



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาอย่าง

A Feasibility Study on Oven Thermoelectric Power Generator

มติ นรารมย์^{1*} ปวัตวงศ์ บำรุงขันท์²

¹ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ตำบลพังโคน อำเภอฟังโคน จังหวัดสกลนคร 47160

² ภาควิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เขตวัฒนา จังหวัดกรุงเทพฯ 10110

Mati Nararom^{1*} Pawatwong Bamroongkhan²

¹ Division of Electrical Engineering, school of Industry and Technology Rajamangala University of Technology Isan Sakonnakhon Campus, Phang Khon, Sakon Nakhon 47160

² Department of Industrial Education, Faculty of Education, Srinakarinwirot University, Wattana, Bangkok 10110

* Corresponding author.

E-mail: notbento@hotmail.com; Telephone: 08 5207 4129.

บทคัดย่อ

พื้นที่เขตชนบทมีการใช้เตาอย่างกันอย่างแพร่หลาย ทางคณะวิจัยได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดผลิตไฟฟ้า TEG ที่ผนังของเตาอย่าง 1 โมดูล โดยทดลองหาจุดที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนเข้ากับเตาอย่างและด้านเย็นมีการใช้พัดลมระบายความร้อน โดยการบังคับทิศทางลมที่ตัวระบายความร้อน ซึ่งตำแหน่งที่เหมาะสมจะถูกติดตั้งที่ด้านข้างเตาอย่าง จากผลการทดลองอุณหภูมิที่ได้วัดทางด้านเย็นมีค่า 53.2 °C และที่อุณหภูมิด้านร้อนมีค่า 150.9 °C ทั้งนี้ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ 97.7 °C จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ที่ 2.05 W ต่อโมดูลและมีร้อยละของประสิทธิภาพ 2.22 เมื่อนำไปวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนจะให้ระยะเวลาคืนทุน 1.74 ปี ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มาจากเทอร์โมอิเล็กทริกเพียง 1 โมดูลนี้สามารถนำไปจ่ายกำลังให้กับหลอดอินแคนเดสเซนต์ขนาดเล็ก ๆ หรือชาร์จลงแบตเตอรี่ได้

คำสำคัญ

การบังคับทิศทางลม เทอร์โมอิเล็กทริก เตาอย่าง

Abstract

Nowadays, a grill is widely used in the rural areas in Thailand. Therefore, this research studied the feasibility of attaching a Thermoelectric Generator Module (TEG) on a wall of the grill and investigated an optimum temperature for its installation. In this research, the hot side of the TEG was attached on the grill and the cold side had a ventilating fan by controlling the wind direction at the heat sink. The ventilating fan was installed at the suitable position at the side of the grill. The experiment showed that the temperatures of the cold and hot sides were measured at 53.2 °C and 150.9 °C, respectively. The difference of the highest and lowest temperatures was 97.7 °C, which generated power output and

efficiency conversion at 2.05 W and 2.22% per module, respectively. An economic analysis indicated a payback period is 1.74 year. The power output from one TEG module can be supplied to an incandescent light bulb or charged a battery.

Keywords

force circulation; thermoelectric; oven

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้มีการใช้พลังงานมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุก ๆ วัน โดยเฉพาะการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ทั่วโลกมีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้น การผลิตไฟฟ้านั้นล้วนก่อให้เกิดมลพิษทั้งทางอากาศและทางน้ำ ดังนั้นจึงทำให้นักวิจัยทั่วโลกเล็งเห็นความสำคัญของการเกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม จึงได้คิดค้นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เช่น การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ การประยุกต์ใช้ความร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม [1-3] เป็นต้น เทอร์โมอิเล็กทริกนั้นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่กำลังอยู่ในช่วงของการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้า เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นสารกึ่งตัวนำที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เมื่ออุณหภูมิของทั้งสองด้านเกิดความแตกต่าง ดังนั้นจึงนิยมนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยมีการศึกษาการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อรับความร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์ในการผลิตกำลังไฟฟ้า [4-6] เทอร์โมอิเล็กทริกยังถูกนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงการประยุกต์ใช้กับเครื่องปรับอากาศ [7] และยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการทดลองโดยใช้เตาแก๊ส โดยได้ออกแบบการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อรับความร้อนจากแก๊ส ซึ่งการทดลองนั้นได้ทำผนังกันเพื่อรับความร้อนจากเตาแก๊ส ซึ่งมีอุณหภูมิด้านร้อนสูงสุดที่ 130 °C และความแตกต่างอุณหภูมิที่ 65 °C สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 3 W ซึ่งให้ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูปพลังงานที่ร้อยละ 1.31 โดยได้เอาแหล่งพลังงานความร้อนจากผนังที่ปิดกันเชื้อเพลิง [8] และได้มีการพัฒนา

เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อหาจุดที่ให้ค่ากำลังสูงสุดในการอัดประจุลงแบตเตอรี่ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่รับความร้อนจากแหล่งความร้อนที่สูญเสีย โดยใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อหาจุดที่ให้กำลังสูงสุดเพื่ออัดประจุลงแบตเตอรี่ โดยจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถอัดประจุไฟฟ้าได้มากกว่าร้อยละ 15 [9] มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาศึกษาการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับเตาชีวมวล โดยศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผนังเตา โดยผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันที่ 150 °C สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ถึง 24 W และมีประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูปพลังงานที่ร้อยละ 3.2 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผนังของเตาชีวมวล [10] การศึกษาโดยติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกกับเครื่องอบข้าวที่ให้ความร้อนโดยการใช้แก๊ส โดยผลการทดลองนี้มีความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ 60 °C ให้กำลังไฟฟ้าที่ 3.9 W และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานที่ร้อยละ 2.01 [11] เทอร์โมอิเล็กทริกนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเตาอย่างได้ จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเตาอย่างร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อใช้กับแหล่งชนบทในประเทศไทยที่มีการใช้เตาอย่างในการประกอบอาหารในทุก ๆ วัน งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการผลิตไฟฟ้าจากเตาอย่างด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนที่สูญเสียผ่านผนังของเตาอย่าง โดยได้ติดตั้งด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับผนังของเตาอย่างและติดพัดลมระบายอากาศที่ด้านเย็นเพื่อผลิตไฟฟ้า การศึกษานี้ได้ทดลองหาความเป็นไปได้ที่จะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อใช้ในเขตพื้นที่ชุมชน โดยกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกที่ทดลองนี้เพียง 1 โมดูลสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 2 W นั้นเพียงพอสำหรับการนำไปเป็น

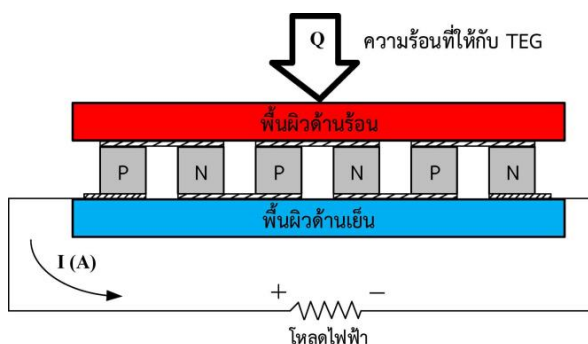
ตัวชาร์จไฟให้กับแบตเตอรี่หรือใช้สำหรับระบบแสงสว่างแบบหลอดอินแคนเดสเซนต์ขนาดเล็กได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เทอร์โมอิเล็กทริกได้ถูกค้นพบโดยการนำขดลวดโลหะ 2 เส้นที่ต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อกัน และเมื่อโลหะทั้งสองชนิดนี้มีอุณหภูมิต่างกันก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะเปลี่ยนแปลงตามผลต่างของอุณหภูมิ หากเปิดปลายด้านใดด้านหนึ่งจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าทางด้านเปิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบคโวลเตจ” [12,13] ดังนั้นได้นำหลักการของความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้งสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกมาผลิตไฟฟ้า โดยความร้อนจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่ให้อิเล็กตรอนไม่สมดุล ซึ่งเป็นการกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการของความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้งสองด้านของสารกึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 1 ซึ่งเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิมากก็จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากเช่นกัน

ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ผลต่างของอุณหภูมิ สามารถคำนวณได้จากสมการเชิงทฤษฎีซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1 [14]

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



รูปที่ 1 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบผลิตไฟฟ้า [12]

โดย M สามารถหาได้จากสมการที่ (2)

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

โดยค่า T_m หาได้จากสมการที่ (3)

$$T_m = 0.5(T_h + T_c) \quad (3)$$

ประสิทธิภาพทางคาร์โนต์หาได้จากสมการที่ (4)

$$\eta_c = \frac{T_h - T_c}{T_h} \quad (4)$$

เมื่อ

η_c คือ ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกในการผลิตไฟฟ้า

η_c คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์

T_c คือ อุณหภูมิทางด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก, K

T_h คือ อุณหภูมิทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก, K

Z คือ คุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีค่าเท่ากับ $2.3 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

