสิทธิ์การนาความร้อน (W/m K)

สมการที่ 2.8 คือ กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's law of conduction) เครื่องหมายลบที่อยู่ทางขวามือของสมการเป็นผลเนื่องจากกฎข้อที่สองทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งกำหนดว่า ความร้อนจะต้องไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่เนื่องจากความลาดชันของอุณหภูมิจะต้องลดลงเมื่อระยะทาง X เพิ่มมากขึ้นจึงมีเครื่องหมายเป็นลบ ดังนั้นหาก

ต้องการให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไหลในทิศทางที่เป็นบวกหรือมีค่าเป็นบวก จะต้องเติมเครื่องหมายลบไว้ด้านขวาของสมการที่ 2-8 [19]



ภาพที่ 2-8 การนำความร้อนผ่านตัวกลางแบบมิติเดียว [19]

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางนั้นขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น รูปทรง ความหนา และวัสดุที่ใช้ในการทำตัวกลาง รวมทั้งความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลาง ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุ การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานจากอนุภาคที่มีพลังงานสูงไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่า สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในของเหลว ของแข็ง และแก๊ส ค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ของแก๊สไม่สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับการนำความร้อนส่วนใหญ่ของวัสดุจึงได้มาจากการวัดและการทดสอบ โดยทั่วไปแล้วค่าการนำความร้อนของวัตถุจะแปรตามอุณหภูมิ แต่การนำไปใช้งานในด้านการปฏิบัตินั้นส่วนใหญ่แล้วจะใช้ค่าการนำความร้อนคงที่ที่หาจากอุณหภูมิเฉลี่ย สารที่มีความสามารถในการนำความร้อนสูง เช่นโลหะ จะมีค่า k สูง ส่วนสารที่มีความสามารถในการนาความร้อนต่ำ เช่น สารอโลหะ ก็จะมีค่า k ต่ำ ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) จึงเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารที่สาคัญมากในการศึกษาถึงการเคลื่อนที่ของความร้อนในสารนั้น สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการนำความร้อนของสารต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบจากค่า k ของสารเหล่านั้น โดยสารที่มีค่า k สูง จะเรียกว่า สารตัวนำ (conductor) และสารที่มีค่า k ต่ำ จะเรียกว่า ฉนวน (insulator) ตัวอย่างค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) ของสารบางชนิดแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ ที่ 0 °C [19]

Material	Thermal conductivity	
	k	
Metals:	W/m² • °C	Btu/h • ft² •°F
Silver (pure)	410	237
Copper (pure)	385	223
Aluminum (pure)	202	117
Nickel (pure)	93	54
Iron (pure)	73	42
Carbon steel, 1%C	43	25
Leda (pure)	35	20.3
Chrome-nickel steel (18%Cr,| 8% Ni)	16.3	9.4
Nonmetallic solids:		
Diamond	2300	1329
Quartz, parallel to axis	41.6	24
Magnesite	4.15	2.4
Marble	2.02-2.94	1.2-1.7
Sandstone	1.83	1.06
Glass, window	0.78	0.45
Maple or oak	0.17	0.096
Hard rubber	0.15	0.087
Polyvinyl chloride	0.09	0.052
Styrofoam	0.033	0.019
Sawdust	0.059	0.034
Glass wool	0.038	0.022
Ice	2.22	1.28
Liquids:		
Mercury	8.21	4.74
Water	0.556	0.327
Ammonia	0.54	0.312

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

Material	Thermal conductivity	
	k	
Lubricating oil, SAE 50	0.147	0.085
Freon 12, CC12F2	0.073	0.042
Gases:		
Hydrogen	0.175	0.101
Helium	0.141	0.081
Air	0.024	0.0139
Water wapor (saturated)	0.0206	0.0119
Carbon dioxide	0.0146	0.00844

ตารางที่ 2-2 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุหลายชนิด เพื่อระบุลำดับสัมพัทธ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในทางปฏิบัติ โดยทั่วไปแล้ว ค่าการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอย่างมาก

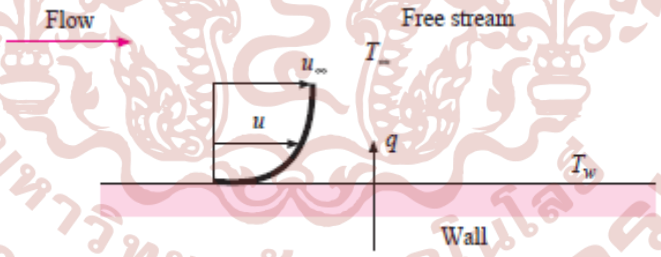
2.5.2 การพา (Convection) คือการถ่ายเทความร้อนโดยการพาประกอบด้วยกลไก 2 อย่าง คือ พลังงานเกิดการถ่ายเทอันมีผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่หรือการแพร่แบบสุ่มของโมเลกุล และผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของของไหล การถ่ายเทลักษณะนี้เกิดขึ้นได้ เช่น ในระบบที่มีเกรเดียนท์อุณหภูมิจะมีการถ่ายเทความร้อนได้ และเนื่องจากโมเลกุลในกลุ่มของไหลจะมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มอยู่ด้วย ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจึงเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุลและการเคลื่อนที่ของของไหลส่วนใหญ่ การถ่ายเทความร้อนโดยการพา แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

2.5.2.1 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) หรือ การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม หรือเครื่องสูบน้ำ

2.5.2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกใด ๆ ที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งก็อาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น

พิจารณาการพาความร้อนที่เกิดขึ้นในของไหลเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวของแข็งที่มีอุณหภูมิต่างกัน ดังภาพที่ 2.11 ที่แสดงการถ่ายเทความร้อนโดยการพาระหว่างพื้นผิวร้อนกับของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านไปบนแผ่นวัตถุ ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความเร็วและอุณหภูมิ จุดที่น่าสังเกตคือ ความเร็วจะลดน้อยลงในทิศทางที่วิ่งเข้าสู่ผิวของวัตถุด้วยผลของแรงจากความเสียดทานที่เนื่องมาจากความหนืดของของไหลและเนื่องจากของไหลชั้นที่อยู่ติดกับผิวนั้นมีความเร็วเป็นศูนย์ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ระหว่างผิวของแผ่นวัสดุกับของไหลชั้นดังกล่าวเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำอย่างเดียว ของไหลที่มีความเร็วสูงจะให้ค่าความลาดชันของอุณหภูมิสูงทำให้มีอัตราการนำความร้อนสูงตามไปด้วย ภาพที่ 2.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลบางชนิด (convection heat-transfer coefficients, h)

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานั้นเป็นสิ่งยุ่งยาก เมื่อพิจารณาแล้ว มีหลายสิ่งหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพานี้ เช่น คุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจาเพาะ ความหนืด ฯลฯ ความเร็วของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของของแข็ง และของไหล เป็นต้น นิวตัน (Newton) ได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้ โดยเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพา ดังสมการที่ 2.9[19]



ภาพที่ 2-9 การพาความร้อนผ่านพื้นของแข็ง [19]

ตารางที่ 2-3 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convection heat-transfer coefficients, h) [19]

Mode	*h* W/m² • °C	*h* Btu/h • ft² • °F
Across 2.5-cm air gap evacuated to a pressure of 10`6 atm and subjected to D*T* = 100°C - 30°C Free convection, D*T* = 30°C	0.087	0.015

ตารางที่ 2-3 (ต่อ)

Mode	h	
	W/m² • ℃	Btu/h • ft² •°F
Vertical plate 0.3m [1 ft] high in air	4.5	0.79
Horizontal cylinder, 5-cm diameter, in air	6.5	1.14
Horizontal cylinder, 2-cm diameter, in water	890	157
Heat transfer across 1.5-cm vertical air gap with D*T* = 60℃	2.64	0.46
Fine wire in air, *d* = 0.02mm, D*T*= 55℃	490	86
Forced converction		
Airflow at 2m/s over 0.2-m square plate	12	2.1
Airflow at 35m/s over 0.75-m square plate	75	13.2
Airflow at Mach number = 3, *p* = 1/20 atm, T¥ = -40℃ across 0.2-m square plate	56	9.9
Air at 2 atm flowing in 2.5-cm-diameter tube at 10 m/s	65	11.4
Water at 0.5 kg/s flowing in 2.5-cm-diameter tube	3500	616
Airflow across 5-cm-diameter cylinder with velocity of 50 m/s	180	32
Liquid bismuth at 4.5 kg/s and 420℃ in 5.0-cm-diameter tube	3410	600
Airflow at 50 m/s across fine wire, d = 0.04mm	3850	678
Boiling water		
In a pool or container	2500-35,00	440-6200
Flowing in a tube	5000-100,000	880-17,600
Condensation of water vapor, I atm		
Vertical surfaces	4000-11,300	700-2000
Outside horizontal tubes	9500-25,000	1700-4400
Dropwise condensation	170,000-290,000	30,000-50,000

$$q_{conv} = h(T_h - T_c) \quad 2\text{-}8$$

เมื่อ q_{conv} หมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล (W/ m^2)

h หมายถึง คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient) มีหน่วยเป็น W/ m^2K

T_h หมายถึง อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง) (K)

T_h หมายถึง คืออุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง) (K)

2.5.3 การแผ่รังสี (Radiation) คือการที่พลังงานถูกปล่อยออกมาจากวัตถุที่มีอุณหภูมิที่แน่นอน โดยวัตถุนั้นอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ก็ได้ พลังงานของสนามการแผ่รังสีมีการถ่ายเทโดยอาศัยคลื่นม่เหล็กไฟฟ้าหรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่า โฟตอน (Photons) ในขณะที่การถ่ายเทพลังงานโดยการนำหรือการพาความร้อนจะต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเท การถ่ายเทโดยการแผ่รังสีไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ และจะเกิดการถ่ายเทได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ

สำหรับวิศวกรวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่โดยการแผ่รังสี อาจไม่มีความสำคัญเท่ากับที่จะรู้วิธีการคำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการแผ่รังสี ในปี 1884 สตีเฟน และ โบลซ์แมน (Stefan and Boltzmann) ได้เสนอสมการในการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนสูงสุดโดยการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีพื้นที่ A และอุณหภูมิ T ดังสมการที่ 2-9

$$q_{emitted} = \sigma \varepsilon A T^4 \quad 2\text{-}9$$

เมื่อ $q_{emitted}$ หมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล

ε หมายถึง คุณสมบัติทางการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุซึ่งเรียกว่า ค่าการแผ่รังสี (emissivity)

σ หมายถึง ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann โดยมีค่าเท่ากับ 5.669×10^{-8} W/ $m^2.K^4$

T หมายถึง คืออุณหภูมิ (K)

