

การควบคุมอุณหภูมิของแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะขนาดเล็กด้วย กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุง

Temperature Control of Thermoelectric Generators for Small Incinerators With Modified Fruit Fly Optimization Algorithm (MFOA)

สมประสงค์ ศรีวิชัย¹ รัสมิทัต แผนสมบุญ² และ สุภกิต แก้วดวงตา^{1,*}

¹ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ช้างเผือก เมือง เชียงใหม่ 50300

² ศูนย์เทคโนโลยีเพื่อความมั่นคงของประเทศและการประยุกต์เชิงพาณิชย์, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

แห่งชาติ (สวทช.) คลองหนึ่ง คลองหลวง ปทุมธานี 12120

Somprasong Sriwichai¹, Rassamitut Pansomboon² and Supakit Kawdungta^{1,*}

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna,

Chang Phueak, Mueang Chiang Mai, Chiang Mai, 50300, Thailand

² National Security and Dual-Use Technology Center, National Science and Technology Development Agency,

Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani, 12120, Thailand

*Corresponding Author E-mail: supakitting@rmu.ac.th

Received: Dec 28, 2021; Revised: Mar 02, 2022; Accepted: Apr 22, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการใช้งานแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการแปลงพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากเตาเผาขยะมาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์และใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุงในการควบคุมการระบายความร้อนบนพื้นผิวด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยระบบการแปลงพลังงานนี้ประกอบไปด้วย แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เทอร์โมคัปเปิล ระบบระบายความร้อน ตัวตรวจวัดระดับแรงดัน และไมโครคอนโทรลเลอร์ จากผลการสร้างและทดสอบพบว่ากระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุงสามารถที่จะควบคุมการระบายความร้อนบนพื้นผิวด้านเย็นให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบนพื้นผิวทั้งสองด้านได้สูงสุดและระบบการแปลงพลังงานสามารถที่จะให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่มีแรงดันสูงสุดเท่ากับ 18V กระแสเท่ากับ 0.85A ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิบนพื้นผิวทั้งสองด้านเท่ากับ 128°C และข้อมูลของการแปลงพลังงานนี้จะถูกส่งไปบันทึกบนฐานข้อมูลด้วยการสื่อสารแบบอินเทอร์เน็ทในทุกสรรพสิ่ง

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก, เตาเผาขยะ, กระบวนการหาค่าที่เหมาะสม, กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุง, การสื่อสารแบบอินเทอร์เน็ทในทุกสรรพสิ่ง

Abstract

This paper presents the application of thermoelectric generator (TEG) plates for converting the thermal energy generated by the incinerator into electrical energy for utilization and a modified fruit fly optimization algorithm (MFOA)

is employed to control the cooling system on the cold side of the thermoelectric generator plates. This energy conversion system consists of a thermoelectric generator plate, thermocouple, cooling system, voltage sensor, and microcontroller. From the implementation results, it was found that a modified fruit fly optimization algorithm can be used to control the cooling on the cold side surface to achieve the maximum temperature difference on both surfaces. The energy conversion system can generate electrical energy with a voltage of 18 V, a current of 0.85 A, at a temperature difference on both surfaces of 128°C. Moreover, the data of this energy conversion will be recorded on the database with the internet of things (IoT) communication.

Keywords: Thermoelectric, Incinerators, Optimization Algorithm, Modified Fruit Fly Optimization Algorithm (MFOA), Internet of Things

