

# การผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกจากความร้อนทิ้งของเตาปิ้งย่าง

## Thermoelectricity from a grill stove's waste heat

สุรจิตร์ พระเมือง

Surajitr Pramuang

Received: 20 July 2023 ; Revised: 25 September 2023 ; Accepted: 18 October 2023

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้สร้างเตาปิ้งย่างรูปร่างทรงกระบอกผ่าครึ่ง ขนาดกว้าง 46 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร วางบนขาตั้งสูง 90 เซนติเมตร ผนังเตาทำจากเหล็กแผ่น 2 แผ่น ขึ้นรูปโค้งทรงกระบอก ระหว่างแผ่นบุฉนวนกันความร้อนหนา 4.6 เซนติเมตร นำความร้อนจากเตาถ่ายโอนให้กับแผ่นเพลเทียร์ชนิดกึ่งนำไฟฟ้า รหัส SP1848 SA-27145 จำนวน 1 2 4 และ 10 แผ่น โดยมีการต่อแผ่นเพลเทียร์เป็นวงจรรอนุกรมและวงจรรขนาน สำหรับจำนวน 4 และ 10 แผ่น ทำการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ของแต่ละโมดูลจากผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น พบว่า โมดูล 4 แผ่น ที่มีการต่ออนุกรม 2 แผ่นแล้ว นำมาต่อขนานกัน จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.9 วัตต์ เป็นผลมาจากเกรเดียนท์ของอุณหภูมิที่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ส่วนโมดูล 10 แผ่นจะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 10 วัตต์ และได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 4.3 ไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโหลดที่ต้องการปริมาณกระแสไฟฟ้าไม่สูงมากนักได้

**คำสำคัญ:** การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนที่สูญเสีย, เทอร์โมอิเล็กทริก, เตาปิ้งย่าง, การถ่ายโอนความร้อน

### Abstract

This study constructed a charcoal grill stove with the half-cylinder shape (46 cm width, 80 cm length and 90 cm height). The stove was made from 2 iron sheets fabricated into a curving cylinder with 2 layers, the space between the cylinders was stuffed with heat insulation 4.6 cm thick. Electricity was the conductive heat transfer using thermoelectric generator TEG SP1848SA-27145. A number of Peltiers were used for 1, 2, 4 and 10 modules connecting in a series circuit and then a parallel circuit of 4 and 10 modules. Measurements of voltage and current of each module due to its temperature difference between the hot side and cool side were performed. It was found that for the 4-pieces module, that 2 pieces in series and 2 pieces in parallel connection resulted in the maximum power of 0.9 W according to the homogenous temperature gradient, while the 10-pieces module generated the maximum power of 10 W. The average generation efficiency was 4.3% and the electricity obtained in these modules was enough for supplying low current loads demand.

**Keywords:** Electricity from heat wasted, thermoelectric, charcoal grill stove, heat transfer

### บทนำ

เตาปิ้งย่าง มีการใช้งานทั้งในครัวเรือนและการขายอาหาร การนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่จากพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากเตาปิ้งย่าง และเตาหุงแก๊สหุงต้ม ซึ่งเป็นพลังงานเหลือทิ้งกลับมาผลิตไฟฟ้าอาศัยระบบเทอร์โมอิเล็กทริก จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจเพื่อประยุกต์ใช้พลังงานไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้ง

โดยการออกแบบเตาปิ้งย่างและการต่อวงจรไฟฟ้าของแผ่นเพลเทียร์ ให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับโหลดไฟฟ้าให้แสงสว่างหรือพัดลม การนำพลังงานความร้อนเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตต่าง ๆ กลับมาใช้ใหม่ทั้งในรูปแบบการอบแห้งและการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีทั้งระดับอุตสาหกรรมและระดับครัวเรือน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้ง

ดังกล่าว โดยการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่น ทั้งการนำไปใช้เพื่อผลิตความร้อน หรือผลิตความเย็น เมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าไปสู่ระบบเทอร์โมอิเล็กทริก และในทางกลับกันให้ให้ความร้อนและความเย็นคนละด้านของระบบเทอร์โมอิเล็กทริก ก็จะผลิตไฟฟ้าออกมา ที่สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็กได้ โดยเฉพาะการนำไปใช้งานในแหล่งทุกันดารที่ไม่มีไฟฟ้า ปัจจุบันมีการผลิตวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกออกมามากมายหลายขนาดและรูปแบบ รู้จักกันดีในชื่อ แผ่นเพลเทียร์ (Peltier)