การที่จะหาอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างวัสดุสองชิ้นที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันนั้นยุ่งยากมาก หากพิจารณากรณีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัตถุเล็กที่มีพื้นที่ผิวเท่ากับ A และค่าการแผ่รังสีความร้อน ε กับวัตถุใหญ่ซึ่งครอบคลุมวัตถุเล็กอยู่ โดยที่วัตถุเล็ก

มีอุณหภูมิ T_h และวัตถุใหญ่มีอุณหภูมิ T_c เราสามารถเขียนอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสุทธิของวัตถุทั้งสองได้ดังสมการที่ 2-10

$$q_{emitted} = \sigma \varepsilon A(T_h^4 - T_c^4) \quad \text{2-10}$$

อาจเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$q_{emitted} = \sigma \varepsilon A(T_h - T_c)(T_h + T_c)(T_h^2 - T_c^2) \quad \text{2-11}$$

$$q_{emitted} = h_r A(T_h - T_c) \quad \text{2-12}$$

เมื่อ h_r หมายถึง สัมประสิทธิการแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer coefficient) [19]

2.6 กฎของโอห์ม (Ohm's Law)

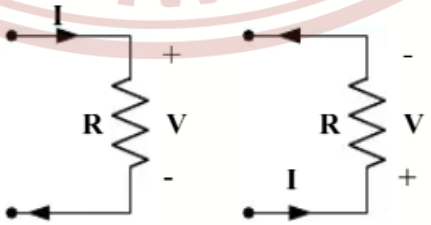
กฎของโอห์มนั้นถูกค้นพบโดย นายจอร์จ โอห์ม นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน (ค.ศ.1787-1845) ซึ่งเป็นกฎที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยกฎของโอห์มได้กล่าวไว้ว่า “สำหรับวงจรไฟฟ้าใดๆ ที่มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทานคงที่ค่าหนึ่ง ความต่างศักย์ที่ขั้ว ทั้งสองของตัวต้านทานจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสนั้น” ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์แสดงในสมการที่ 2-13

$$V = I \times R \quad \text{2-13}$$

เมื่อ V หมายถึง ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน (Volt, V)

I หมายถึง กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน (Ampare, A)

R หมายถึง ค่าความต้านทานของวงจร (Ohm, Ω)



ภาพที่ 2-10 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันที่มีต่อตัวต้านทาน [20]

การไหลของกระแสไฟฟ้านั้นเกิดจากการที่ศักย์ไฟฟ้า ณ 2 จุด มีค่าไม่เท่ากัน โดยกระแสจะไหลจากด้านที่มีศักย์สูงไปยังด้านที่มีศักย์ต่ำเสมอ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการไหลของกระแสที่ผ่านตัวต้านทาน คือ ด้านที่มีกระแสไหลเข้าจะมีเครื่องหมานเป็นบวก (+) หรือเป็นด้านที่มีศักย์สูงและด้านที่มีกระแสไหลออกจะมีเครื่อง หมายเป็นลบ (-) หรือด้านที่มีศักย์ต่ำดังภาพที่ 2-11

โดยทั่วไปแล้วจะใช้สัญลักณษ์กำกับแรงดันที่ตกคร่อมระหว่าง 2 จุดใดๆ ในวงจร เช่น แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างจุด A และจุด B สามารถใช้สัญลักษณ์ V_{AB} ซึ่งหมายถึงศักย์ไฟฟ้าที่จุด A เทียบกับจุด B และสลับสัญลักษณ์กำกับตัวห้อย จะทำให้เครื่องหมายหน้าแรงดันนั้นมีเครื่องหมายเป็นตรงกันข้าม เช่น V_{AB} มีค่าเท่ากับ $-V_{BA}$ [20]

2.7 กำลังไฟฟ้า (Power)

กำลังไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในเวลา 1 นาที มีหน่วยเป็นวัตต์ (w) หรือจูลต่อวินาที (J/s) กำลัง ไฟฟ้ามีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ครื่องใช้ไฟฟ้านั้นต่ออยู่ โดยกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้า ดังสมการที่ 2-14

$$P = V \times I \qquad 2\text{-}14$$

เมื่อ P หมายถึง กำลังไฟฟ้า (Power, W)
V หมายถึง แรงดันไฟฟ้า (Volt, V)
I หมายถึง กระแสไฟฟ้า (Ampare, A)

2.8 วงจรไฟฟ้า (Electrical circuit)

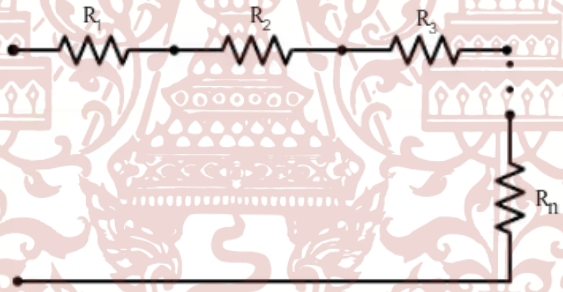
วงจรไฟฟ้า หมายถึง ทางเดินของกระแสไฟฟ้าซึ่งไหลมาจากแหล่งกำเนิดผ่านตัวนำ และเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือโหลด แล้วไหลกลับไปยังแหล่งกำเนิดเดิม จากปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าต่าง ๆ จะพบว่ามีสาเหตุมาจากการไหลของไฟฟ้า สายไฟทั่วไปทำด้วยลวดตัวนำ คือ โลหะทองแดง และอะลูมิเนียม อะตอมของโลหะมีอิเล็ก ตรอนอิสระ ไม่ยึดแน่นกับอะตอม จึงเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ เมื่อมีประจุลบเพิ่มขึ้นในสายไฟอิเล็กตรอน อิสระ 1 ตัวจะถูกดึงเข้าหาประจุไฟฟ้าบวก แล้วรวมตัวกับประจุไฟฟ้าบวกเพื่อเป็นกลาง

ดังนั้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ เมื่อเกิดสภาพขาดอิเล็กตรอนจึงจ่ายประจุไฟฟ้าลบออกไปแทนที่ ทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟจนกว่าประจุไฟฟ้าบวกจะถูกทำให้เป็นกลางหมด

การเคลื่อนที่ของอิเล็ก ตรอน หรือการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟนี้เรียกว่า กระแสไฟฟ้า (Electric Current)

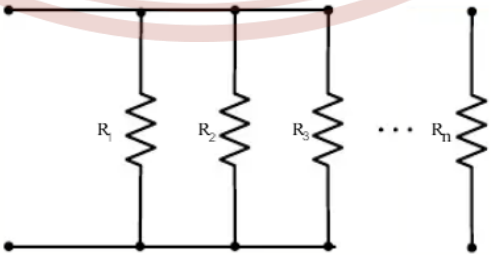
สำหรับในตัวนำที่เป็นของแข็ง กระแสไฟฟ้าเกิดจากการไหลของอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปหาขั้วบวกเสมอในตัวนำที่เป็นของเหลว และก๊าซ กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนกับโปรตอน โดยจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้าม ถ้าจะเรียกว่ากระแสไฟฟ้าคือการไหลของอิเล็กตรอนก็ได้ แต่ทิศทางของกระแสไฟฟ้าจะตรงข้ามกับการไหลของอิเล็กตรอน การต่อวงจรไฟฟ้าทั้งกระแสตรง และ กระแสสลับ มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ ดังนี้ [21]

2.8.1 วงจรอนุกรม (Series Circuit) คือการนำเอาอุปกรณ์ไฟฟ้ามาเชื่อมต่อกันในลักษณะไล่เรียงกันไป ดังภาพที่ 2-14 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในลักษณะนี้ จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกตัวมีค่าเท่ากัน แต่ค่าแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถหาค่าแรงดันนั้นได้จากกฎของโอห์ม



ภาพที่ 2-11 วงจรอนุกรม [21]

2.8.2 วงจรขนาน (Parallel Circuit) คือ วงจรที่เกิดจากการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในลักษณะคร่อมระหว่างโนดสองโนดร่วมกัน ดังภาพที่ 2-12 ทำให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณไฟฟ้าแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน ส่วนกระแสนั้นจะแบ่งไหลไปตามกิ่งของวงจร ซึ่งจะมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับค่าของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น และสามารถหาค่ากระแสนั้นได้จากกฎของโอห์มเช่นเดียวกัน [21]



ภาพที่ 2-12 วงจรขนาน [21]

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เทอร์โมอิเล็กทริกเจรเนอเรเตอร์ รุ่น SP1848-27145 SA จำนวน 12 ตัว มีขนาด 40 x 40 x 4 มิลลิเมตรและมีข้อมูลจำเพาะดังแสดงในตารางที่ 3-1 เพื่อใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าจากความต่างของอุณหภูมิ



ภาพที่ 3-1 เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ รุ่น SP1848-27145 SA [23]

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลจำเพาะของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์รุ่น SP1848-27145 SA [23]

Material	Ceramic / Bismuth Telluride
Color	White
Parametric model	SP1848-27145 SA
Maximum temperature (°C)	150
Open-circuit voltage (V)	4.8
Module weight (g)	25
Module size (mm)	40x40x4

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

Differential Temperature (°C)	Voltage from TEG (V_{out})	Electricity from TEG (I_{out})	Electric power from TEG (P_{out})
20 °C	0.97 V	225 mA	0.22 W
40 °C	1.8 V	368 mA	0.66 W
60 °C	2.4 V	469 mA	1.13 W
80 °C	3.6 V	558 mA	2.01 W
100 °C	4.8 V	669 mA	3.21 W

3.1.2 เครื่องวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า LED (Voltmeter Current meter Ammeter Dual Digital Meter) ใช้สำหรับวัดไฟฟ้ากระแสตรง สามารถวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 0 ถึง 100 โวล์ท และวัดกระแสไฟฟ้าได้ 10 แอมป์ มีความละเอียดในการอ่านค่าแรงดัน 0.01 โวล์ทและความละเอียดในการอ่านค่ากระแส 0.001 แอมป์ ความถูกต้องแม่นยำคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±1 มีขนาด ความกว้าง 60 มิลลิเมตร ความยาว 28.6 มิลลิเมตร และความสูง 22 มิลลิเมตร จำนวน 5 ตัว ดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 เครื่องวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าแบบ LED [24]

3.1.3 ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Temperature control) รุ่น REX – C100 Output SSR จำนวน 1 ตัว เพื่อนำมาควบคุมอุณหภูมิของฮีตเตอร์ (Heater) ตามอุณหภูมิที่กำหนดดังภาพที่ 3-2 โดยมีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 3-3

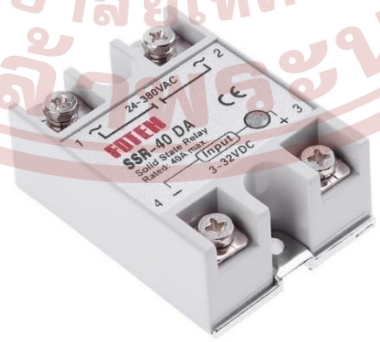


ภาพที่ 3-3 ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Temperature control) [25]