T_m คือ ค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น, K

3. วิธีการทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

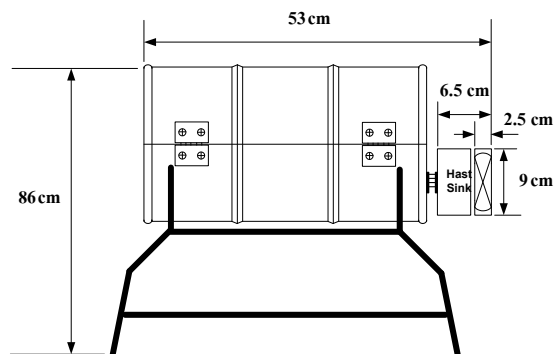
ในการศึกษางานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะระบบการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาอย่างเพื่อนำความร้อนสูญเสียจากเตาอย่างมาใช้ผลิตไฟฟ้า และศึกษาระบบการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก ทำการออกแบบและทดสอบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนสูญเสียโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก การทดลองในครั้งนี้กำหนดให้การถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแบบบังคับ โดยทำการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนจำนวน 1 ตัวไว้ที่ด้านบนครีบบของแผ่นระบายความร้อน กำหนดการถ่ายเทความร้อนด้านร้อนผ่านถึงเตาอย่างเพื่อรับความร้อนจากการถ่ายโอนความร้อนของเตาอย่างโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล ทำการทดลองโดยการก่อไฟที่เตาอย่างและนำถ่านไม้มาใส่ครั้งละ 1 กิโลกรัม จากนั้นวัดค่าและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยวัด

กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขาออก และใช้เครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบดิจิตอลยี่ห้อ EXTECH SDL200 มีย่านการวัดอุณหภูมิ (-100 ถึง 1300 °C) และมีค่าความแม่นยำร้อยละ ± 0.4 เป็นชนิด K เพื่อใช้สำหรับการวัดค่าอุณหภูมิทางด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วบันทึกค่าสำหรับวัดอุณหภูมิแวดล้อม ดังโครงสร้างการทดลองดังรูปที่ 2 โดยการทดลองหาตำแหน่งเหมาะสมของการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกและวิเคราะห์หาค่ากำลังงานที่สามารถผลิตออกมาได้

3.1 การออกแบบการระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกทางด้านเย็น

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์การระบายความร้อนกับเทอร์โมอิเล็กทริกนี้ ได้ทำการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกทางด้านเย็นโดยมีขนาดความยาวของเตาอย่างที่ตั้งตั้งพัดลมที่ 53 เซนติเมตร และความสูงของเตาอย่างรวมขาตั้งที่ 86 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2 และออกแบบโดยการนำเอาตัวระบายความร้อนที่มีขนาด 11 เซนติเมตร $\times$ 4 เซนติเมตร $\times$ 3.2 เซนติเมตร (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ สูง) ลักษณะครีบบีความหนา 0.13 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างครีบบี 0.7 เซนติเมตร มีจำนวน 10 ครีบบี ประกอบเข้ากับฝาครอบขนาดพอดีกับแผ่นระบายความร้อนที่เจาะรูพอเหมาะกับพัดลมระบายความร้อน ด้วยน็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ตารางเซนติเมตร จากนั้น นำพัดลมระบายความร้อน DC 12 V 0.16 A ที่มีขนาด 9 เซนติเมตร $\times$ 9 เซนติเมตร (กว้าง $\times$ ยาว) มาเจาะรูติดเข้ากับฝาครอบ เพื่อใช้สำหรับระบายความร้อนด้านเย็นให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก ดังรูปที่ 3

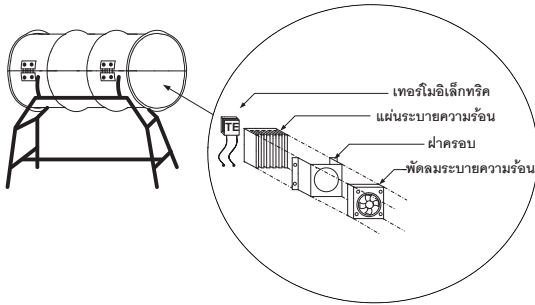
จากการศึกษาถึงเตาอย่างพบว่า ลักษณะถึงเตาอย่างจะเป็นรูปทรงกระบอกทำจากโลหะ จึงทำให้ไม่เหมาะสมกับการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก ดังนั้นจึงใช้ด้านข้างของเตาอย่าง เพื่อติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกให้เหมาะสม พบว่าเมื่อนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประกอบผิวหน้าสัมผัสกับด้านข้างของถึงเตาอย่าง ผลปรากฏว่า ทำให้ไม่เกิดช่องว่างระหว่างผิวหน้าสัมผัสเทอร์โมอิเล็กทริก