การศึกษากระบวนการนำความร้อนที่เหลือทิ้งจากน้ำร้อนในหม้อต้มน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งตามปกติมีการปล่อยน้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียส ออกไปโดยเปล่าประโยชน์ ได้ถูกนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยไพบูลย์ โกวิทย์เจริญกุล (2560) สร้างชุดกำเนิดไฟฟ้าจากแผ่นเพลเทียร์ จำนวน 4 ชุด ๆ ละ 96 ตัว อาศัยน้ำร้อนเหลือทิ้ง ทำงานโดยอาศัยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีน้ำร้อนและน้ำเย็นไหลผ่านแต่ละด้านของแผ่นเพลเทียร์ที่ต่อกันแบบผสม สามารถผลิตไฟฟ้าได้แรงดันไฟฟ้าวจรเปิด 250 โวลต์ กระแสไฟฟ้าวจร 1.2 แอมแปร์ มีการแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าได้เพียงร้อยละ 0.42 เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตจึงพบว่าต้นทุน 2,500 บาท/วัตต์ ซึ่งสูงกว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงชนิดอื่นค่อนข้างมาก การที่จะให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น อาจจำเป็นต้องใช้เทคนิคการป้องกันความร้อนให้กับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกแบบเป็นคาบเวลา ที่พบว่าช่วยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 32.8 - 57.0% เมื่อจากความร้อนเป็นคาบเวลา 100 - 1000 วินาที (ปิยพัชญ์ พานเมือง, 2559) สำหรับพีรวัฒน์ มีสุข (2560) ได้ทำการทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกจากแผ่นเพลเทียร์ TEC1 12706 จำนวน 6 โมดูลต่อกันรวมกัน ที่มีผลต่างของอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส ได้แรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด 11.2 โวลต์ และเมื่อมีโหลดจะได้แรงดันไฟฟ้า 3.1 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 152.6 มิลลิแอมแปร์ กำลังไฟฟ้า 476.1 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งของเตาหุงต้มเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียม (LPG) โดยศุภกิจ บุตรน้ำเพชร (2560) ทดลองกับเตาแก๊สปิคนิค สร้างแผ่นสังกะสีครอบกันลมพร้อมกับติดแผ่นเพลเทียร์ TEHP-1 -12635-1.2 จำนวน 4 โมดูล เป็นระบบผลิตไฟฟ้าใช้พัดลมเป่าแผ่นเพลเทียร์ด้านเย็นด้วยอัตราการไหลของอากาศ 0.0191 - 0.0281 กิโลกรัม/วินาที พร้อมกับติดครีประบายความร้อน ซึ่งมีผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นเฉลี่ย 185 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ไฟฟ้าสูงสุด 11.2 วัตต์ ในการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งของเตาปิ้งย่าง ด้วยแผ่นเพลเทียร์ วิเคราะห์แนวทาง

ในการประยุกต์ใช้ไฟฟ้างกล่าว ตามจำนวนแผ่นและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ สำหรับการใช้งาน ต่อไป

### สมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดประจุลบ (N type) และชนิดประจุบวก (P type) ซึ่งสามารถเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้า และเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นความร้อนได้ ทำจากวัสดุผสมของธาตุหลายชนิด เช่นสารผสมของบิสมัท - เทลลูไรด์ ตะกั่ว - เทลลูไรด์ สังกะสี - ดีบุก และซิลิกอน - แกลเลียม เป็นต้น การสร้างเทอร์โมอิเล็กทริกส์โมดูล จะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดคู่ พี - เอ็น มาต่อกันเป็นเมทริกส์หลาย ๆ อัน เป็นชั้น ๆ เพื่อให้สามารถทำงานได้ในอุณหภูมิที่สูงขึ้น ผลต่างของอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเปลี่ยนไฟฟ้าให้เป็นความร้อน หรือเปลี่ยนความร้อนให้เป็นไฟฟ้า ได้สูงตามไปด้วย โดยทั่วไปแบ่งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ออกเป็น 3 กลุ่มตามอุณหภูมิของการทำงาน ได้แก่ กลุ่มที่ใช้งานในช่วงอุณหภูมิต่ำ จนถึงอุณหภูมิห้องตามสภาพแวดล้อมปกติ ตั้งแต่ 180 - 450 เคลวิน วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เช่น  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{CsBi}_4\text{Te}_6$  เป็นต้น เป็นกลุ่มที่นิยมนำมาใช้งานในด้านต่าง ๆ เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานในสภาพแวดล้อมทั่วไปได้ กลุ่มที่ใช้งานในช่วงอุณหภูมิปานกลางระหว่าง 400 - 800 เคลวิน เหมาะสมกับการใช้งานผลิตไฟฟ้า หรือระบบหล่อเย็นในอุตสาหกรรมที่มีความร้อนเหลือทิ้งอุณหภูมิสูง วัสดุที่นำมาใช้เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เช่น  $\text{PbTe}$ ,  $\text{Pb-Sn-Te}$ , TAGS เป็นต้น และกลุ่มที่ใช้งานในช่วงอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 900 เคลวินขึ้นไป เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า โรงงานเหล็ก หรือผลิตไฟฟ้าในอวกาศ วัสดุที่นำมาใช้เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เช่น  $\text{Si-Ge}$ , เป็นต้น