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลจำเพาะของ Temperature control รุ่น REX – C100 [25]

Range	0 – 400 °C
Error	± 0.5 %
Input	Thermocouple type K
Output	Solid state relay (SSR)
Display	°C
Voltage	100 – 240 VAC / 50 – 60 Hz

3.1.4 โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay) รุ่น SSR-40DA จำนวน 1 ตัว ซึ่งเป็นรีเลย์แบบไม่มีหน้าสัมผัสสำหรับควบคุมโหลดกระแสสลับ (AC) โดยใช้สัญญาณควบคุมแบบกระแสตรง (DC) โดยรีเลย์รุ่นนี้มีความ สามารถในการทนกระแสสูงสุด 40 แอมป์ เพื่อนำมาตัดต่อการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับฮีตเตอร์ (Heater) ดังภาพที่ 3-4 โดยมีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 3-3

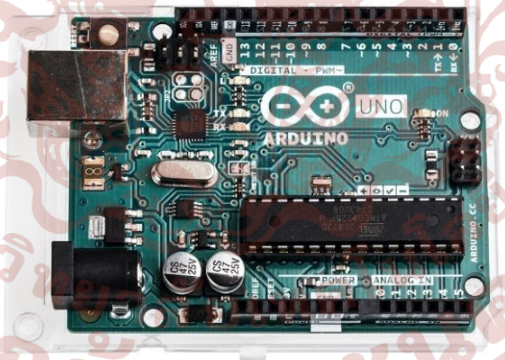


ภาพที่ 3-4 โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay) รุ่น SSR-40DA [26]

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลจำเพาะของ Solid state relay SSR- 40DA [26]

Load voltage	24 – 380 VAC
Control voltage	3 – 32 VDC
Control current	3 – 25 mA
State leakage current	2 mA
Buck-state	1.5 VAC
Off time	10 mS
Dielectric Strength	2500 VAC
Insulation resistance	500 MΩ / 500 VDC
Ambient temperature	-30 ^{o}C – 75 ^{o}C

3.1.5 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open source บนแพลตฟอร์ม Arduino UNO R3 ใช้ชิพแบบ ATmega328 รันที่ความถี่ 16 เมกะเฮิรตซ์ มีหน่วยความจำแฟลช 32 กิโลไบต์และ แรม 2 กิโลไบต์ บอร์ดใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 โวล์ท จำนวน 1 ตัว เพื่อนำมาอ่านค่าอุณหภูมิความเย็น และแสดงผลออกทางจอ Lcd I2c ดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open source บนแพลตฟอร์ม Arduino UNO R3 [27]

3.1.6 จอ LCD I2C (Inter-Integrated Circuit) ทำงานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยจอนี้ทำงานผ่าน I2C Interface สามารถแสดงผลตัวอักษรได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน ขนาดของจอ LCD มีความกว้าง 82 มิลลิเมตร มีความยาว 35 มิลลิเมตรและความสูง 18 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการแสดงผลค่าอุณหภูมิของแผงระบายความร้อนด้านเย็น ดังภาพที่ 3-6



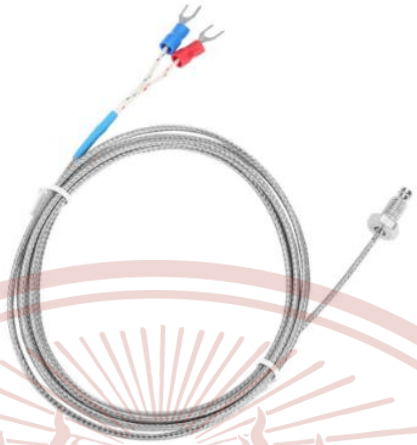
ภาพที่ 3-6 จอ LCD I2C (Inter-Integrated Circuit) [26]

3.1.7 สายนำสัญญาณหรือสายแพรแบนเสียบบอร์ด (Flat Cable) จำนวน 10 แพร ขนาดความยาว 10 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการแสดงผลดังภาพที่ 3-7



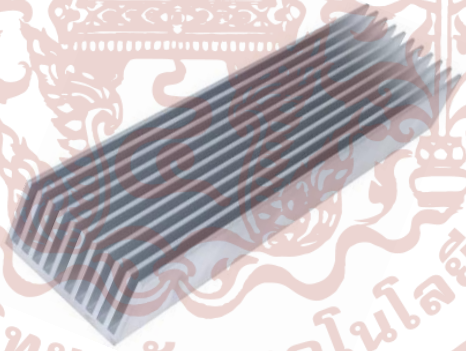
ภาพที่ 3-7 สายแพรแบนเสียบบอร์ด (Flat Cable) [28]

3.1.8 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple, Type K) เซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ โดยหัววัดอุณหภูมิชนิดนี้ผลิตจากโลหะนิเกิล อลูเมล (Nickel Alumel) คือโลหะผสมของนิกเกิล (Nickel) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก โดยมีส่วนผสมของอลูมิเนียม (Aluminum), แมงกานีส (Manganese) และซิลิคอน (Silicon) ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าขั้วบวกในเทอร์โมคัปเปิลชนิด K โดยสามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -200 ถึง +1,350 องศาเซลเซียส ขนาดความยาว 2 เมตร จำนวน 4 เส้น และมีความแม่นยำตอบสนองรวดเร็วประมาณ 41 ไมโครโวล์ท ต่อ 40 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple, Type K) [29]

3.1.9 แผงระบายความร้อน (Heatsink) ขนาด 40 x 300 x 30 มิลลิเมตร จำนวนครีบ 11 ครีบ เกรดอลูมิเนียม 1050 จำนวน 3 ชิ้น เพื่อนำมาระบายความร้อนให้แก่เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเตอร์ ด้วยการนำความร้อน ดังภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 แผงระบายความร้อน (Heatsink) [30]

3.1.10 พัดลมระบายความร้อนขนาด 60 x 60 มิลลิเมตร แรงดัน 12 โวล์ท และกระแสไฟฟ้า 1.6 แอมป์ จำนวน 3 ตัว เพื่อนำมาระบายความร้อนออกจากแผงระบายความร้อนด้วยการพาความร้อน ดังภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 พัดลมระบายความร้อน [31]

3.1.11 พาวเวอร์ซัพพลายแรงดัน 12 โวล์ท กระแสไฟฟ้า 20 แอมป์ และ 10 แอมป์ จำนวนอย่างละ 1 ตัว รวมทั้งหมดเป็น 2 ตัว เพื่อนำมาเป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ต่าง ๆ ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 พาวเวอร์ซัพพลาย [32]

3.1.12 เครื่องวัดความเร็วลมรุ่น UNI-T UT363 เป็นเครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิแบบพกพา 2 มีหน้าจอ LCD แบบ backlit แสดงผลได้โดยตรง สามารถวัดความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0 ถึง 30 เมตรต่อวินาที และวัดอุณหภูมิได้ระหว่าง -10 ถึง 50 องศาเซลเซียส



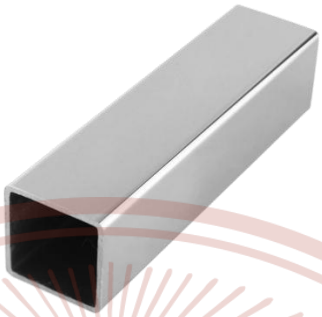
ภาพที่ 3-12 เครื่องวัดความเร็วลมรุ่น UNI-T UT363 [33]

ตารางที่ 3-4 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องวัดความเร็วลมรุ่น UNI-T UT363 [33]

Function	Range	Accuracy
Wind Speed Measurement	0-30 m/s (Standard)	±(5% rdg + 0.5)
	1.4-108Km/h (Referance)	±(5% rdg + 15 dgts)
	0.7-58Knots (Referance)	±(5% rdg + 10 dgts)
	0.8-67 mph (Referance)	±(5% rdg + 10 dgts)
	78-5905 ft/min (Referance)	±(5% rdg + 180 dgts)
Temperature Measurement	-10 °C to 50 °C	± 2 °C

Range	0-30 m/s
Sampling Rate	0-30 m/s (Standard)
Overload Indication	1.4-108 Km/h (Referance)
MAX/AVG	0.7-58 Knots (Referance)
Data Hold/Backlight	0.8-67 mph (Referance)
Auto PowerOff	78-5905 ft/min (Referance)
Low Battery Indicator	-10 °C to 50 °C

3.1.13 สแตนเลสกล่องขนาด 50x50x1.2 มิลลิเมตร ยาว 300 เมตร เกรด 304 จำนวน 1 เส้น เพื่อใช้สำหรับการ นำความร้อนจากท่อไอเสียมาสู่แผ่นเทอร์อิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ ดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-13 สแตนเลสกล่องขนาด 50x50x1.2 มิลลิเมตร [34]

3.1.14 ปลอกฉนวนกันความร้อนสายไฟ จำนวน 24 เส้น ความยาว 1 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร เพื่อนำมาป้องกันสายไฟของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ที่อยู่ใกล้บริเวณที่มีความร้อนสูง ดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-14 ปลอกฉนวนกันความร้อนสายไฟ [35]

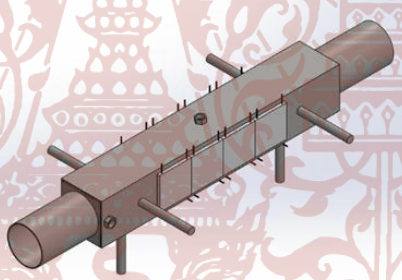
3.1.15 ซิลิโคนนำความร้อน (Silicone Compound Thermal) รุ่น HM501 ขนาด 30 กรัม จำนวน 2 หลอด ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ 1.93 – 2.3 W/(m.K) เพื่อนำความร้อนจากท่อสแตนเลสไปยังบริเวณผิวของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจนจเนอเรเตอร์ และจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์สู่แผงระบายความร้อน



ภาพที่ 3-15 ซิลิโคนนำความร้อน (Silicone Compound Thermal) รุ่น HM501 [36]