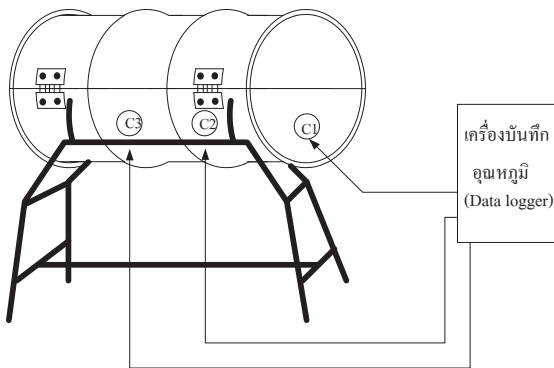
รูปที่ 2 แบบอุปกรณ์แผ่นระบายความร้อนสำหรับระบายความร้อนด้านเย็น

กับด้านข้างของเตาอย่าง โดยรูปแบบจุดที่ประกบแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกใหม่ดังรูปที่ 1 ความหนาของถึงเตาอย่าง 1 มิลลิเมตร การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้ากับเทอร์โมอิเล็กทริกแบบผลิตไฟฟ้า (thermoelectric generator; TEG) เริ่มจากขั้นตอนแรก คือการเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถทนอุณหภูมิของเตาที่ทำการทดลองได้คือชนิด TEHP1-12635-1.2 ที่ผลิตจากวัสดุกึ่งตัวนำ Bismuth Telluride จำนวน 1 โมดูล มีพื้นที่ที่สามารถทนความร้อนได้ 300 °C มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 8.3 V และสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 7.9 W มาประกอบเข้ากับด้านข้างของถึงเตาอย่าง โดยที่ผิวหน้าสัมผัสด้านร้อนประกบเข้าหาด้านข้างของถึงเตาอย่าง ขั้นตอนที่สอง ทำการติดตั้งแผ่นระบายความร้อนโดยที่ผิวหน้าสัมผัสด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกประกบเข้ากับแผ่นระบายความร้อน ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำพัดลมระบายความร้อนติดตั้งเข้ากับแผ่นระบายความร้อน ดังรูปที่ 3

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยความร้อนสูญเสียจากเตาอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้า โดยทำการทดสอบควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยในที่ไม่มีอากาศถ่ายเทได้ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 30.33 °C เวลาในการทดลอง 20 นาที และทำการวัดอุณหภูมิของเตาอย่าง 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 แบบเปิดฝา และกรณีที่ 2 แบบปิดฝา โดยวัดอุณหภูมิ 3 จุดเพื่อศึกษาหา



รูปที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเข้ากับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 4 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

ตำแหน่งของอุณหภูมิที่สูงที่สุดแต่ไม่เกินค่าพิกัดของเทอร์โมอิเล็กทริก จุด C1 ด้านข้างของเตาที่มีระยะห่างจากด้านบนและด้านล่าง 6 เซนติเมตรและ 8 เซนติเมตร และมีระยะห่างจากด้านซ้ายและด้านขวาของขอบเตาเป็นระยะ 13.5 เซนติเมตรและ 13.5 เซนติเมตร จุด C2 ด้านล่างขวาซึ่งห่างจากด้านซ้ายด้านขวาและด้านบนของขอบเตาเป็นระยะ 42 เซนติเมตร 12 เซนติเมตรและ 8 เซนติเมตร และจุด C3 ด้านล่างกึ่งกลางของเตาซึ่งห่างจากด้านซ้าย ด้านขวาและด้านบนของขอบเตาเป็นระยะ 27 เซนติเมตร 27 เซนติเมตรและ 8 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4

4. ผลการวิจัย

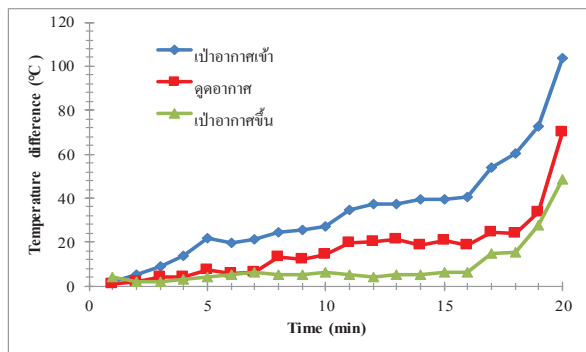
จากการศึกษาการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อรับความร้อนจากเตาอย่างนั้น ได้ทำการศึกษาในหลาย ๆ หัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาการระบายอากาศด้วยความร้อนในแบบต่างๆ