1. บทนำ

ในปัจจุบันแหล่งพลังงานต่างๆ ก็เป็นองค์ประกอบหลักในการขับเคลื่อนประเทศในด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม การขนส่งคมนาคม สาธารณูปโภคและอุปโภค ด้วยเช่นกัน หนึ่งในพลังงานที่มีการใช้งานจำนวนมากทั้งในภาคอุตสาหกรรม ธุรกิจ และครัวเรือน คือ พลังงานไฟฟ้า ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่มีการใช้งานในปัจจุบันสามารถผลิตได้จากแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิลธรรมชาติ น้ำมัน และถ่านหิน เป็นต้น โดยแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวเกิดจากการทับถม และย่อยสลายทางธรรมชาติที่ใช้ระยะเวลาอันยาวนาน อย่างไรก็ตามในอนาคตอัตราความต้องการใช้พลังงานย่อมมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นและมีความสนใจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากเลือกใช้การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าหลัก อาจก่อให้เกิดการปัญหาขาดแคลนพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าทางธรรมชาติลดลงหรือหมด รวมถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการการผลิตได้จากสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้มีการวิจัยและพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือกอื่น (Alternative Energy) หรือ พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เพื่อทดแทนหรือลดปริมาณการใช้แหล่งพลังงานหลักและเป็นแหล่งพลังงานสะอาด เช่น พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) พลังงานน้ำ (Hydroelectric Energy) พลังงานลม (Wind Energy) พลังงานความร้อน (Thermal Energy) และ พลังชีวมวล (Biomass Energy) เป็นต้น [1],[2] สำหรับแหล่งพลังงานผลิตไฟฟ้าทางเลือกอย่าง

หนึ่งที่น่าสนใจและมีการนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย คือ แผ่นกานิตเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Generator: TEG) โดยอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งลดการสูญเสียพลังงานความร้อนอันเกิดจากกระบวนการต่างๆ ไปอย่างไร้ประโยชน์ เช่น การแปลงพลังงานความร้อนจากท่อไอเสียรถหรือเครื่องยนต์ หรือพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ต่างๆ เป็นพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติการของแผ่นกานิตเทอร์โมอิเล็กทริกกับอุปกรณ์กำเนิดพลังงานแบบอื่นๆ พบว่าแผ่นกานิตเทอร์โมอิเล็กทริกมีอายุการใช้งานยืนยาว ไม่มีส่วนประกอบที่มีการเคลื่อนไหว รวมถึงไม่มีการปล่อยมลพิษที่เป็นอันตรายต่อสถานะแวดล้อม และมีต้นทุนการบำรุงรักษาต่ำ เป็นต้น [3–6] จากคุณสมบัติดังกล่าวได้มีการนำเสนอการศึกษาและการประยุกต์ใช้งานแผ่นกานิตเทอร์โมอิเล็กทริกในบทความทางวิชาการอย่างแพร่หลาย โดยแสดงในหัวข้อที่ 2

บทความวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานแผ่นกานิตเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับเตาเผาขยะเพื่อแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ประโยชน์และทำการศึกษาการควบคุมความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นกานิตเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยการใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุงเพื่อให้ได้ค่ากำลังงานสูงสุด โดยแสดงผลการวิเคราะห์การดำเนินการในหัวข้อที่ 3 ผลการทดสอบในหัวข้อที่ 4 และ สรุปผลในหัวข้อที่ 5 ตามลำดับ

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. บทความวิจัยที่มีมาก่อน

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้งานแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าในเอกสารอ้างอิงที่ [7] ได้มีการนำเสนอการศึกษาประเมินศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งในวัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle) และกังหันก๊าซ (Gas Turbine) ที่มีอยู่ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตของประเทศไทยจากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลออกมาทั้งหมดพบว่าจะสามารถการผลิตไฟฟ้าสุทธิที่สอดคล้องกันได้ประมาณ 100 MWe และได้มีการนำเสนอแบบจำลองสามมิติของแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์ [8] อีกทั้งยังได้มีการรวบรวมข้อมูลการนำแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปใช้งานสำหรับการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ ในเอกสารอ้างอิงที่ [9] ไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งใช้งานภายในขั้วยานพาหนะเพื่อเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นที่ท่อไอเสียเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วนำกลับมาใช้ภายในรถยนต์โดยมีหลายบริษัทที่ได้ทำการทดลองได้แก่ การทดลองนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ของรถบรรทุกได้กำลังงานทั้งหมด 1 kW [10] การติดตั้งในรถยนต์คันแบบรุ่น BMW X6 [11] และการติดตั้งใช้งานบนมอเตอร์ไซค์ [12] เป็นต้น