คุณสมบัติที่บ่งบอกสมรรถนะของการทำงานสำหรับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก จะถูกกำหนดด้วยค่าความสามารถ หรือค่า Figure of Merit (Z) ซึ่งเป็นค่าสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (S) และอุณหภูมิ (T) โดยค่า Z ที่สูง จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสูงขึ้นไปด้วย ดังสมการ (Snyder & Snyder, 2017)

$$ZT = \frac{\sigma S^2 T}{K} = \frac{S^2 T}{\rho K} \quad (1)$$

เมื่อ  $\sigma$  เป็นสภาพนำไฟฟ้า (โอห์ม-เมตร)<sup>-1</sup> K เป็นค่าการนำความร้อน (วัตต์/เมตร-เคลวิน) และ  $\rho$  เป็นสภาพต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม-เมตร) อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตจำหน่าย จะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพี-เอ็น มาจัดเรียงบน

ฉนวนไฟฟ้าที่เป็นเซรามิกส์ แต่ละชั้นจะต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน ทำให้เกิดเป็นรอยต่อแบบโอห์มมิก (Ohmic junction) ที่ผนังด้านร้อนและผนังด้านเย็น มีโครงสร้างภายในดัง Figure 1

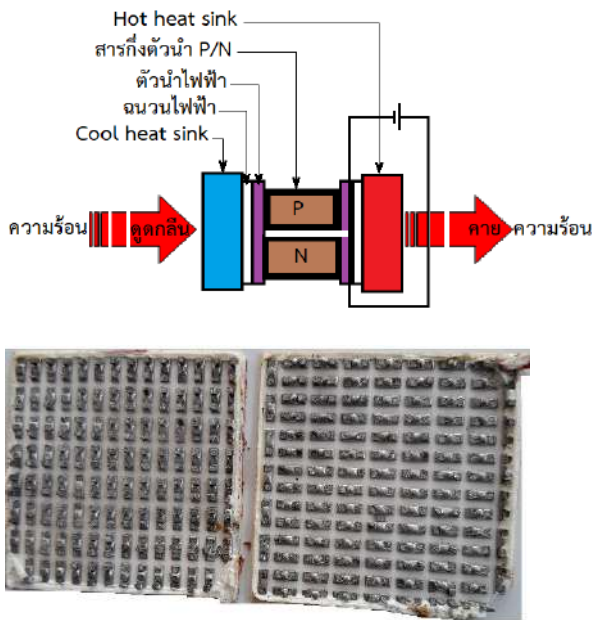


Figure 1 The structure of peltier type Bismuth-Telluride ( $Bi_2Te_3$ )

การผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้า (Thermoelectric generator, TEG) จะเป็นไปตามปรากฏการณ์ซีเบค เมื่อประจุพาหะได้รับพลังงานด้านร้อน ประจุพาหะจะมีพลังงานจลน์สูงกว่าด้านเย็น ความแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อน-เย็น ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลไปในทิศทางเดียวกับการไหลความร้อนจากด้านร้อนไปยังด้านเย็น ปริมาณกระแสไฟฟ้าจะแปรผันตามความแตกต่างของอุณหภูมิ ในทางปฏิบัติจะมีแผ่นระบายความร้อน (Heat sink) ติดไว้ทั้งสองด้านเพื่อให้เกิดการระบายความร้อน เมื่อผลต่างอุณหภูมิลดลง กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรก็จะลดลงในทางทฤษฎี ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลผลิตไฟฟ้า ( $\eta_{TEG}$ ) จะคำนวณได้จากผลต่างของอุณหภูมิและค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Z) ตามสมการ (Snyder & Snyder, 2017)

$$\eta_{TEG} = \frac{T_h - T_c}{T_h} \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + \frac{T_c}{T_h}} \quad (2)$$