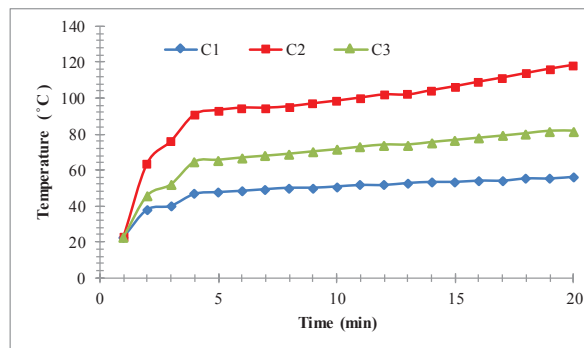
การทดลองนี้ได้ศึกษาการปรับทิศทางลมเพื่อระบายอากาศ โดยการทดลองนี้ได้วัดอุณหภูมิที่มีความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นในช่วง 20 นาทีแรก เนื่องจากหลัง 20 นาทีแรกจะมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จากการทดลองดังรูปที่ 5 ทำให้เห็นว่าในกรณีที่ทำการเป่าพัดลมเข้าตัวระบายอากาศจะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุด โดยสามารถทำให้อุณหภูมิแตกต่างมากที่สุดถึง 101.90°C โดยที่รับความร้อนจากอุณหภูมิด้านร้อนที่ 156°C ในขณะที่ปรับทิศทางการดูดอากาศออกทางด้านนอกนั้น อุณหภูมิจะมีความแตกต่างสูงสุดที่ 69.90°C ส่วนการเป่าอากาศขึ้นด้านข้างนั้นอุณหภูมิจะมีความแตกต่างน้อย โดยจะมีอุณหภูมิแตกต่างสูงสุดเพียง 48.70°C ดังนั้นการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้จึงเลือกทดลองการบังคับทิศทางลมเข้าหาตัวระบายอากาศ

4.2 การทดลองหาอุณหภูมิเพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกของเตาอย่างแบบเปิดฝา

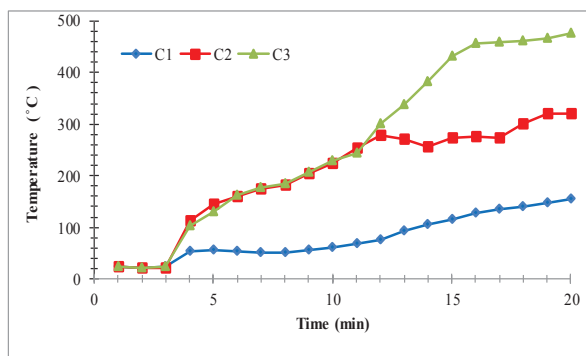
จากรูปที่ 6 พบว่าการทดสอบเตาอย่างกรณีเปิดฝาในการประกอบอาหารโดยใช้เชื้อเพลิงถ่านจำนวน 1 กิโลกรัม เมื่อทำการทดลองและวัดอุณหภูมิบนแผ่นโลหะปรากฏว่า ณ ตำแหน่งที่ C2 และ C3 ยังมีอุณหภูมิสูงมาก โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 320°C และ 475°C ตามลำดับ เนื่องจากในเตาอย่างมีถ่านไม้ติดไฟซึ่งมีอุณหภูมิสูงมากจึงทำให้ความร้อนสูญเสียที่ออกจากเตามีการแผ่รังสีความร้อนไปยังแผ่นโลหะจึงมีอุณหภูมิความร้อนสะสมสูง จะสังเกตได้ว่า ณ ตำแหน่งอื่น ๆ ของแผ่นโลหะนั้นจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เนื่องจากความร้อนสูญเสียที่ถ่ายโอนความร้อนมายังแผ่นโลหะนั้นไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้ความร้อนสะสมบนแผ่นโลหะนั้นมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาตำแหน่งอุณหภูมิที่เหมาะสมบนแผ่นโลหะที่ด้านหลังโดยการประกอบอาหารนั้น คือตำแหน่ง C1 ใน รูปที่ 4 เป็น ตำแหน่ง ที่ เหมาะ สม ที่ สุด



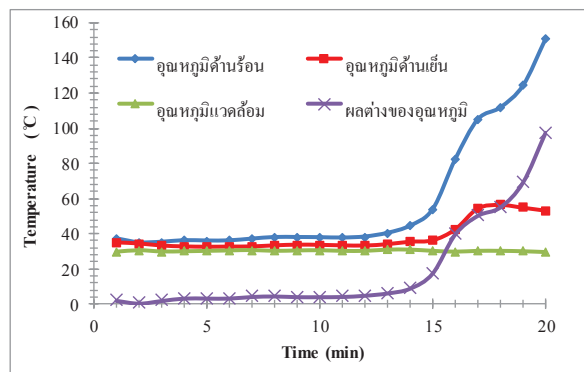
รูปที่ 5 อุณหภูมิที่แตกต่างของการปรับทิศทางไหลของอากาศ