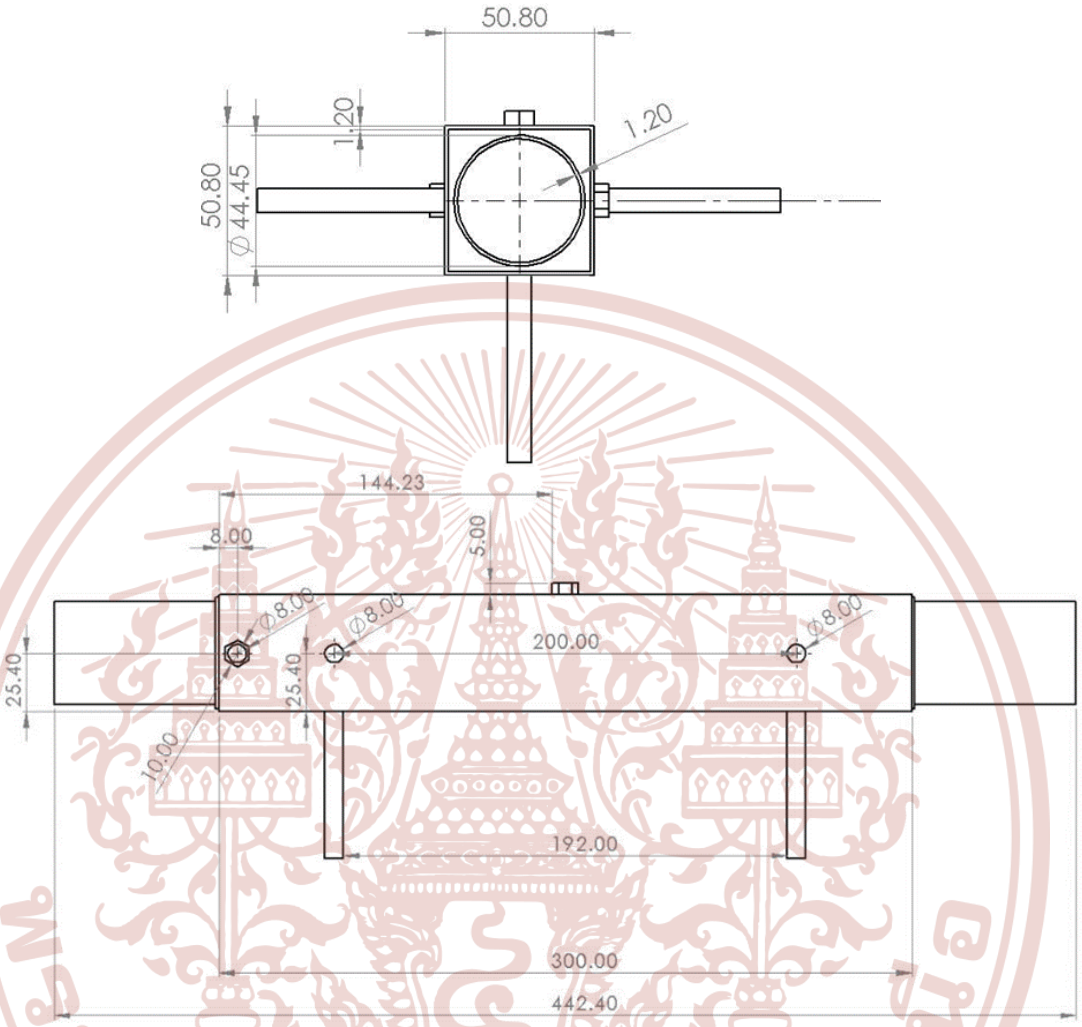
3.2 การสร้างและติดตั้งชุดทดสอบการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งจากท่อไอเสียเครื่องยนต์โดย ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

3.2.1 ออกแบบชิ้นงานติดตั้งชุดทดสอบ



ภาพที่ 3-16 รูปแบบชิ้นงานชุดทดสอบเบื้องต้น

การออกแบบและติดตั้งชุดทดลองโดยออกแบบเป็นท่อทรงสี่เหลี่ยมเพื่อให้มีพื้นที่ในการติดตั้งให้หน้าสัมผัสของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์มีระนาบไปกับผิวท่อโดยเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ทั้งหมด 12 ตัว โดยจะติดตั้งด้านละ 4 ตัว ต่ออนุกรมกันทั้งหมด 3 ด้าน แล้วจึงนำมาต่อขนานกันทั้ง 3 ด้านเพื่อให้ได้แรงดันตามที่กำหนดใช้งานภายในรถยนต์ส่วนบุคคล เนื่องจากขนาดของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 ตัว กว้าง 4 เซนติเมตร และยาว 4 เซนติเมตร ดังนั้นจึงออกแบบท่อสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร และยาว 22 เซนติเมตร และใช้วัสดุแสตนเลส เกรด 304 ให้คุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดีและทำการเชื่อมต่อเข้ากับท่อกลมที่มีขนาดเท่ากับท่อไอเสียรถยนต์ดังภาพที่ 3-17

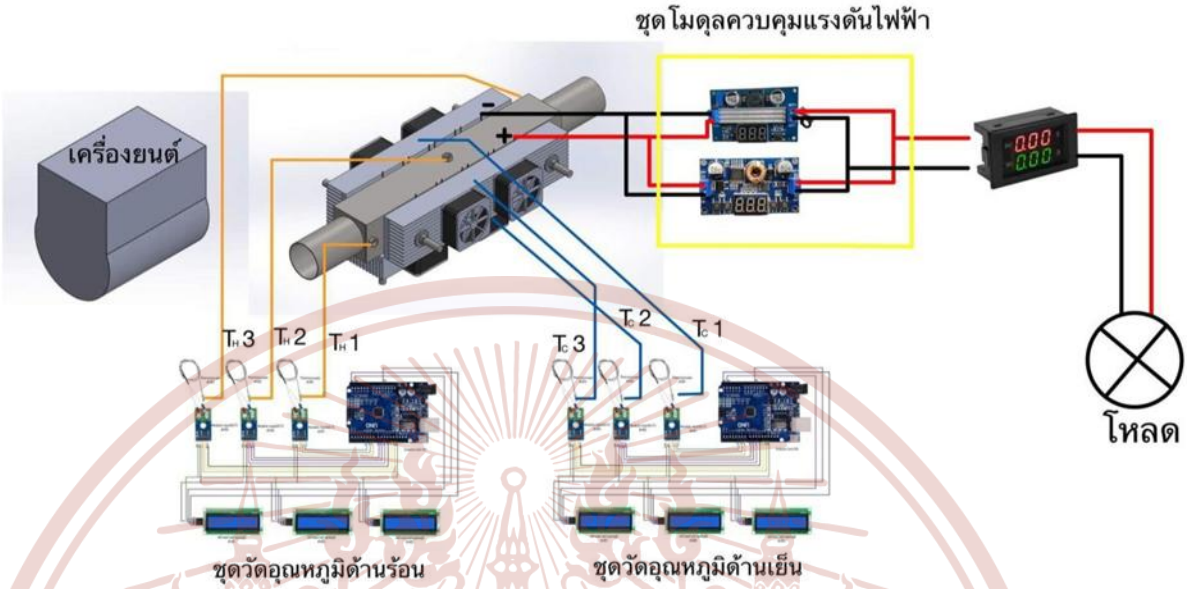


ภาพที่ 3-17 โครงสร้างชิ้นงานและจุดวัดของชุดทดลอง (โดยในภาพใช้หน่วยการวัดเป็นมิลลิเมตร)

จากภาพที่ 3-17 เป็นการบอกขนาดของท่อชิ้นงานและตำแหน่งที่จะวัดอุณหภูมิความร้อนของผิวท่อไอเสียรถยนต์ของชิ้นงานทั้ง 3 จุด โดยท่อแสตนเลสทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีขนาด 2 นิ้ว ความหนา 1.2 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร จุดที่ 1 วัดที่ทางเข้าของไอเสียที่ออกมาจากบริเวณหม้อพักโดยจุดที่ 1 อุณหภูมิจะสูงที่สุดเพราะเป็นจุดที่ไอเสียผ่านเป็นจุดแรก จุดที่ 2 วัด ที่บริเวณกลางท่อชิ้นงานโดยจะอยู่ด้านบนของ ชิ้นงานชุดทดลองโดยจุดที่ 2 ความร้อนจะลดลงเนื่องจากไอเสียมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผิวท่อที่ติดชิ้นงานและจุดที่ 3 จะติดตั้งบริเวณด้านตรงข้ามของจุดที่ 1 ช่วงท้ายของชิ้นงาน

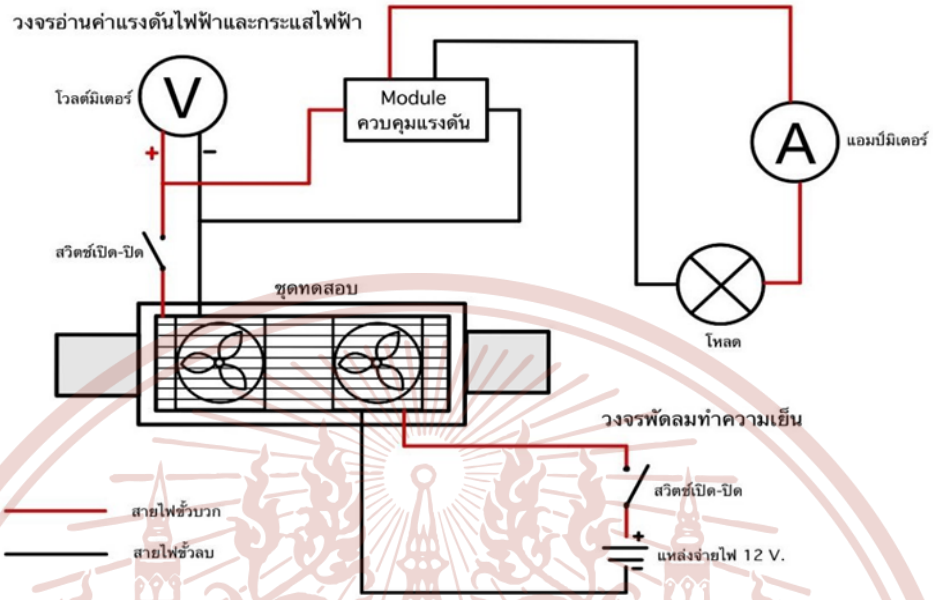
3.2.2 แบบวงจรแสดงการทำงานเบื้องต้นของชุดทดสอบ (Schematic Diagram)

แบบวงจรแสดงการทำงานเบื้องต้นของชุดทดสอบ (Schematic Diagram) เมื่อนำชุดทดสอบไปติดตั้งกับรถยนต์ก่อนทำการทดสอบ การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งจากท่อไอเสียรถยนต์ โดยจะมีรายละเอียดดังภาพที่ 3-18



ภาพที่ 3-18 แบบวงจรแสดงการทำงานเบื้องต้นของชุดทดสอบ (Schematic Diagram)