เมื่อ  $T_h$  และ  $T_c$  เป็นอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น (เคลวิน) ตามลำดับ  $T$  เป็นอุณหภูมิเฉลี่ย (เคลวิน) การถ่ายโอนความร้อนในเตาปิ้งย่าง

การถ่ายโอนความร้อนของเตาปิ้งย่าง ส่วนใหญ่เกิดขึ้นด้านบน เป็นการพาความร้อน จากไอร้อนที่พุ่งขึ้นจากล่าง ขึ้นบน ร่วมกับการแผ่รังสีความร้อน (Figure 2) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนขึ้นด้านบนจะสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ในการปิ้งย่าง สำหรับการถ่ายโอนด้านข้างและด้านล่าง จะเป็นการนำความร้อนปริมาณความร้อนในการถ่ายโอนด้านข้าง จะแปรผันกับสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำผนัง และความหนาของวัสดุ เป็นความร้อนที่สูญเสียไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ จึงต้องลดปริมาณการนำความร้อนบริเวณด้านข้างและด้านล่าง โดยการใช้อนวนกันความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ หรือใช้วัสดุผนังเตาที่มีความหนามากขึ้น

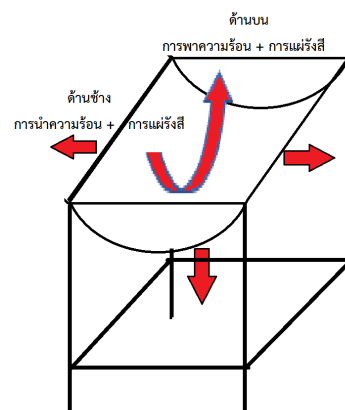


Figure 2 Heat transfer in the grill stove

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้สร้างเตาปิ้งย่าง รูปร่างทรงกระบอกผ่าครึ่ง กว้าง 46 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร ขาตั้งโครงเหล็กสูง 90 เซนติเมตร ผนังเตาทำจากเหล็กแผ่น 2 แผ่น ขึ้นรูปโค้ง แผ่นนอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร แผ่นด้านในเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ระหว่างแผ่นบุฉนวนกันความร้อนหนา 4.6 เซนติเมตร ด้านข้างติดตั้งแผ่นเหล็กขนาดความกว้าง 20 x 20 เซนติเมตร สำหรับวางชุดโมดูลแผ่นเพลเทียร์ (Figure 3)



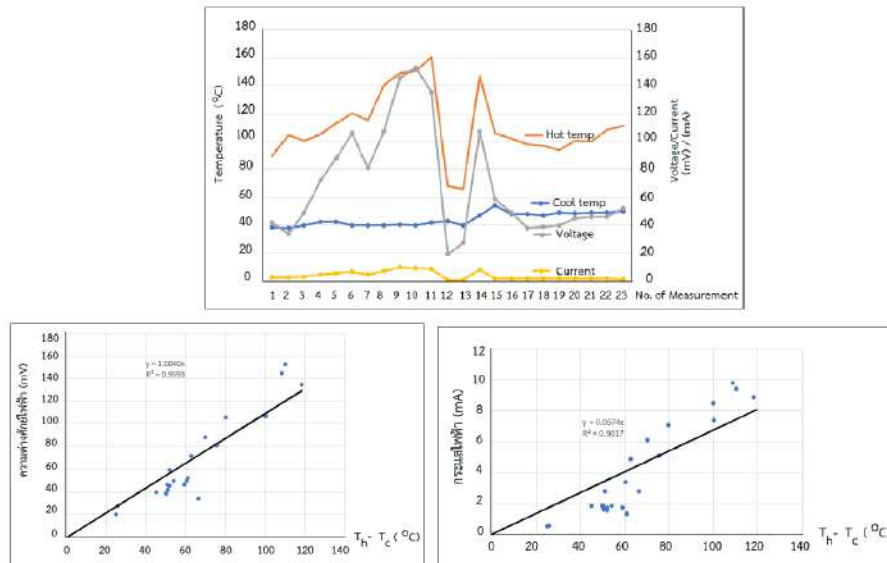
Figure 3 A grill stove constructed

การทดลองผลิตไฟฟ้า โดยติดตั้งแผ่นเพลเทียร์ TEG รหัส SP1848 SA-27145 จำนวน 1 2 4 และ 10 แผ่น บนแผ่นเหล็ก ต่อแผ่นเพลเทียร์แบบอนุกรม และแบบขนานสำหรับชุด 4 (ต่ออนุกรม 2 แผ่นแล้วมาต่อขนานกัน) และ 10 แผ่น (ต่ออนุกรม 5 แผ่นแล้วนำมาต่อขนานกัน) ด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์จะติดแผ่นระบายความร้อน ส่วนด้านร้อนจะติดกับแผ่นเหล็กแล้วประกบติดข้างเตา เมื่อเตาติดไฟอย่างทั่วถึงแล้ว จะวางแผ่นเหล็กที่ติดตั้งชุดแผ่นเพลเทียร์กับผนังเตาปิ้งย่าง (ลูกศรชี้) วัดอุณหภูมิด้านร้อน และด้านเย็น ด้วยเครื่องมือวัด