รูปที่ 7 อุณหภูมิของเตาอย่างขณะปิดฝาในแต่ละตำแหน่ง



รูปที่ 6 อุณหภูมิของเตาอย่างแบบเปิดฝาในแต่ละตำแหน่ง



รูปที่ 8 อุณหภูมิที่วัดได้ในตำแหน่งต่าง ๆ

เนื่องจากได้รับอุณหภูมิความร้อนบนแผ่นโลหะที่ได้ไม่เกินค่าที่เทอร์โมอิเล็กทริกจะสามารถรับได้ ดังนั้นจึงออกแบบให้ ณ ตำแหน่ง C1 เป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกในการผลิตกำลังไฟฟ้า ดังนั้นจึงใช้ตำแหน่ง C1 บนแผ่นโลหะในการติดตั้งแผ่นระบายความร้อนและเทอร์โมอิเล็กทริก

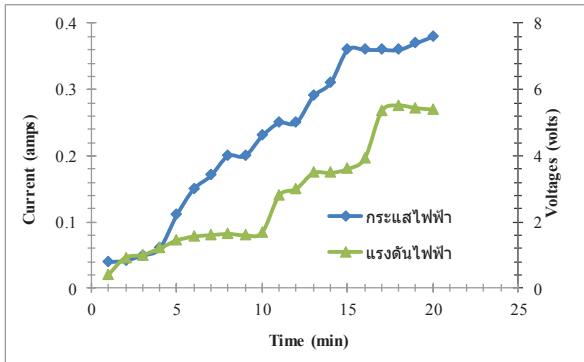
4.3 การทดลองหาอุณหภูมิเพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกของเตาอย่างแบบปิด

การทดสอบเตาอย่างแบบปิดเตาอย่างในการประกอบอาหารโดยใช้เชื้อเพลิงถ่านจำนวน 1 กิโลกรัม การทดลองแสดงให้เห็นอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 จุด ดังรูปที่ 7 เมื่อทำการวัดอุณหภูมิบนแผ่นโลหะที่ด้านหลังปรากฏว่า ณ ตำแหน่งที่ C2 มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 122 °C และมีแนวโน้มว่าอุณหภูมิคงที่หลังจาก 20 นาที และในตำแหน่ง C3 จะมีอุณหภูมิสูงถึง 79 °C และที่ตำแหน่ง C1 มีอุณหภูมิสูงเพียง 54.1 °C เนื่องจากการปิดฝายจะมีออกซิเจนในปริมาณที่น้อยจึงทำให้การเผาไหม้ของถ่านไม่

สมบูรณ์ จึงทำให้อุณหภูมิในแบบเตาปิดนั้นมีความต่ำ และจะสังเกตได้ว่า ณ ตำแหน่งอื่น ๆ ของแผ่นโลหะนั้นจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังนั้นผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาตำแหน่งอุณหภูมิที่เหมาะสมบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นแสดงให้เห็นว่าตำแหน่ง C2 เป็นตำแหน่งที่ให้อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกได้ แต่เนื่องจากผิวบริเวณ C2 นั้นเป็นลักษณะของผิวโค้ง จึงทำให้การออกแบบนั้นทำได้ยาก การทดลองผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจึงเลือกการทดลองแบบเปิดฝา และติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกในตำแหน่ง C1

4.4 อุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยการบังคับทิศทางลมแบบเป่าเข้าตัวระบายความร้อน

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยติดตั้งทางด้านข้างเนื่องจากมีอุณหภูมิไม่เกินพิกัดของเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถทนความร้อนได้ โดยใช้แผ่นระบายความร้อนแบบครี



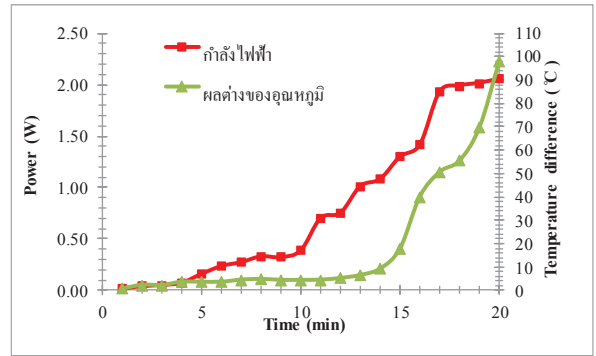
รูปที่ 9 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