จากภาพที่ 3-18 แสดงชุดทดสอบที่ติดตั้งอยู่ระหว่างท่อไอเสียตำแหน่งหลัง หม้อพักไอเสียรถยนต์รุ่น HONDA JAZZ GK 2019 โดยชุดทดสอบถูกติดตั้งเข้ากับชุดวัดอุณหภูมิจำนวน 2 ชุด โดยชุดแรกใช้สำหรับวัดอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอร์เรเตอร์โดยวัดที่ผิวท่อไอเสียจำนวน 3 ตำแหน่ง ขณะที่ชุดที่สองใช้สำหรับวัดอุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอร์เรเตอร์ โดยทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple, Type K) ไว้ที่ตำแหน่งตรงกลางแผงระบายความร้อนทั้ง 3 แผง นอกจากนี้ยังติดตั้งชุดโมดุลความคุมแรงดันไฟฟ้าเพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าโหลดเพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า รวมถึง ในชุดทดสอบมีการติดตั้งพัดลมที่สามารถเปิดปิดได้ดังแสดงในวงจร ดังภาพที่ 3-19 เพื่อใช้ในการทดสอบ แล้วนำผลมาเปรียบเทียบกันระหว่างแบบเปิดพัดลมและแบบปิดพัดลม



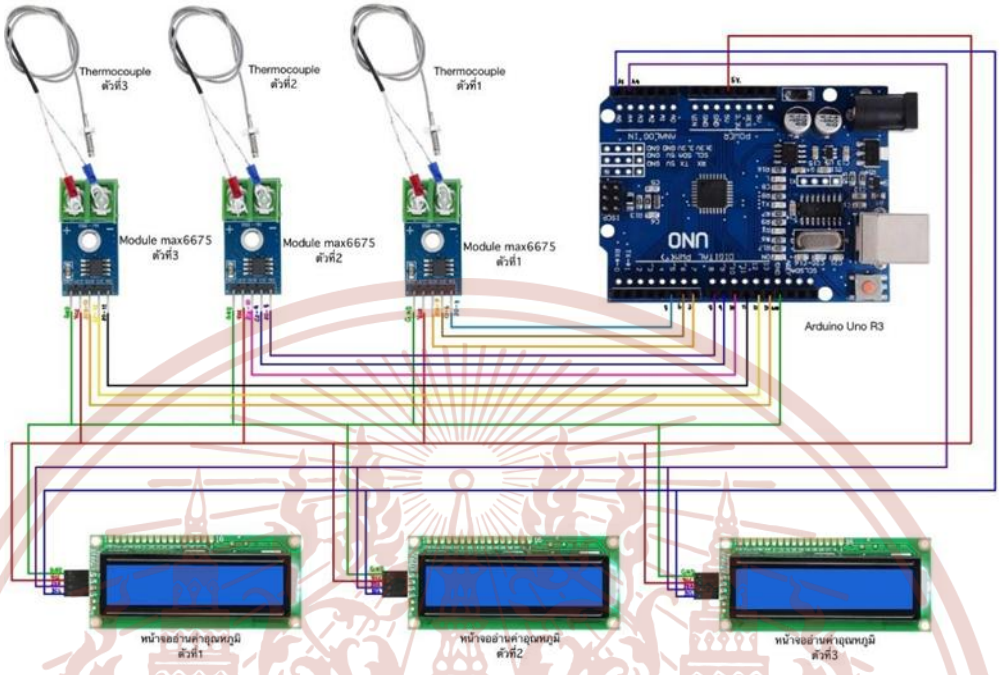
ภาพที่ 3-19 วงจรการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

การต่อวงจรการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า นำสายไฟที่ผลิตแรงดันไฟฟ้าจากชุดทดสอบต่อสายขั้วบวกเข้ากับ สวิตช์เปิด-ปิด เพื่อตัดต่อแรงดันไฟฟ้า และนำสายไฟต่อเข้ากับโวลต์มิเตอร์ และนำสายไฟขั้วลบต่อเข้ากับโวลต์มิเตอร์เพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้า นำสายไฟขั้วบวกที่ผ่านสวิตช์เปิด-ปิด เข้าโมดูลควบคุมแรงดันเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับโหลด นำสายขั้วลบต่อเข้าโมดูลควบคุมแรงดันไฟฟ้า นำสายไฟขั้วบวกที่ออก จากโมดูลควบคุมแรงดัน ต่อเข้ากับแอมป์มิเตอร์เพื่ออ่านค่ากระแสฟ้า และนำสายไฟขั้วบวกต่อเข้ากับโหลด นำสายไฟขั้วลบที่ต่อจากโมดูลควบคุมแรงดัน ต่อเข้ากับโหลด ดังภาพที่ 3-19

หลักการทำงาน เมื่อชุดทดสอบผลิตกระแสไฟฟ้า เปิด สวิตช์ เพื่ออ่านค่าแรงดัน แรงดันฟ้าจะจ่ายให้กับโมดูลควบคุมแรงดัน จากนั้นจะสามารถอ่านค่ากระแสฟ้าที่ผลิตได้ เมื่อทำการปิดสวิตช์ วงจรจะตัดการทำงาน วงจรพัดลมทำความเย็น

การต่อวงจร พัดลมระบายความร้อน จะมีทั้งหมด 6 ตัว นำทุกตัวมาต่อขนานกัน นำสายไฟขั้วบวกต่อเข้า กับสวิตช์เปิด-ปิด เพื่อตัดการทำงาน และนำสายไฟขั้วบวกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟขั้วบวก นำสายไฟขั้วลบต่อเข้า แหล่งจ่ายไฟขั้วลบ

หลักการทำงาน เมื่อเปิดพัดลม เปิดสวิตช์กระแสจะจ่ายให้กับพัดลม พัดลมจะทำงาน เมื่อปิดสวิตช์วงจร จะตัดการทำงาน



ภาพที่ 3-20 วงจรการอ่านค่าอุณหภูมิฝั่งร้อนและฝั่งเย็น

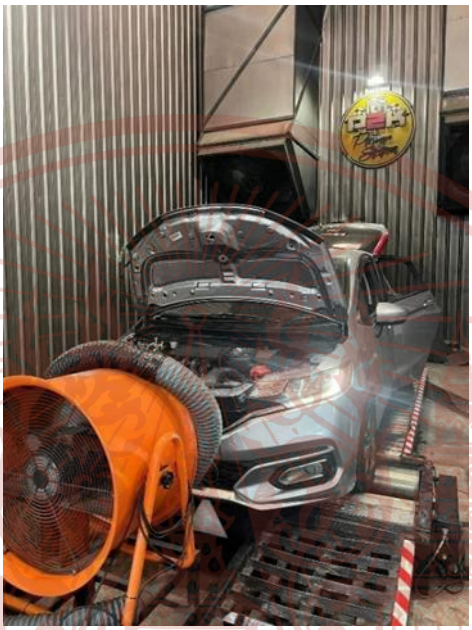
การอ่านค่าอุณหภูมิด้วยใช้ Arduino โดยจะใช้ Arduino 2ตัวในการอ่านค่า มีฝั่งอากาศร้อนและอากาศเย็น โดยมีการต่อวงจรดังภาพที่ 3-20

การต่อวงจร จ่ายแรงดันไฟฟ้า 5 V และGND เข้า Module max6675 หน้าจอ lcd โดยที่แรงดัน 5V. เข้าขา Vcc แล้วต่อลง GND ของตัว Arduino ต่อสายสัญญาณของ Module เข้าบอร์ด Arduino โดย Module ตัวที่ 1 นำขา SO ต่อเข้ากับขา 5 นำขา CS ต่อเข้ากับขา 6 และนำขา SCK ต่อเข้ากับขา 7 ตัวที่ 2 นำขา SO ต่อ เข้ากับขา 8 นำขา CS ต่อเข้ากับขา 9 และนำขา SCK ต่อเข้ากับขา 10 และตัวที่ 3 นำขา SO ต่อเข้ากับขา 11 นำ ขาCS ต่อเข้ากับขา 12 และนำขา SCK ต่อเข้ากับขา 13 ส่วนหน้าจอ lcd ทั้ง 3 จอ จะมีขาที่เหมือนกัน นำขา SDA ของแต่ละจอต่อเข้าขา A4 และขา SCL ของแต่ละจอต่อเข้าขา A5 โดยที่ต้องกำลังด้านหลังจอ lcd ให้เชื่อมและ กำหนดการแสดงค่าการเขียนโค้ด ติดตั้ง Library ของ Module max6675 และหน้าจอ lcd ประกาศขาสัญญาณ ของแต่ละ Module ให้ตรงกับที่เราต่อวงจร กำหนดตัวแปรให้แสดงผลออกมาเป็นค่าอุณหภูมิ และหน่วงเวลา ให้ แสดงผลทุกๆ 3 วินาที

หลักการทำงาน โดยที่ฝั่งร้อนจะมี Thermocouple 3 ตัว ตัวที่ 1 นำไปติดตั้งที่ทางเข้าชุดทดลอง ตัวที่ 2 นำไปติดตั้งตรงกลางของชุดทดลอง และตัวที่ 3 นำไปตั้งติดที่ด้านท้ายของชุดทดลอง และฝั่งเย็นนำไปตั้งตั้งที่ตรงกลางของแผงระบายความร้อน จะมีอยู่ทั้งหมด 3 ด้าน เมื่อทำการทดลอง นำโน๊ตบุ๊ค 2 เครื่องอ่านค่าฝั่งเย็นและฝั่งร้อน Thermocouple ทุกตัวจะอ่านค่าผ่าน Module เข้าบอร์ด Arduino เพื่อแปลงสัญญาณให้แสดงค่าผ่าน หน้าจอ โดย Thermocoupleตัวที่ 1 จะแสดงออกหน้า lcd จอที่ 1 ตามที่กำหนด และแสดงออกหน้าจอ Serial Monitor ในโปรแกรม

Arduino IDE 1.8.8 เพื่อเก็บค่า ค่าที่ออกมาจะเป็นค่าอุณหภูมิหน่วย องศาเซลเซียส โดย แสดงค่าทุกๆ 3 วินาที

3.2.3 ภาพการทดสอบจริงบนเครื่องแชสซีไดนาโมมิเตอร์



ภาพที่ 3-21 ภาพการทดสอบจริงบนเครื่องแชสซีไดนาโมมิเตอร์

การทดลองดำเนินการโดยนำรถยนต์ Honda Jazz GK 2019 ระบบเกียร์ CVT ซึ่งติดตั้งชุดเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์บริเวณท่อไอเสีย ขึ้นทดสอบบนเครื่องแชสซีไดนาโมมิเตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วและภาระโหลดตามเงื่อนไขที่กำหนด การทดสอบแบ่งออกเป็น 3 สภาวะ ได้แก่ ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ภาระโหลด 335 นิวตัน, ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ภาระโหลด 385 นิวตัน และความเร็ว 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ภาระโหลด 500 นิวตัน โดยในแต่ละสภาวะทำการเปรียบเทียบผลระหว่างกรณีปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน เพื่อศึกษาผลของการระบายความร้อนที่มีต่อสมรรถนะของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิด้านร้อน(T_H) อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) แรงดันไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (I) โดยทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้งในแต่ละเงื่อนไข แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (P) และคำนวณหาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (η_e)

3.3 การคำนวณประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์หลังจากการเก็บผลการทดลอง

คำนวณหาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า จากสมการ

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

เมื่อ ηe คือ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

η_C คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์

T_C คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (K)

T_H คือ อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (K)

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

โดยที่คุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ Z มีค่าเท่ากับ Z = 2.3 × $10^{-3}K^{-1}$

ส่วนค่า อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์หาได้จาก T_m = 0.5 (T_h + T_c) และประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์หาได้จาก

$$n_c = \frac{T_h - T_c}{T_h}$$

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนเหลือทิ้งบริเวณท่อไอเสียของรถยนต์ โดยใช้ชุดเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ที่ติดตั้งกับรถยนต์ Honda Jazz GK 2019 ระบบส่งกำลัง CVT เพื่อศึกษาความสามารถในการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าภายใต้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน โดยสรุปผลการทดสอบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 335 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

4.2 ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 335 และ 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

4.4 ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

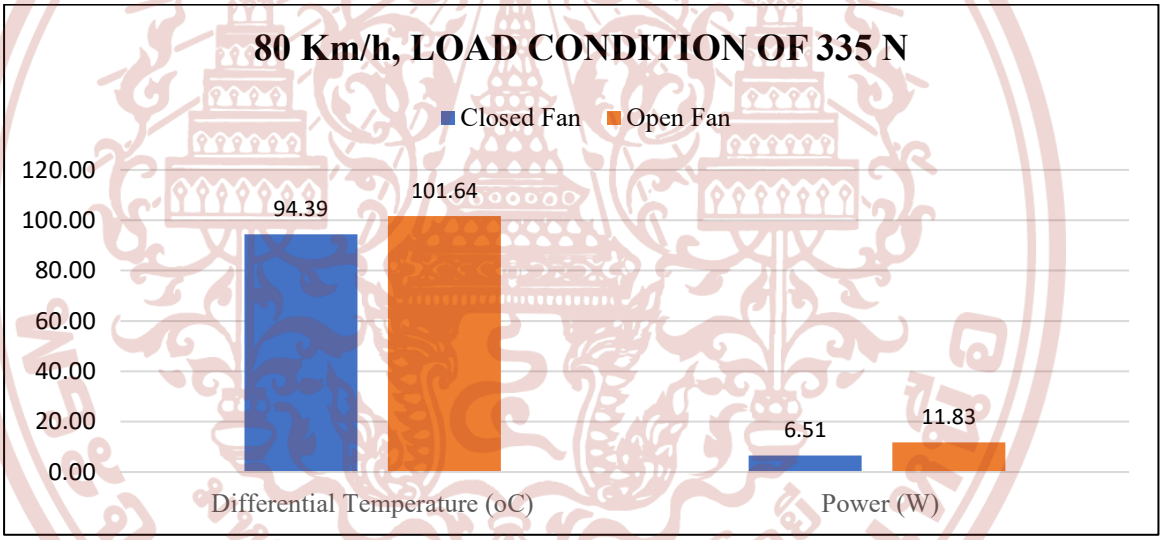
4.5 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

4.1 ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 335 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

จากการทดลองนำชุดทดลองที่ติดตั้งกับรถยนต์ Honda Jazz GK 2019 (CVT) ไปทดสอบที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 335 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) มีผลการทดลองแสดงตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 335 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

Load(N)	Condition	Velocity (Km/h)	Temperature (^{0}C)			Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
			Avg. Hot	Average Cold	Differential			
N/a	Closed fan	80	151.14	56.75	94.39	0.84	7.74	6.51
N/a	Open fan	80	149.54	47.90	101.64	1.14	10.36	11.83



ภาพที่ 4-1 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าจากชุดทดสอบที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 335 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าจากชุดเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ที่ติดตั้งกับรถยนต์ Honda Jazz GK 2019 (CVT) ภายใต้ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และภาระโหลด 335 นิวตัน พบว่า การเปิดพัดลมระบายความร้อนส่งผลให้ระบบสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าสภาวะปิดพัดลมอย่างชัดเจน โดยในสภาวะปิดพัดลม อุณหภูมิด้านร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 151.14 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านเย็นเฉลี่ย 56.75 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 94.39 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ได้กระแสไฟฟ้า 0.84 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 7.74 โวลต์ และกำลังไฟฟ้า 6.51 วัตต์ เมื่อเปิดพัดลมระบายความร้อน อุณหภูมิด้านเย็นลดลงเหลือ 47.90 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 101.64 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กระแส ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 1.14 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 10.36 โวลต์ และกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 11.83 วัตต์ จากผล

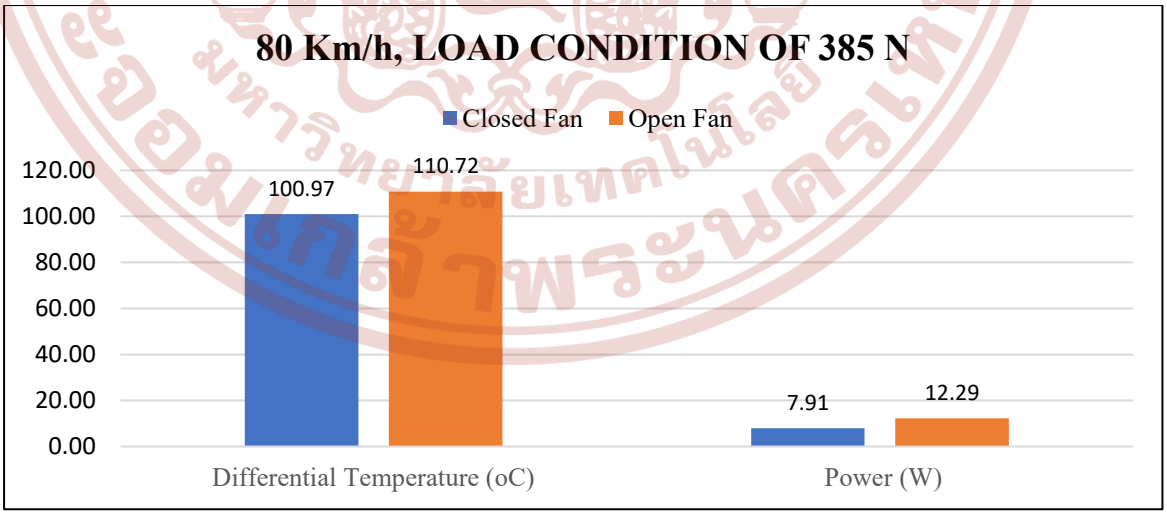
ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การระบายความร้อนด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มค่าความต่างอุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของระบบ

4.2 ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

จากการทดลองนำชุดทดลองที่ติดตั้งกับรถยนต์ Honda Jazz GK 2019 (CVT) ไปทดสอบที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) มีผลการทดลองแสดงตารางที่ 4-2 และภาพที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

Load(N)	Condition	Velocity (Km/h)	Temperature (^{0}C)			Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
			Avg. Hot	Average Cold	Differential			
N/a	Closed fan	80	160.85	59.88	100.97	0.90	8.78	7.91
N/a	Open fan	80	159.30	48.58	110.72	1.14	10.75	12.29



ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าจากชุดทดสอบที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

การทดลองที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภายใต้ภาระโหลด 385 นิวตัน แสดงให้เห็นแนวโน้มของผลการทดลองที่สอดคล้องกับกรณีภาระโหลด 335 นิวตัน กล่าวคือ การเปิดพัดลมระบายความร้อนช่วยลดอุณหภูมิด้านเย็นของระบบ และทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในสภาวะปิดพัดลมอุณหภูมิด้านร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 160.85 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านเย็นเฉลี่ย 59.88 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 100.97 องศาเซลเซียส ทำให้ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 0.90 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 8.78 โวลต์ และกำลังไฟฟ้า 7.91 วัตต์ เมื่อเปิดพัดลมระบายความร้อน อุณหภูมิด้านเย็นลดลงเหลือ 48.58 องศาเซลเซียส และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 110.72 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 12.29 วัตต์ ผลการทดลองในหัวข้อนี้สะท้อนให้เห็นว่า เมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้นจาก 335 นิวตันเป็น 385 นิวตัน ที่ความเร็วรถเท่ากัน ระบบมีแนวโน้มได้รับความร้อนด้านร้อนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม การเปิดพัดลมยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 335 และ 385 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

จากผลการทดลองที่ความเร็วรถเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่มีภาระโหลดแตกต่างกัน คือ 335 และ 385 นิวตัน พบว่า ภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิด้านร้อนและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น โดยในสภาวะปิดพัดลมระบายความร้อน กรณีภาระโหลด 335 นิวตัน มีอุณหภูมิด้านร้อนเฉลี่ย 151.14 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านเย็นเฉลี่ย 56.75 องศาเซลเซียส ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 94.39 องศาเซลเซียส และผลิตกำลัง ไฟฟ้าได้ 6.51 วัตต์ ขณะที่กรณีภาระโหลด 385 นิวตัน มีอุณหภูมิด้านร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 160.85 องศาเซล เซียส อุณหภูมิด้านเย็นเฉลี่ย 59.88 องศาเซลเซียส ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 100.97 องศาเซล เซียส และผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 7.91 วัตต์ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มภาระโหลดจาก 335 นิวตัน เป็น 385 นิวตัน ที่ความเร็วรถยนต์เท่ากัน กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1.40 วัตต์ หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 21.5

ในสภาวะเปิดพัดลมระบายความร้อน ผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยกรณีภาระโหลด 335 นิวตัน มีอุณหภูมิด้านร้อนเฉลี่ย 149.54 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านเย็นเฉลี่ยลดลงเหลือ 47.90 องศาเซลเซียส ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 101.64 องศาเซลเซียส และผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 11.83 วัตต์ ส่วนกรณีภาระโหลด 385 นิวตัน มีอุณหภูมิด้านร้อนเฉลี่ย 159.30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านเย็นเฉลี่ย 48.58 องศาเซลเซียส ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น

110.72 องศาเซลเซียส และผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 12.29 วัตต์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาระโหลด 335 และ 385 นิวตัน ในสภาวะเปิดพัดลม พบว่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 0.46 วัตต์ หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 3.9