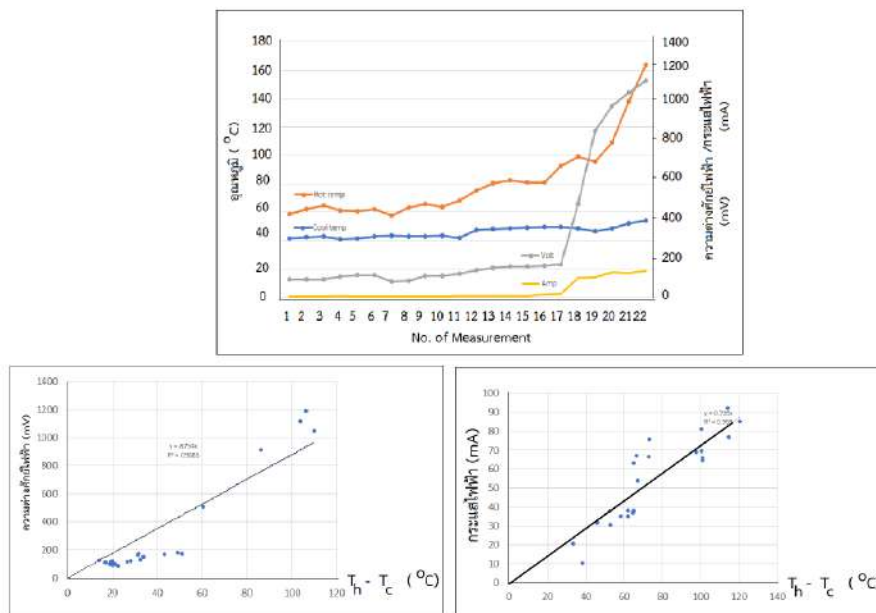
อุณหภูมิแบบเทอร์คัปเปิ้ล และ IR thermometer พร้อมกับวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ด้วยมัลติมิเตอร์

**ผลการวิจัย**

ผลการวัดค่าอุณหภูมิ และปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผ่นเพลเทียร์ เมื่อติดตั้งแผ่นเพลเทียร์ 1 2 4 และ 10 แผ่น ได้ค่าอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น ความต่างศักย์ไฟฟ้า วงจรเปิด และกระแสไฟฟ้าวงจรเปิด วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลต่างอุณหภูมิ กับความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ดังแสดงใน Figure 4 - 7 ตามลำดับ



**Figure 4** Temperature, voltage and current obtained for 1 peltier, and regression analysis of voltage and current due to temperature difference



**Figure 5** Temperature, voltage and current obtained for 2 peltiers, and regression analysis of voltage and current due to temperature difference