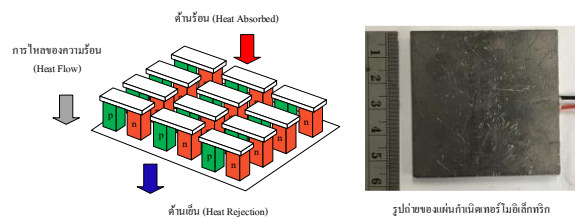
2.2. ทฤษฎีแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริก

แผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกมีลักษณะเป็นอุปกรณ์โซลิดสเตต (Solid State) ที่สามารถให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่ด้านทั้งสองของแผ่นได้โดยตรงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) ถูกค้นพบโดย Thomas Johann Seebeck ในปี ค.ศ. 1822 [13] โดยทั่วไปแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกจะถูกสร้างขึ้นด้วยวัสดุประเภทเทลลูไรียม (Tellurium: Te) บิสมัท (Bismuth: Bi) และ พลวง (Antimony: Sb) เป็นต้น [9] **รูปที่ 1** แสดงถึงแผนภาพและรูปถ่ายของแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบไปด้วยคู่ของสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n ต่อรวมกันโดยจุดเชื่อมต่อด้านบนเรียกว่า ด้านร้อน (Heat Absorbed) ใช้รับความร้อนในกรณี

ปรากฏการณ์ซีเบคและจุดเชื่อมต่อด้านล่างเรียกว่าด้านเย็น (Heat Rejection) ใช้ระบายความร้อนออกในกรณีปรากฏการณ์ซีเบคเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้งสองด้านและมีความคงที่จะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงในรูปของแรงดันและกระแสดังแสดงในสมการที่ (1) [13],[14]

$$V = \alpha \Delta T \quad (1)$$

เมื่อ V คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น V α คือค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมีหน่วยเป็น V/K^{-1} และ ΔT คือความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านทั้งสองของแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกมีหน่วยเป็น K จากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้งสองด้านมากขึ้นก็จะทำให้สามารถเกิดแรงดันเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยแต่อย่างไรก็ตามต้องไม่มากเกินไปกว่าค่าอุณหภูมิสูงสุดที่แผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกจะสามารถรับได้



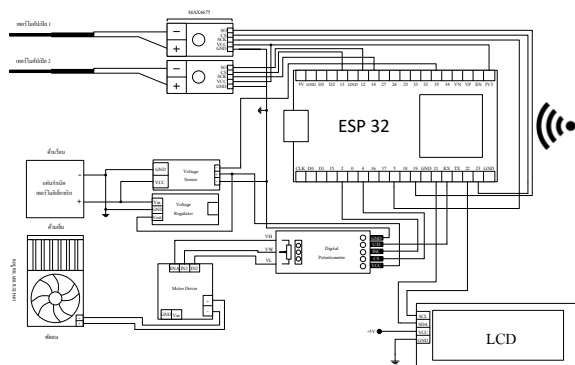
รูปที่ 1 แผนภาพและรูปถ่ายของแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริก

จากหลักการดังกล่าวในการใช้งานแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้ด้วยการนำด้านร้อนของแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกยึดติดกับแหล่งกำเนิดความร้อนและด้านเย็นของแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกยึดติดกับแผ่นระบายความร้อนแล้วระบายความร้อนด้วยพัดลมเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้งสองด้านจะเป็นผลทำให้แผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกเริ่มทำงานและสามารถที่จะสร้างแรงดันและกระแสไฟฟ้าได้แต่อย่างไรก็ตามหากความแตกต่างของอุณหภูมินี้มากเกินไปอาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นกึ่งตัวนำเทอร์โมอิเล็กทริกได้

ในหัวข้อถัดไป นำเสนออุปกรณ์ในการวิจัย การออกแบบระบบการเชื่อมของระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะ และผังการทำงานของระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะ ตามลำดับ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

จากหลักการของแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกในหัวข้อที่ 2 ในบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานกับเตาเผาขยะเพื่อแปลงพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งระบบของแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกที่นำเสนอที่ได้ออกแบบในบทความวิจัยนี้ประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิล วงจรตรวจวัดระดับแรงดัน วงจรควบคุมความเร็วพัดลม จอแสดงผล และไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) โดยแสดงแผนผังการเชื่อมต่อของแต่ละส่วนเพื่อทำงานร่วมกันเป็นระบบของแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปที่ 2 และแสดงผังการทำงานของระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะ



รูปที่ 2 ออกแบบการเชื่อมต่อของระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะ

จากการออกแบบการเชื่อมต่อระบบในรูปที่ 2 และ ผังการทำงานในรูปที่ 3 มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อระดับอุณหภูมิทั้งสองด้านของแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกจะถูกตรวจวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล 2 ตัว และส่งระดับอุณหภูมิไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 พร้อมกันนี้หากระดับของอุณหภูมิทั้งสองด้านมีความแตกต่างกันจนสามารถทำให้แผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกให้กำเนิดระดับ

แรงดันไฟฟ้าได้ระดับแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกส่งไปจัดเก็บที่แบตเตอรี่เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป ในขณะที่เดียวกันระดับแรงดันที่เกิดขึ้นนี้จะถูกตรวจวัดและรายงานผลไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 สามารถรวบรวมข้อมูลได้ทั้งความแตกต่างของอุณหภูมิและระดับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะทำการประมวลผล 2 ส่วน คือ 1. ทำการเชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WiFi) และทำการส่งข้อมูลไปจัดเก็บบนฐานข้อมูล Google Sheet 2. ทำการประมวลผลการควบคุมความเร็วของพัดลมเพื่อระบายความร้อนที่ด้านเย็นเนื่องจากหลักการของปรากฏการณ์ซีเบคของแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกตามสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิของด้านร้อนและด้านเย็นมากขึ้นก็จะทำให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกมากยิ่งขึ้นแต่ในทางปฏิบัติอุณหภูมิด้านร้อนนั้นจะไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่รับเข้ามาและอุณหภูมิของด้านเย็นก็ไม่คงที่เนื่องมาจากอุณหภูมิด้านร้อนที่ถูกส่งผ่านเข้ามาจึงจำเป็นที่จะต้องระบายความร้อนที่แผ่นด้านเย็นตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเพื่อให้ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านคงที่และจะทำให้ได้ค่าแรงดันขาออกสูงที่สุดดังแสดงในสมการที่ (2)

$$V_{max} = \alpha(T_{H,max} - T_{C,min}) \quad (2)$$

เมื่อ V_{max} คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สูงที่สุด $T_{H,max}$ คืออุณหภูมิที่แผ่นด้านร้อน และ $T_{C,min}$ คืออุณหภูมิที่แผ่นด้านเย็น ดังนั้นเมื่อต้องการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่และมากที่สุดจะต้องควบคุมอุณหภูมิด้านเย็นให้ได้ค่าที่ต่ำที่สุดและคงที่มากที่สุดเมื่ออุณหภูมิด้านเย็นสามารถแสดงในสมการที่ (3)

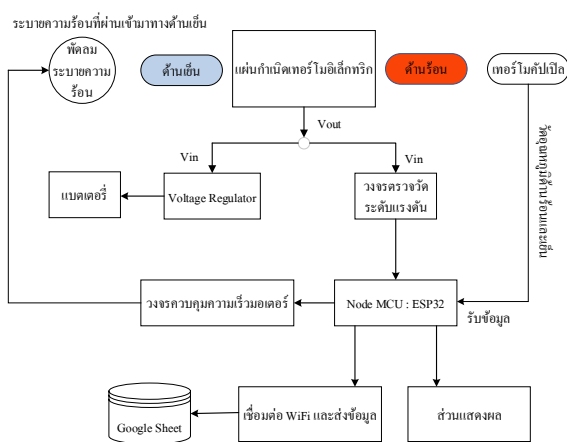
$$T_c = \frac{Q}{hA} \quad (3)$$

เมื่อ Q คืออัตราการถ่ายเทความร้อนมีหน่วยเป็น W h คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีหน่วยเป็น W/m^2-K และ A คือพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนมีหน่วยเป็น m^2 จะเห็น