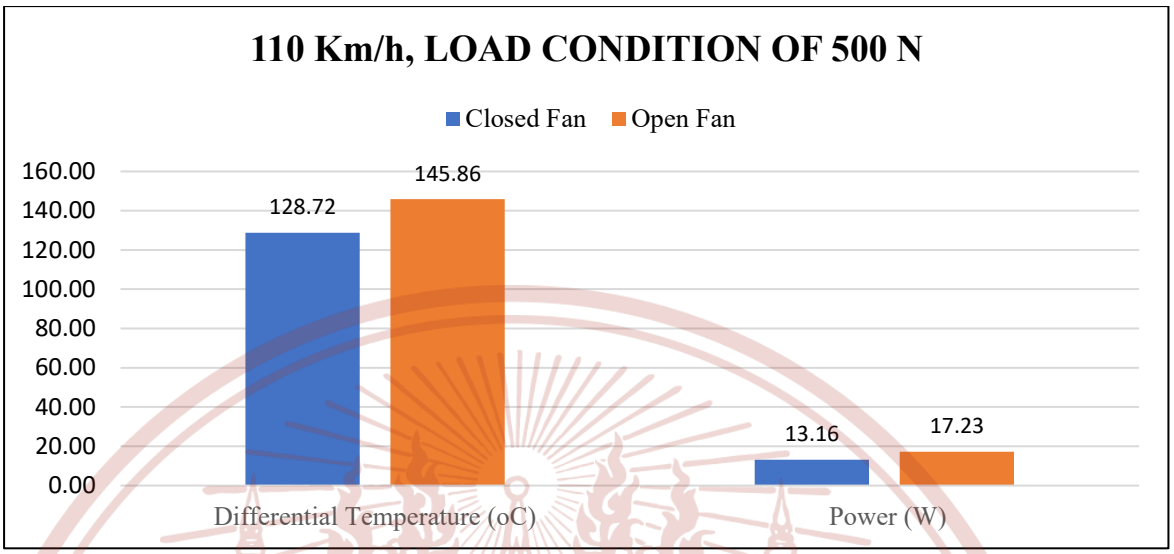
ผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า แม้รถยนต์จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยเท่ากันที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่เมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้น เครื่องยนต์ต้องผลิตกำลังมากขึ้นเพื่อเอาชนะแรงต้านและรักษาความเร็วให้คงที่ ส่งผลให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและพลังงานความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิของไอเสียจะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบและภาระการทำงานของเครื่องยนต์ และโดยทั่วไปอุณหภูมิไอเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วและภาระเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น [37] นอกจากนี้ แหล่งข้อมูลด้านอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ยังระบุว่า อุณหภูมิไอเสียสามารถเพิ่มขึ้นตามภาระเครื่องยนต์ เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องเผาไหม้เชื้อเพลิงมากขึ้นเพื่อให้ได้กำลังตามต้องการ [38]

4.4 ผลการทดลองการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรถเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

จากการทดลองนำชุดทดลองที่ติดตั้งกับรถยนต์ Honda Jazz GK 2019 (CVT) ไปทดสอบที่ความเร็วรถเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน) มีผลการทดลองแสดงตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองที่ความเร็วรถเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

Load(N)	Condition	Velocity (Km/h)	Temperature (^{0}C)			Current (A)	Voltage (V)	Power (W)
			Avg. Hot	Average Cold	Differential			
N/a	Closed fan	110	202.45	73.73	128.72	1.13	11.70	13.16
N/a	Open fan	110	201.85	55.99	145.86	1.38	12.52	17.23



ภาพที่ 4-3 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าจากชุดทดสอบที่ความเร็วรถเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500 นิวตัน (ปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน)

การทดลองที่ความเร็วรถเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และภาระโหลด 500 นิวตัน พบว่าระบบเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าการทดลองที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงอย่างชัดเจน เนื่องจากความเร็วรถและภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิด้านร้อนของระบบสูงขึ้น ทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในสภาวะปิดพัดลม อุณหภูมิด้านร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 202.45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านเย็นเฉลี่ย 73.73 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 128.72 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ได้กระแสไฟฟ้า 1.13 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 11.70 โวลต์ และกำลังไฟฟ้า 13.16 วัตต์ เมื่อเปิดพัดลมระบายความร้อน อุณหภูมิด้านเย็นลดลงเหลือ 55.99 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 145.86 องศาเซลเซียส และส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 17.23 วัตต์ ซึ่งเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของการทดลองครั้งนี้ ผลการทดลองดังกล่าวยืนยันว่า ความเร็วรถ ภาระโหลด และประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้านเย็น เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ โดยเฉพาะเมื่อระบบได้รับพลังงานความร้อนจากไอเสียในระดับสูง การรักษาอุณหภูมิด้านเย็นให้ต่ำจะช่วยเพิ่มค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ และทำให้ระบบสามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น

4.5 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

ตารางที่ 4-4 ตารางประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

Load (N)	Fan	Velocity (Km/h)	Temperature (K)		$Z(K^{-1})$	$T_m(K)$	M	η_C	η_e	%
			Average Hot (T_H)	Average Cold (T_C)						
335	Closed	80	424.29	329.90	0.0023	377.10	1.37	0.22	0.04	3.80
335	Open	80	422.69	321.05	0.0023	371.87	1.36	0.24	0.04	4.10
385	Closed	80	434.00	333.03	0.0023	383.52	1.37	0.23	0.04	4.04
385	Open	110	432.45	321.73	0.0023	377.09	1.37	0.26	0.04	4.45
500	Closed	110	475.60	346.88	0.0023	411.24	1.39	0.27	0.05	5.03
500	Open	1000	475.00	329.14	0.0023	402.07	1.39	0.31	0.06	5.72

จากผลการคำนวณประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ พบว่าประสิทธิภาพของระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น โดยกรณีภาระโหลด 335 นิวตัน ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระบบมีประสิทธิภาพ 3.80 เปอร์เซ็นต์ ในสภาวะปิดพัดลม และเพิ่มขึ้นเป็น 4.10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปิดพัดลมระบายความร้อน ส่วนกรณีภาระโหลด 385 นิวตัน ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจาก 4.04 เปอร์เซ็นต์ เป็น 4.45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการเปิดพัดลมระบายความร้อน สำหรับกรณีภาระโหลด 500 นิวตัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงกว่าทุกเงื่อนไขการทดลอง โดยในสภาวะปิดพัดลมมีประสิทธิภาพ 5.03 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปิดพัดลมระบายความร้อน ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 5.72 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพสูงสุดของการทดลองนี้ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มค่าความต่างอุณหภูมิของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก โดยเฉพาะจากการลดอุณหภูมิด้านเย็นด้วยพัดลมระบายความร้อน มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า โดยสรุป ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์สามารถนำพลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากระบบไอเสียของรถยนต์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้จริง แม้ประสิทธิภาพโดยรวมยังอยู่ในระดับไม่สูงมาก แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นระบบผลิตไฟฟ้าเสริมสำหรับรถยนต์ โดยปัจจัยสำคัญที่ควรให้ความสนใจในการ

พัฒนาต่อไป ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้านร้อน การควบคุมอุณหภูมิด้านเย็น และการออกแบบระบบระบายความร้อนให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานจริงของรถยนต์

บทที่ 5
สรุปผลทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งของท่อไอเสียรถยนต์ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ติดตั้งกับรถยนต์ Honda Jazz GK 2019 ระบบส่งกำลัง CVT และทดสอบภายใต้เงื่อนไขความเร็ว ภาระโหลด และการระบายความร้อนด้านเย็นที่แตกต่างกัน ผลการทดลองสามารถสรุปได้เป็น 3 ประเด็นหลัก ดังนี้

5.1.1 ผลของความเร็วรถยนต์ต่อการผลิตไฟฟ้า

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเร็วรถยนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิไอเสียและอุณหภูมิด้านร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องใช้กำลังมากขึ้นในการขับเคลื่อนรถยนต์ ทำให้เกิดพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้มากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กับ 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าที่ความเร็วสูงกว่า ระบบสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า โดยเฉพาะกรณีความเร็ว 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500 นิวตัน ซึ่งให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 17.23 วัตต์ เมื่อเปิดพัดลมระบายความร้อน แสดงให้เห็นว่าความเร็วรถยนต์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณความร้อนด้านร้อน และส่งผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

5.1.2 ผลของภาระโหลดต่อการผลิตไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาผลของภาระโหลด พบว่าเมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้น ระบบมีแนวโน้มผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้น เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องทำงานหนักขึ้นเพื่อรักษาความเร็วของรถยนต์ให้คงที่ ส่งผลให้ปริมาณความร้อนจากไอเสียเพิ่มขึ้น และทำให้อุณหภูมิด้านร้อนของโมดูลสูงขึ้น จากการทดลองที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อเพิ่มภาระโหลดจาก 335 นิวตัน เป็น 385 นิวตัน พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นทั้งในสภาวะปิดและเปิดพัดลม โดยกรณีโหลด 335 นิวตัน ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 6.51 วัตต์ เมื่อปิดพัดลม และ 11.83 วัตต์ เมื่อเปิดพัดลม ขณะที่กรณีโหลด 385 นิวตัน ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 7.91 วัตต์ เมื่อปิดพัดลม และ 12.29 วัตต์ เมื่อเปิดพัดลม ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบ เนื่องจากทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นเพิ่มขึ้น

5.1.3 ผลของการระบายความร้อนที่ความเร็วเดิม

การเปรียบเทียบระหว่างสภาวะปิดและเปิดพัดลมระบายความร้อน พบว่าการเปิดพัดลมช่วยลดอุณหภูมิด้านเย็นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นเพิ่มขึ้น และทำให้แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

สูงขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และภาระโหลด 335 นิวตัน เมื่อปิดพัดลมระบบมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 94.39 องศาเซลเซียส และผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 6.51 วัตต์ แต่เมื่อเปิดพัดลม ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 101.64 องศาเซลเซียส และกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 11.83 วัตต์ แสดงให้เห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิด้านเย็นเป็นปัจจัยสำคัญต่อสมรรถนะของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

โดยสรุป ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์สามารถนำพลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากท่อไอเสียรถยนต์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้จริง แม้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ยังไม่สูงมากเมื่อเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้าหลักของรถยนต์ แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ชัดเจนว่า ความเร็วรถยนต์ ภาระโหลด และการระบายความร้อนด้านเย็น ล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งจากท่อไอเสียเครื่องยนต์โดยใช้ทีอีจี มีข้อเสนอแนะปัญหาและอุปสรรคในการทำงานดังนี้

5.2.1 ควรพัฒนาระบบแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนให้สามารถรับและถ่ายเทความร้อนจากไอเสียไปยังโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านไปยังด้านร้อนของโมดูลเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเพิ่มค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ การออกแบบแผ่นรับความร้อนหรือฮีตเอกซ์เชนเจอร์ควรคำนึงถึงพื้นที่สัมผัส การนำความร้อนของวัสดุ และการลดการสูญเสียความร้อนระหว่างทาง

5.2.2 ควรปรับปรุงระบบระบายความร้อนด้านเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยอาจเปรียบเทียบระหว่างการใช้พัดลมระบายความร้อน ฮีตซิงก์ขนาดต่าง ๆ ระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว หรือระบบระบายความร้อนแบบผสมผสาน เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิด้านเย็นได้ดีขึ้น ทั้งนี้ควรคำนึงถึงพลังงานที่ใช้ในการระบายความร้อน เพื่อให้ระบบมีพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง

5.2.3 ควรทำการทดสอบระบบภายใต้สภาวะการใช้งานจริงที่หลากหลายมากขึ้น เช่น การขับขี่ในสภาพจราจรหนาแน่น การขับขี่บนทางหลวง การขึ้นทางลาดชัน และการเปลี่ยนแปลงรอบเครื่องยนต์ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้สะท้อนพฤติกรรมการทำงานของระบบในสภาพการใช้งานจริงมากขึ้น รวมถึงควรทดสอบในระยะเวลานานเพื่อประเมินความทนทานของโมดูล การเสื่อมสภาพจากความร้อน และความมั่นคงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

บรรณานุกรม

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “พลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน,” กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 2565.