ระบายความร้อนโดยใช้พัดลมในการเป่าเข้าเพื่อศึกษาอิทธิพลของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิด้านร้อนและความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งทางด้านร้อนและด้านเย็นที่เกิดขึ้นกับเตาอย่าง

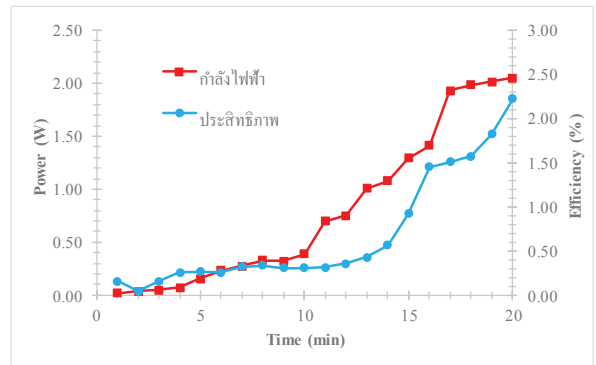
จากรูปที่ 8 เป็นการวัดอุณหภูมิทั้งทางด้านเย็นและทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยทำการทดลองเป็นเวลา 20 นาที โดยการกำหนดทิศทางการระบายอากาศด้านร้อนด้วยการเป่าลมเข้าตัวระบายความร้อน โดยทำการทดสอบที่ห้องที่ปิดมิดชิดมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยที่ 30.33°C อุณหภูมิด้านร้อนจะเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่นาทีที่ 12 โดยอุณหภูมิด้านร้อนจะมีความร้อนสูงสุดประมาณ 150°C ส่วนด้านเย็นนั้นจะมีอุณหภูมิที่ค่อยๆสูงขึ้นจนถึง 50°C อุณหภูมิทั้งหมดนี้สามารถนำไปหาค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพที่ผลิตได้ ณ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดลองนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นหลังการทดลองดังรูปที่ 9 โดยทำการวัดค่าตั้งแต่เริ่มการทดลองโดยให้ความร้อนกับเตาอย่าง แสดงให้เห็นถึงค่าของกระแสไฟฟ้าจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ 0.04 ถึง 0.38 A และในขณะเดียวกันค่าของแรงดันไฟฟ้าก็มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.04 V ไปจนถึง 5.4 V ซึ่งทำให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่มีความแตกต่างที่มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก็จะทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามากตามขึ้นไปด้วยเช่นกัน ซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้ามากจนถึงค่าสูงสุดที่ 2.05 W



รูปที่ 10 กำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง

4.6 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

ผลการทดลองนี้ได้ทำการวิเคราะห์ถึงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 10 แสดงให้เห็นถึงค่ากำลังไฟฟ้าจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยจะมีค่าเพิ่มขึ้น 0.02 W ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ประมาณ 1°C และค่าของกำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีค่าสูงสุดที่ 2.05 W เมื่อได้รับความร้อนที่ 157°C มีผลต่างของอุณหภูมิที่ 97.7°C ซึ่งการทดลองนี้ทำให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกันเกิน 50°C ค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจะไม่สูงขึ้นมากตามที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

4.7 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง

กำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้นั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้ค่า

ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นด้วยดังรูปที่ 11 โดยกำลังไฟฟ้าจะผลิตได้สูงสุดที่ 2.05 W ให้ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกร้อยละ 2.22 ซึ่งเป็นจุดที่ให้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด ซึ่งค่าประสิทธิภาพสูงสุดนี้เป็นค่าที่ได้รับความร้อนที่ 150.9 °C ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ 97.7 °C

4.8 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อหาระยะเวลาคืนทุน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับราคาก้อนไฟฉาย โดยใช้ก้อนไฟฉายขนาด AA ขนาด 1.5 V จำนวน 3 ก้อน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.5 V ต่อเข้ากับโหลดความต้านทาน โดยคิดระยะเวลาคืนทุนจากการลงทุนในการซื้อก้อนไฟฉายขนาด AA ซึ่งถ่านมีราคาก้อนละ 19 บาท รวมราคาเป็น 57 บาท เปิดใช้งานได้เป็นระยะเวลา 9.76 ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็น 5.84 บาท/ชม. โดยพิจารณาอัตราร้อยละของดอกเบี้ย 7.1 โดยหาค่าจากสมการที่ (5) [15]

$$P=B \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (5)$$

โดยที่

P คือ ค่าใช้จ่ายของระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาอย่าง

B คือ ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้

i คือ อัตราร้อยละของดอกเบี้ยคิดที่ 7.1

n คือ ระยะเวลาคืนทุน

จากการวิเคราะห์ราคาการสร้างเครื่องราคา 2500 บาท โดยเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงานของถ่านไฟฉายขนาด AA 1.5 V เมื่อทำการประเมินผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าระยะคืนทุนนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาการใช้งาน เมื่อคิดค่าความร้อนจากผนังเตาที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตไฟฟ้าได้ใน 1 ชั่วโมง จะมีระยะเวลาคืนทุน 1.74 ปี แต่เมื่อใช้ในระยะเวลาที่มากขึ้นจะทำให้ระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้น