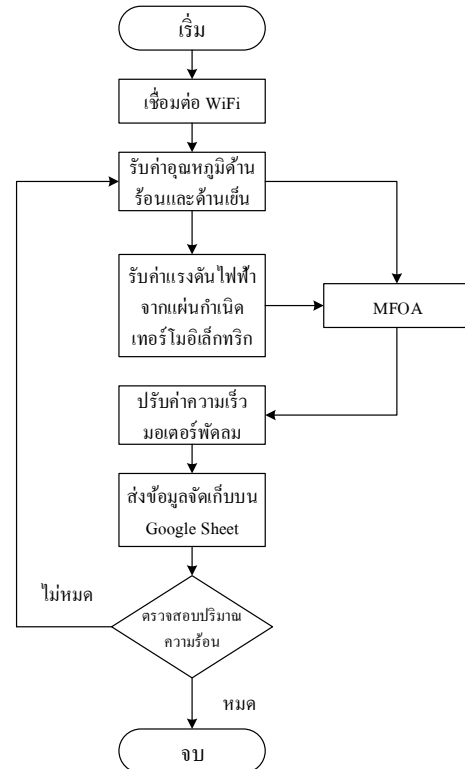
ได้ว่าเมื่อต้องการปรับลดอุณหภูมิที่แผ่นด้านเย็นจะต้องปรับค่าที่ได้จากสมการที่ (3) ให้น้อยที่สุดและต้องปรับเปลี่ยนไปตามค่าเวลาจริง ในงานวิจัยนี้จึงใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหิวปรับปรุง [15] ในการหาค่าที่เหมาะสมดังกล่าวเนื่องจากมีข้อดีคือ เป็นกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบโกลบอล (Global) สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็ว สามารถสร้างได้ง่ายไม่ซับซ้อน [15] โดยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมนี้ได้ถูกกำหนดค่าสมการที่ (2) ฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการให้มีค่ามากที่สุดหรือ $\max(V(x))$ และ h เป็นตัวแปรที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมกำหนดให้เป็นตัวแปร x ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$V(x) = \alpha(T_H - \frac{Q}{xA}) \quad (4)$$

จากนั้นกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมก็จะหาค่าตัวแปร x ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ค่าของฟังก์ชัน $V(x)$ ที่มากที่สุดแล้วนำไปทำการปรับระดับความเร็วของพัดลมเพื่อให้เกิดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุดและจะเป็นผลทำให้ได้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกมากที่สุดเช่นกันซึ่งแผนภาพการทำงานแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งหลักการของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหิวปรับปรุงนี้ได้กล่าวอย่างละเอียดไว้ในเอกสารอ้างอิงที่ [15]



รูปที่ 3 ผังการทำงานของระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะ

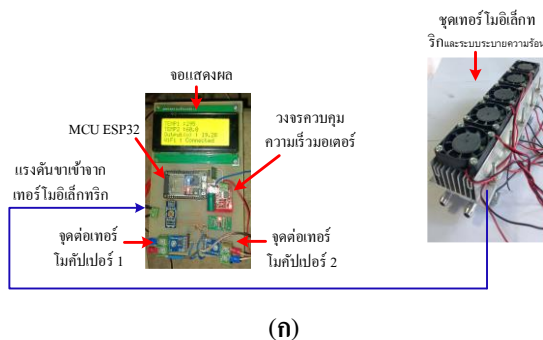


รูปที่ 4 แผนภาพแสดงการทำงานของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหิวปรับปรุงร่วมกับระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะ

4. วิธีการและผลการทดลอง

จากการออกแบบในหัวข้อที่ 3 นั้นได้นำมาทำการสร้างและประกอบวงจรต่างๆ เป็นต้นแบบระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะแสดงในรูปที่ 5 โดยมีการใช้แผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกเบอร์ TEC1-12715 จำนวน 5 แผ่น เชื่อมต่อแบบอนุกรมกัน โดยด้านร้อนของแผ่นถูกนำไปยึดติดกับเตาเผาและด้านเย็นถูกยึดติดกับพัดลมระบายความร้อน เมื่อนำไปทดสอบเพื่อให้กำเนิดแรงดันไฟฟ้าร่วมกับเตาเผาเป็นระยะเวลา 34 นาที พบว่าระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะสามารถให้กำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ แสดงในรูปที่ 6 อย่างไรก็ตามข้อมูลจากรูปที่ 6(ก) พบว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้นั้น ยังสูงไม่เพียงพอและยังคงมีลักษณะที่ไม่เสถียร และเมื่อทำการพิจารณาระดับอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นในรูปที่ 6(ข) เพิ่มเติม พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของด้านร้อนมีลักษณะแกว่งขึ้นลง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณความร้อนที่เผาไหม้ไม่คงที่ในขณะเดียวกัน