2.He, W., Zhang, G., Zhang, X., Ji, J., Li, G., & Zhao, X., “Recent development and application of thermoelectric generator and cooler,” Applied Energy, vol. 143, pp. 1–25, 2015.

3. Rowe, D. M., Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano, CRC Press, Boca Raton, 2006.

4. T.J. Seebeck, Magnetic polarization of metals and ores due to temperature difference (Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperaturdifferenz), Ann. Phys. 82 (3) (1821) 253–286, https://doi.org/10.1002/andp.18210820302.

5. P. Alves, A Experiˆencia De Joule Revisitada (Master’s dissertation, Universidade Nova de Lisboa), Universidade Nova de Lisboa, 2008.

6. D.M. Rowe, Thermoelectric power generation, Proc. Inst. Electr. Eng. 125 (11R) (1978) 405–412, https://doi.org/10.1049/piee.1978.0174.

7. E. Altenkirch, Über den Nutzeffekt der Thermos¨aule, Phys. Z. 10 (1909) 560–568.

8. E. Altenkirch, Electrothermische K¨alteerzeugung und reversible elektrische Heizung, Phys. Z. 12 (1911) 920–924.

9. M. Telkes, The efficiency of thermoelectric generators. I, J. Appl. Phys. 18 (12) (1947) 1116–1127, https://doi.org/10.1063/1.1697594.

10. C.R. Russell, Elements of Energy Conversion, Elsevier, 2013.

11. J.D. Hixson, P. Laurens, Design criteria and two-year clinical results of 238 Pu-fueled demand pacemaker, in: 7th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, 1972.

12. J. Myatt, RADIOISOTOPE-FUELLED batteries for heart pacemakers, Atomic Energy Res. Establish. Harwell Eng. (1971).

13. C.B. Vining, ZT ~ 3.5: fifteen years of progress and things to come, in: Proceedings of the 5th European Conference on Thermoelectrics (ECT2007), Odessa House of Scientists, Odessa, Ukraine, 2007.
14. K.F. Hsu, S. Loo, F. Guo, W. Chen, J.S. Dyck, C. Uher, M.G. Kanatzidis, Cubic AgPbmSbTe2+m : bulk thermoelectric materials with high figure of merit, Science 303 (5659) (2004) 818–821, https://doi.org/10.1126/science.1093139.
15. J.P. Heremans, C.M. Thrush, D.T. Morelli, Enhancement of thermoelectric efficiency in PbTe by distortion of the electronic density of states, Science 321 (5888) (2008) 554–557, https://doi.org/10.1126/ science .1159725.
16. Goupil, Christophe; Ouerdane, Henni; Zabrocki, Knud; Seifert, Wolfgang; Hinsche, Nicki F.; Müller, Eckhard (2016). "Thermodynamics and thermoelectricity". In Goupil, Christophe (ed.). Continuum Theory and Modeling of Thermoelectric Elements. New York: Wiley-VCH. pp. 2–3. ISBN 9783527413379.
17. https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2555/mat30355np_ch2.pdf
18. เทอร์โมอิเล็กทริก. https://www.nature.com/subjects/materials-science /, เนื้อหา และทฤษฎีที่สำคัญ
19. https://www.academia.edu/5382088/231-311 Momentum and Heat Transfer (Part 2 Heat Transfer)บทที่ 1 กลไกของการถ่ายเทความร้อน(Mechanism of heat transfer)
20. C. K. Alexander and M. N. O. Sadiku, Fundamentals of Electric Circuits, 6th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2017.
21. วงจรไฟฟ้า (Electrical circuit), https://eurovent.co.th/index.php?route=extension/extension/blog.
22. https://misumitechnical.com/technical/tools/ industrial-heating-solutions-engineering/#.
23. ข้อมูลจำเพาะของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ รุ่น SP1848-27145, https://www.mcucity.com/ product/2200/sp1848-27145-4-8v-669ma-40x40mm-semiconductor-thermoelectric-power-generation-module-2 [สืบค้นวันที่ 19 ธันวาคม 2567]
24. ข้อมูลจำเพาะ เครื่องวัดแรงดัน และกระแสไฟฟ้า LED (Voltmeter Current meter Ammeter Dual Digital Meter) / https://www.ortech-online.com

25. ข้อมูลจำเพาะของ Temperature control rex-c100
https://www.klongthomshoppingmall.com /product /rex-c100-output-ssr/
26. ข้อมูลจำเพาะหน้าจอ LED i2c,
https://www.arduitronics.com/article/57/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99-i2c-lcd
27. ข้อมูลจำเพาะ Arduino UNO R3, https://www.thaieasyelec.com/product/arduino-uno-r3-%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%94%E0%B9%80%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B9%89-100/11000833173000073
29. ข้อมูลจำเพาะ Thermocouple type K, https://www.neonics.co.th/thermometers/thermocouple.html
30. https://th.rs-online.com/web/c/hvac-fans-thermal-management/electronics-heating-cooling-components /heatsinks/
31. https://th.misumiec.com/th/vona2/el_control/E1500000000/E1503000000/E1503010000/ ?CategorySpec=00000041410%3a%3ad
32. ข้อมูลจำเพาะพาวเวอร์ซัพพลาย, https://www.vintechstore.com/product/switching-power-supply-12v-20a-240w/
33. ข้อมูลจำเพาะเครื่องวัดความเร็วลมรุ่น UNI-T UT363,
https://www.okarhaiair.com/product/uni-t-ut363/
34. https://www.cj-metals.com/alloy/stainless-steel/stainless-steel-pipe-tube.html?msclkid=e3252455 a84d13a44a674e4f76e54adf
35. https://www.cerawan.com/16003215/ปลอกหุ้มสายทนความร้อน-600-องศา-c
36. https://lapsol.ke/product/thermal-grease-hm501/
37. Bohm, M., et al. (2022). Exhaust Gas Temperature Pulsations of a Gasoline Engine and Their Stabilization Using a Thermoelectric Generator. Energies.
38. ScienceDirect Topics. (n.d.). Exhaust Temperature — an overview. ScienceDirect.



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริคเจนเนอเรเตอร์

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริคเจนเนอเรเตอร์

ยกตัวอย่างการทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบต่อนาที ความเร็วรถเฉลี่ย 110 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (เปิดพัดลมระบายความร้อน)

จะได้ค่า T_H = 439.58 เคลวิน และ T_C = 325.15 เคลวิน

จากสมการประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์คือ

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

โดยที่

$$M = \sqrt{1+ZT_m} \quad \text{.....(2)}$$

$$Z = 2.3 \times 10^{-3} K^{-1} \quad \text{.....(3)}$$

ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์หาได้จาก

$$T_m = 0.5\,(T_h + T_c)$$
$$= 0.5\,(439.58 + 325.15)\ \text{K}$$
$$T_m = 409.37\ \text{K}$$

ดังนั้น

$$M = \sqrt{1+(0.0023).K^{-1}(409.37).K}$$
$$M = 1.37$$

ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์คือ

$$\eta_c = \frac{T_h - T_c}{T_h}$$
$$\eta_c = \frac{439.58K - 325.15\text{K}}{439.58K}$$
$$\eta_c = 0.26$$

แทนลงในสมการ (1) จะได้ $\eta_e = 0.26 \frac{1.37-1}{1.37+\left(\frac{325.15}{439.58}\right)}$

ดังนั้น $\eta_e = 0.05$ หรือ 5.00 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ข

ตารางข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

ตาราง ข-1 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ Honda Jazz GK ปี 2019 เกียร์อัตโนมัติแบบ CVT

รายการ	ข้อมูลจำเพาะ
ยี่ห้อ / รุ่น	Honda Jazz GK
ปีของรถยนต์	2019
ประเภทรถยนต์	รถยนต์นั่งส่วนบุคคลแบบแฮทช์แบ็ก 5 ประตู
จำนวนที่นั่ง	5 ที่นั่ง
เครื่องยนต์	เครื่องยนต์เบนซิน 4 สูบเรียง 16 วาล์ว SOHC i-VTEC
ปริมาตรกระบอกสูบ	1,497 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ระบบจ่ายเชื้อเพลิง	หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ PGM-FI
กำลังสูงสุด	117 แรงม้า ที่ 6,000 รอบต่อนาที
แรงบิดสูงสุด	146 นิวตันเมตร ที่ 4,700 รอบต่อนาที
ระบบส่งกำลัง	เกียร์อัตโนมัติแบบ CVT
ระบบขับเคลื่อน	ขับเคลื่อนล้อหน้า
เชื้อเพลิงที่ใช้	น้ำมันเบนซิน / แก๊สโซฮอล์
ความจุถังน้ำมัน	ประมาณ 40 ลิตร
ความยาวตัวรถ	ประมาณ 3,989–4,035 มิลลิเมตร
ความกว้างตัวรถ	ประมาณ 1,695 มิลลิเมตร
ความสูงตัวรถ	ประมาณ 1,524–1,525 มิลลิเมตร
ระยะฐานล้อ	ประมาณ 2,530 มิลลิเมตร
ระยะต่ำสุดจากพื้น	ประมาณ 135 มิลลิเมตร
น้ำหนักรถเปล่า	ประมาณ 1,038–1,095 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับรุ่นย่อย
ระบบกันสะเทือนหน้า	แมคเฟอร์สันสตรัท
ระบบกันสะเทือนหลัง	ทอร์ชันบีม
ระบบเบรกหน้า	ดิสก์เบรก
ระบบเบรกหลัง	ดรัมเบรก
ขนาดยาง	ประมาณ 175/65 R15 หรือ 185/55 R16 ขึ้นอยู่กับรุ่นย่อย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายชุมพล ศิริขันธ์แสง

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์เพื่อใช้ในรถยนต์ส่วนบุคคล

สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน

ประวัติ ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ประวัติการทำงาน : หัวหน้างานท่อบริษัทซัมซุง อีแอนด์เอ (ประเทศไทย) จำกัด
1 อาคารเอ็มไพร์ ทาวเวอร์ชั้น 37
ถนนสาธรใต้ แขวงยานาวา เขตสาธร
กทม 10120

เบอร์โทร 0985329892
อีเมล์ Chumpon.sir@gmail.com

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