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล โดยการติดตั้งที่ด้านข้างของเตานั้น เนื่องจากมีอุณหภูมิและลักษณะของพื้นผิวที่เหมาะสม โดยการปรับทิศทางของพัดลมเข้าหาตัวระบายความร้อน จากการทดลองสามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุดที่ 150.9 °C และมีความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุดอยู่ที่ 97.7 °C โดยสามารถให้กำลังผลิตออกมาได้ที่ 2.05 W และให้ประสิทธิภาพที่ร้อยละ 2.22 ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในแหล่งชนบท โดยกำลังไฟฟ้าที่ได้ 2.22 W นั้น เป็นกำลังไฟฟ้าที่ได้เพียง 1 โมดูล เมื่อนำไปคิดระยะเวลาคืนทุนที่ผลิตกำลังไฟฟ้า 1 ชั่วโมงต่อวัน จะทำให้มีระยะคืนทุนที่ 1.74 ปี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสามารถนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อพัฒนาต่อการใช้ในระบบแสงสว่างและระบบชาร์จไฟฟ้าได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย เทพา อาจารย์ประจำ สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้การแนะนำและสนับสนุนในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด จนผลงานออกมาสำเร็จจุล่งได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Seitz M, Johnson M, Hübner S. Economic impact of latent heat thermal energy storage systems within direct steam generating solar thermal power plants with parabolic troughs. *Energy Conversion and Management*. 2017; 143: 286–294.
- [2] Loh SK. The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy. *Source Energy*

- Conversion and Management*. 2017; 141: 285–298.
- [3] Abbasi SA, Abbasi T, Abbasi T. Impact of wind-energy generation on climate: A rising spectre. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 59: 1591–1598.
- [4] He W, Su Y, Wang YQ, Riffat SB, Ji J. A study on incorporation of thermoelectric modules with evacuated-tube heat-pipe solar collectors. *Renewable Energy*. 2012; 37: 142–149.
- [5] Hsu CT, Huang GY, Chu HS, Yu B, Yao DJ. An effective Seebeck coefficient obtained by experimental results of a thermoelectric generator module. *Applied Energy*. 2011; 88: 5173–5179.
- [6] Sahin AZ, Yilbas BS, Shuja SZ, Momin O. Investigation into topping cycle: Thermal efficiency with and without presence of thermoelectric generator. *Journal of Energy*. 2011; 36: 4048–4054.
- [7] Radion C. Theoretical studies on the efficiency of air conditioner based on permeable thermoelectric converter. *Journal of Applied Thermal Engineering*. 2012; 38(4): 7–13.
- [8] Bamroongkhan P, Lertsatitthanakorn C. Performance Study of a Thermoelectric Generator Incorporated in a Liquid Petroleum Gas Stove. In: *Burapha University International Conference July 3–4*; 2014.
- [9] Eakburanawat J, Boonyaroonate I. Development of a thermoelectric battery-charger with microcontroller-based maximum power point tracking technique. *Applied Energy*. 2006; 83: 687–704.
- [10] Lertsatitthanakorn C. Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator. *Bioresource Technology*. 2007; 98: 1670–1674.
- [11] Lertsatitthanakorn C, Jamradloedluk J, Rungsiyopas M. Study of Combined Rice Husk Gasifier Thermoelectric Generator. *Energy Procedia*. 2014; 52: 159–166.
- [12] ปวิฒวงศ์ บำรุงพันธ์, เจริญพร เลิศสถิตธนกร ทางเลือกในการระบายความร้อนสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก. *วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*. 2559; 29(97): 87–94.
- [13] Elsheikh MH, et al. A review on thermoelectric renewable energy: Principle parameters that affect their performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014; 30: 337–355.
- [14] Miller EW, Hendricks TJ, Peterson RB. Modeling Energy Recovery Using Thermoelectric Conversion Integrated with an Organic Rankine Bottoming Cycle. *Journal of ELECTRONIC MATERIALS*. 2009; 38: 1206–1213.
- [15] Newnan DG. *Engineering Economic Analysis*. Engineering Press Inc: California; 1980.