พบว่าอุณหภูมิด้านเย็นก็มีลักษณะแกว่งขึ้นลงด้วยเช่นกัน เนื่องจากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ ปรับปรุง พยายามควบคุมความเร็วพัดลมเพื่อระบายความร้อนให้ดีที่สุด แต่การระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศนั้นยังคงให้ผลการลดลงของอุณหภูมิด้านเย็นลดลง ไม่เพียงพอ และทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกไม่เพียงพอ ส่งผลให้ระบบดังกล่าวผลิตแรงดันไฟฟ้าได้น้อย

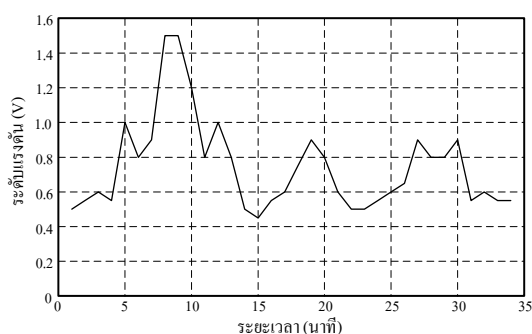


(ก)

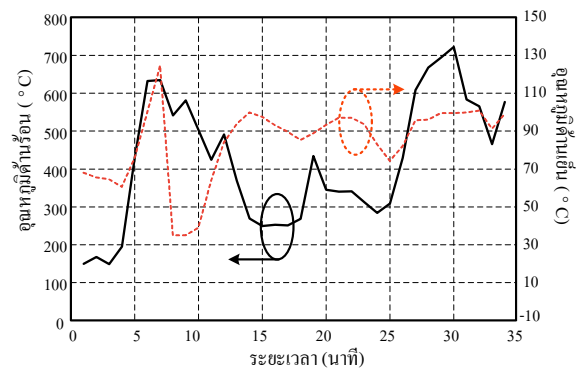


(ข)

รูปที่ 5 ระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผา ขยะต้นแบบและการทดสอบ (ก) การเชื่อมต่อชุดเทอร์โมอิเล็กทริก (ข) การทดสอบชุดเทอร์โมอิเล็กทริกต้นแบบ



(ก)

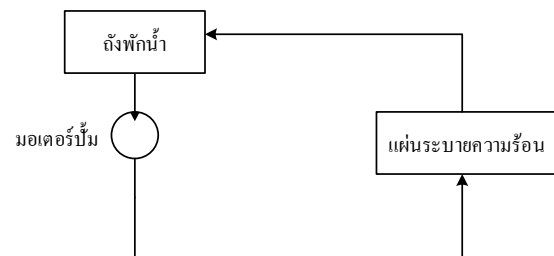


(ข)

รูปที่ 6 ผลการทดสอบของระดับแรงดันไฟฟ้า

กระแสดรของระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะเมื่อใช้การระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศ (ก) การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันต่อเวลา (ข) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้านร้อนและเย็นต่อเวลา

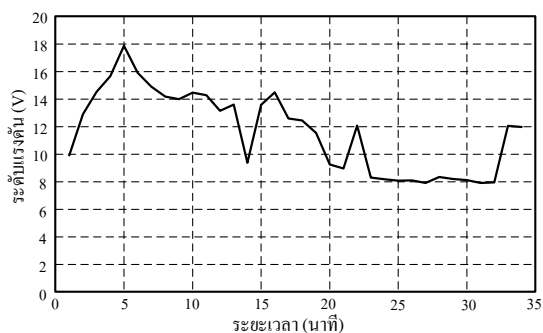
จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงระบบระบายความร้อนด้วยระบบน้ำวนแทนที่พัดลมเดิมที่มีอยู่เพื่อให้เกิดการระบายความร้อนที่ดียิ่งขึ้น รูปที่ 7 แสดงหลักการระบายความร้อนด้วยน้ำวน