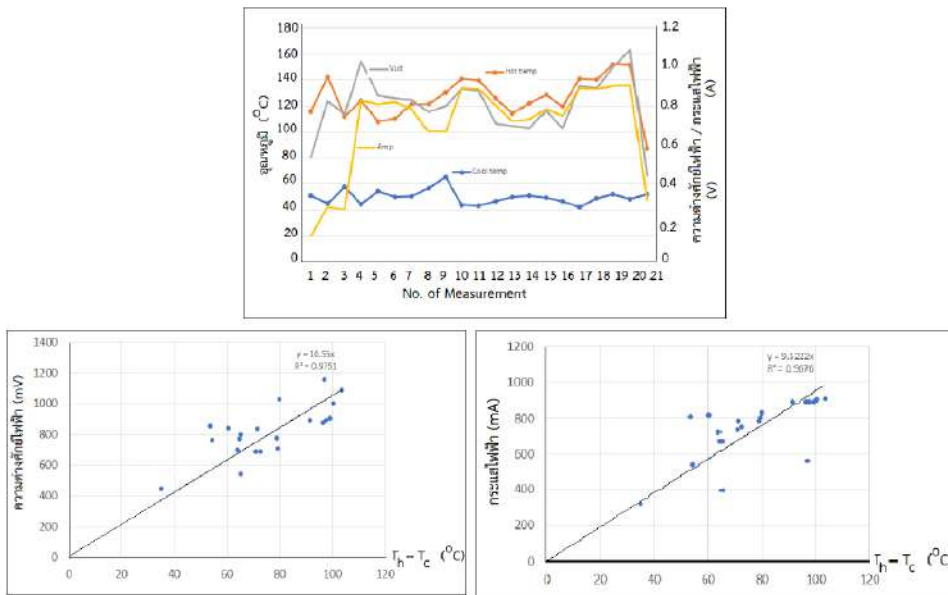


Figure 6 Temperature, voltage and current obtained for 4 peltiers, and regression analysis of voltage and current due to temperature difference

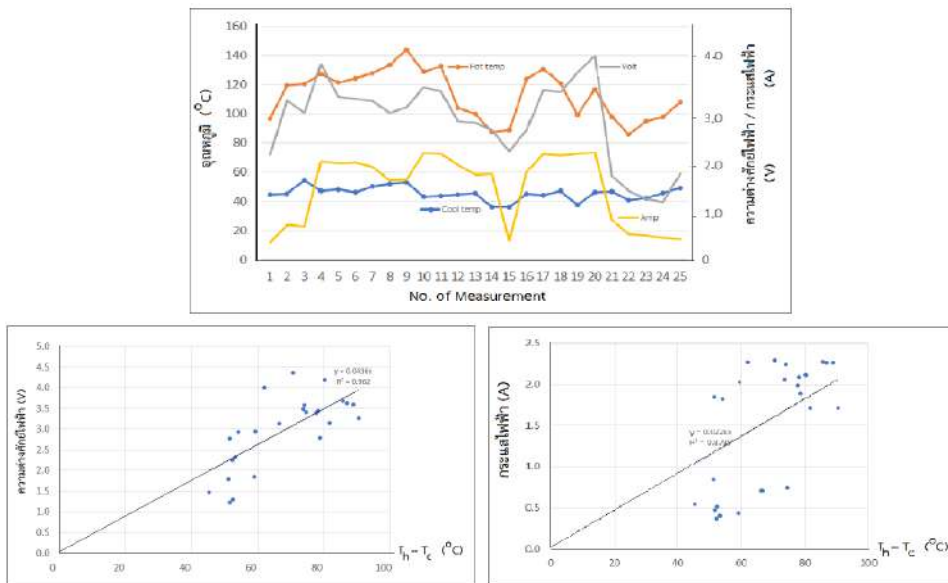


Figure 7 Temperature, voltage and current obtained for 10 peltiers, and regression analysis of voltage and current due to temperature difference

อุณหภูมิต้านเย็นมีค่าระหว่าง 38.1 - 65.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต้านร้อนมีค่าระหว่าง 65.7 - 164.0 องศาเซลเซียส กรณี 1 แผ่นผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 110.3 องศาเซลเซียส จะได้ความต่างศักย์ไฟฟ้า มีค่าระหว่าง 19.7 - 153.0 มิลลิโวลต์ กระแสไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 0.6 - 9.8 มิลลิแอมแปร์ จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 1.5 มิลลิวัตต์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.4 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้เพลเทียร์ 2 แผ่นต่อกันแบบอนุกรม ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 86.6 - 1190.0 มิลลิโวลต์ กระแสไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 3.9 - 144.5 มิลลิแอมแปร์ จะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

172.0 มิลลิวัตต์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 22.7 มิลลิวัตต์ ผลการวัดการผลิตไฟฟ้าจากการต่อแผ่นเพลเทียร์ 4 แผ่นแบบผสม โดยอนุกรม 2 แผ่นแล้วขนาน 2 แผ่น มีผลต่างอุณหภูมิ มีค่าระหว่าง 34.9 - 109.6 องศาเซลเซียส ความต่างศักย์ไฟฟ้า มีค่าระหว่าง 0.4 - 1.0 โวลต์ กระแสไฟฟ้า มีค่าระหว่าง 0.2 - 0.9 แอมแปร์ ได้กำลังไฟระหว่าง 0.1 - 0.9 วัตต์ ที่อุณหภูมิต้านเย็น 48.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต้านร้อน 151.9 องศาเซลเซียส ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.6 วัตต์ ข้อมูลที่ได้จากเพลเทียร์ 10 แผ่นที่ต่ออนุกรม 5 แผ่นแล้วนำมาต่อขนานกัน ความ

ต่างศักย์ไฟฟ้า มีค่าระหว่าง 1.2 - 4.0 โวลต์ กระแสไฟฟ้า มีค่าระหว่าง 0.4 - 2.5 แอมแปร์ ได้กำลังไฟระหว่าง 0.8 - 10.0 วัตต์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 5.0 วัตต์

ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า จะเป็นแบบเชิงเส้น มีค่าความชันของกราฟความต่างศักย์ไฟฟ้า สูงกว่าค่าความชันของกราฟกระแสไฟฟ้า แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ด้านร้อนและด้านเย็นส่งผลต่อความต่างศักย์ไฟฟ้า มากกว่ากระแสไฟฟ้า

ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Z) ของแผ่นเพลเทียร์ วิเคราะห์ได้จากค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในFigure 5 และ 6 มีค่าเท่ากับ  $7.31 \times 10^{-5}$  วัตต์/เคลวิน สูงกว่าค่าจากผู้ผลิตที่มีค่าระหว่าง  $2.5 - 3.0 \times 10^{-5}$  วัตต์/เคลวิน ซึ่งเมื่อกำหนดค่าประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จะได้ผลดัง Table 1

**Table 1** The electricity efficiency of thermoelectric module by peltier modules

Number of Peltier plates	Lowest value (%)	Maximum value (%)	Mean (%)
1	2.57	6.89	4.43
2	2.99	3.62	3.27
4	4.72	6.82	5.82
10	3.62	4.64	4.08

**สรุปผลการวิจัย**

การสร้างเตาปิ้งย่างที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง ใช้ความร้อนทั้งจากการปิ้งย่างไปผลิตไฟฟ้าจากแผ่นเพลเทียร์ชนิดผลิตไฟฟ้า รหัส SP1848 SA-27145 ในโมดูล 1 แผ่น ผลิตไฟฟ้าได้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 153.0 มิลลิโวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 9.8 มิลลิแอมแปร์ ได้กำลังไฟสูงสุด 1.5 มิลลิวัตต์ ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิ 44.8 - 118.4 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ 2 แผ่นต่ออนุกรม ได้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 1190.0 มิลลิโวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 144.5 มิลลิแอมแปร์ ผลิตกำลังไฟสูงสุด 0.2 วัตต์ ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิ 33.5 - 120.4 องศาเซลเซียส กรณี 4 แผ่นต่ออนุกรม แล้วต่อขนาน ได้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 1.0 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 0.9 แอมแปร์ กำลังไฟสูงสุด 0.9 วัตต์ ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิ 34.9 - 103.6 องศาเซลเซียส และกรณี 10 แผ่นต่ออนุกรม 5 แผ่นแล้วขนาน ได้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 4.0 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 2.5 แอมแปร์ และกำลังไฟสูงสุด 10.0 วัตต์ ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิ 45.3 - 90.7 องศาเซลเซียส สำหรับประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทั้งของเตาปิ้งย่าง มีค่าสูงสุดร้อยละ 6.89 ค่าเฉลี่ยร้อยละ 4.3 สรุปได้ว่า ความร้อนทั้งจากเตาปิ้งย่างสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กำลังไฟไม่สูงมากได้ เช่น หลอดแอลอีดี หรือการอัดประจุไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

**อภิปรายผลการวิจัย**

อุณหภูมิของผนังเตาปิ้งย่างเมื่อใช้งาน มีค่าสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส เกินขีดจำกัดของแผ่นเพลเทียร์ชนิดบิสมัท-เทลลูไรด์ ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) มีอุณหภูมิสูงสุดในการทำงานประมาณ 150 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผนังเตาปิ้งย่าง และมีการนำความร้อนภายในแผ่นเพลเทียร์จากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็น การระบายความร้อนทางด้านเย็นออกไปไม่ทัน ทำให้ผลต่างอุณหภูมิมีย่ำแย่ตามอุณหภูมิด้านร้อนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลลดลง ถ้ามีการระบายความร้อนด้านเย็นให้มีอุณหภูมิต่ำตลอดเวลา อาจใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อน หรือการใช้พัดลมช่วยระบายความร้อน จะช่วยรักษาเสถียรภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล มีอุณหภูมิสูงกว่ามาก ทำให้แผ่นเพลเทียร์เกิดการชำรุดได้ง่าย จำเป็นต้องออกแบบจุดติดตั้งแผ่นเพลเทียร์ให้มีช่องว่างกับผนังเตาในระยที่ที่เหมาะสม หรือการหาจุดที่มีอุณหภูมิเหมาะสม ในการติดตั้งแผ่นเพลเทียร์ เพื่อให้ผลต่างอุณหภูมิเหมาะสมกับชนิดของแผ่นเพลเทียร์ที่ใช้ (มติ นรารมย์ และปวีตวงศ์ บำรุงพันธ์, 2561) วิธีการเลือกชนิดเพลเทียร์กลุ่มอุณหภูมิปานกลางตามการศึกษาของ สุรัชชัย เหมหิรัญ และ ดิฐภัทร ต้นประดิฐ (2560) ที่ได้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกกลุ่มอุณหภูมิปานกลางเป็นระบบผลิตไฟฟ้า TGU ในเตาแก๊สหุงต้ม ทำให้การผลิตไฟฟ้าได้เสถียรภาพ เช่นเดียวกันกับ ชัยพล เฟ่งพิศ (2556) ที่ได้ใช้แผ่นเพลเทียร์รุ่น CR1 12706 ที่ทำงานได้ในอุณหภูมิสูงทำให้ผลิตไฟฟ้าได้เสถียรมากกว่าแบบบิสมัท - เทลลูไรด์