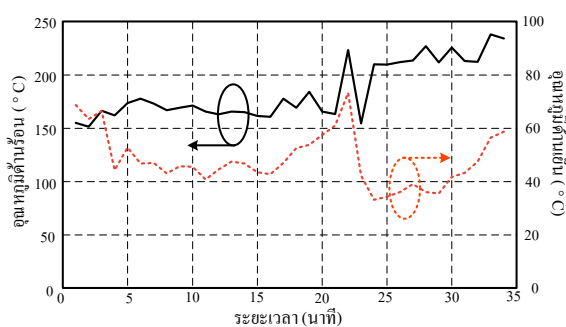
รูปที่ 7 หลักการระบายความร้อนด้วยน้ำวน

เมื่อได้ปรับปรุงระบบระบายความร้อนให้เป็นระบบน้ำวนเพื่อให้เกิดการระบายความร้อนที่ดียิ่งขึ้นแล้วนำไปทดสอบเพื่อให้กำเนิดแรงดันไฟฟ้าร่วมกับเตาเผาเป็นระยะเวลา 34 นาที พบว่าระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะสามารถให้กำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังแสดงในรูปที่ 8 และจากรูปที่ 8(ก) พบว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มีค่าสูงโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 18V และค่าต่ำสุดเท่ากับ 8V ซึ่งมีลักษณะที่เสถียรมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศ จากนั้นมาพิจารณาระดับอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นในรูปที่ 8(ข) พบว่ามีการ

เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของด้านร้อนแกว่งขึ้นลงไม่มาก เป็นผลมาจากปริมาณความร้อนที่เผาไหม้ไม่คงที่และอุณหภูมิด้านเย็นที่แกว่งขึ้นลงเช่นกันแต่ยังคงอยู่ในระดับความแตกต่างอุณหภูมิประมาณ $20\text{--}30^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากการที่กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหิวี่ปรับปรุงพยายามที่จะควบคุมปริมาณน้ำเพื่อระบายความร้อนให้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนระบบระบายความร้อนด้วยระบบน้ำวน พบว่าการระบายความร้อนด้วยระบบน้ำวนสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าพัดลมและให้ผลการลดลงของอุณหภูมิด้านเย็นดีขึ้นทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทั้งสองด้านมากเพียงพอ ส่งผลให้ได้ระดับแรงดันที่ได้มีค่ามากขึ้น อย่างไรก็ตามได้นำข้อมูลที่ตรวจวัดทั้งหมดส่งขึ้นไปจัดเก็บบนฐานข้อมูล Google Sheet เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์และประมาณการประสิทธิภาพแปลงพลังงานไฟฟ้าย้อนหลังได้แสดงดังรูปที่ 9



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 ผลการทดสอบของระดับแรงดันไฟฟ้า

กระแสตรงของระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะเมื่อใช้การระบายความร้อนด้วยระบบน้ำวน (ก) การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันต่อเวลา (ข) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้านร้อนและเย็นต่อเวลา

รูปที่ 9 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลของการแปลงพลังงานนี้ไปบันทึกบนฐานข้อมูล Google Sheet ด้วยการสื่อสารแบบอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งได้

5. สรุป

ต้นแบบระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นในบทความวิจัยนี้ สามารถแปลงพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากเตาเผาขยะมาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ได้และการใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหิวี่ปรับปรุงในการควบคุมการระบายความร้อนบนพื้นผิวด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการทดสอบต้นแบบระบบแผ่นกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเตาเผาขยะพบว่า การระบายความร้อนบนพื้นผิวด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกนั้น มีนัยสำคัญต่อระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นอย่างมาก เมื่อใช้การระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศพบว่าไม่สามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นได้ดี ส่งผลให้ได้ระดับแรงดันไฟฟ้าน้อย โดยระดับแรงดันสูงสุดที่ 1.5 V จากนั้นเมื่อทำการเปลี่ยนระบบระบายความร้อนเป็นระบบน้ำวนพบว่า สามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นได้ดีขึ้นและส่งผลให้ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น โดยสามารถสร้างระดับแรงดันสูงสุดที่ 18 V อีกทั้งข้อมูลของการแปลงพลังงานนี้สามารถส่งไปบันทึกบนฐานข้อมูลด้วยการสื่อสารแบบอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Sastraphichanthavee, "Energy and Environment," *Air Conditioning Engineering Association of Thailand*, No 16, pp. 1–13, 2001.

- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, "Thailand Renewable Energy Report," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, Final Rep., 2014.
- [3] C. Cekdin, Z. Nawawi and M. Faizal, "The Usage of Thermoelectric Generator as a Renewable Energy Source," *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*, vol. 18, no. 4, pp. 2186–2192, 2020, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i4.13072.
- [4] S. LeBlanc, "Thermoelectric Generators: Linking Material Properties and Systems Engineering for Waste Heat Recovery Applications," *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 1–2, pp. 26–35, 2014, doi: 10.1016/j.susmat.2014.11.002.
- [5] T. J. Hendricks, N. K. Karri, T. P. Hogan and C. J. Cauchy, "New Perspectives in Thermoelectric Energy Recovery System Design Optimization," *Journal of Electronic Materials*, vol. 42, pp. 1725–1736, 2013, doi: 10.1007/s11664-012-2406-x.
- [6] I. Johnson, W. T. Choate and A. Davidson, "3.0 Waste Heat Recovery Options and Technologies" in *Waste Heat Recovery. Technology and Opportunities US Industry*, Laurel, MD, USA: BCS, Inc, 2008, ch. 3, sec. 3.4, pp. 25–29.
- [7] P. Yodovard, J. Khedari and J. Hirunlabh, "The Potential of Waste Heat Thermoelectric Power Generation from Diesel Cycle and Gas Turbine Cogeneration Plants," *Energy Sources*, vol. 23, no. 3, pp. 213–224, 2001, doi: 10.1080/00908310151133889.
- [8] X. Ma, G. Shu, H. Tian, H. Yang and T. Chen, "Optimization of Length Ratio Segmented Thermoelectric Generators for Engine's Waste Heat Recovery," *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 583–588, 2019, 10.1016/j.egypro.2019.01.157.
- [9] M. A. Zoui, S. Bentouba, J. G. Stocholm and M. Bourouis, "A Review on Thermoelectric Generators: Progress and Applications," *Energies*, vol. 13, no. 14, pp. 1–32, 2020, 10.3390/en13143606.
- [10] J. C. Bass, N. B. Elsner, F. A. Leavitt, "Performance of the 1 kW Thermoelectric Generator for Diesel Engines," *Proc.the AIP Conference*, Melville, NY, USA, 1994, pp. 295298, doi: 10.1063/1.46818.
- [11] Z. G. Shen, L. L. Tian and X. Liu, "Automotive Exhaust Thermoelectric Generators: Current Status, Challenges and Future Prospects," *Energy Conversion and Management*, vol. 195, pp. 1138–1173, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.05.087.
- [12] A. D. Schlichting, S. R. Anton and D. J. Inman, "Motorcycle Waste Heat Energy Harvesting," in *Proc. the International Symposium on: Smart Structures and Materials & Nondestructive Evaluation and Health Monitoring*, San Diego, CA, USA, 2008, pp. 69300, doi: 10.1117/12.775783.
- [13] R. Aridi, J. Faraj, S. Ali, T. Lemenand and M. Khaled, "Thermoelectric Power Generators: State-of-the-Art, Heat Recovery Method, and Challenges," *Electricity*, vol. 2, no. 3, pp. 359–386, 2021, doi: 10.3390/electricity2030022.
- [14] Rowe D. M., "Thermoelectric Phenomena " in *CRC Handbook of Thermoelectrics*, Washington, D.C.: CRC Press, 1995, ch. 2, sec. 2.3, pp. 1–17.
- [15] N. Mhurdongon, C. Phongcharoenpanich and S. Kawdungta, "Modified Fruit Fly Optimization Algorithm for Analysis of Large Antenna Array," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2015, 2015, Art. no. 124675, doi: 10.1155/2015/124675.