การลุกไหม้ของถ่านในเตาไม่เท่ากัน การกระจายความร้อนบริเวณผนังเตา จึงไม่สม่ำเสมอ หรือค่าเกรเดียนท์อุณหภูมิขณะใด ๆ มีค่าไม่คงตัว ส่งผลให้แผ่นเพลเทียร์แต่ละแผ่นได้รับความร้อนไม่เท่ากัน โดยเฉพาะกรณีที่จำนวนแผ่นเพลเทียร์ 10 แผ่น ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลง คล้ายกับการศึกษาของ Minghui, et al., (2022) ที่พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากจำนวนโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกแตกต่างกัน มีการลดลงของความต่างศักย์ไฟฟ้า เกิดขึ้นเมื่อการกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอและกระแสไฟฟ้ายังไม่เสถียร ส่งผลต่อการทำงานของโหลดไฟฟ้า ในการศึกษาของคณิศร บุญรัตน์ และคณะ (2563) แก้ปัญหานี้ด้วยการเพิ่มวงจรไฟฟ้าทาบระดับแรงดันให้สูงขึ้น เพื่อควบคุมให้การจ่ายไฟฟ้าไปยังโหลดมีค่าสม่ำเสมอกรณีใช้เพลเทียร์ 10 แผ่น อาจต่ออนุกรม 2 แผ่น แล้วนำมาต่อวงจรขนาน 5 คู่ จะช่วยให้จ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาขาวิชาฟิสิกส์ที่สนับสนุนเครื่องมือวัดข้อมูลวิจัย และอุปกรณ์ในการวิจัย จนสำเร็จลุล่วง มา ณ โอกาสนี้เป็นอย่างสูง

### เอกสารอ้างอิง

- คณิศร บุญรัตน์ จันทรจิรา เจือกวัน และกิตติศักดิ์ ทวีสิน โสภกา. (2563). การเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากเตาแก๊สหุงต้มด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก. คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- ชัยพล เฟงพิศ. (2556) การประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกในการกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนที่สูญเสียจากกบดักไอน้ำ. [วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง]. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปิยพัฒน์ พานเมือง. (2559). เทคนิคการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยเทคนิคการจ่ายความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง. [วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม]. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ไปบลูย์ ไกวิทเจริญกุล. (2550). การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนเหลือทิ้งด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก [วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มดี นรารมย์ และปวีตวงศ์ บำรุงพันธ์. (2561). การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาถ่าน. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ มอ.บ.,* 11(2), 100 - 108.

ศุภกิจ บุตรน้ำเพชร. (2560). การพัฒนาระบบถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาหุงต้มแก๊สบีโตรเลียมเหลว [วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา]. มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.

สุรัชย์ เหมหิรัญ และ ดิฐภัทร ต้นประดิษฐ์. (2560). การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนสูญเสียของเตาแก๊สด้วยชุดกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก. *วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ,* 12(1), 92 -101.

Minghui, Ge., Zhenhua, Li., Yuntong, Zhao., Zhiwei, Xuan., Yanzhe, Li. and Yulong, Zhao. (2022). Experimental study of thermoelectric generator with different numbers of modules for waste heat recovery. *Applied Energy,* 322, (15), 119523.

Snyder, G. J. & Snyder, A. H. (2017). Figure of merit ZT of a thermoelectric device defined from materials properties. *Energy & Environmental Science,* 10 (11), 2280-2283.