

การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากเครื่องปรับอากาศ

Electrical energy generation by thermoelectric from an air conditioner

สรายุทธ ทองกุลภักตร์^{1*} และ พัชรนันท์ ศรีธนาอุทัยกร¹

Sarayoot Thongkullaphat^{1*} and Patcharanan Sritanauthaikorn¹

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนและความเย็นจากเครื่องปรับอากาศเป็นพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากการศึกษาอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งมีอุณหภูมิความเย็นที่ได้จากน้ำทิ้งที่ไหลจากด้านทำความเย็นมีอุณหภูมิประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ได้จากทางด้านร้อนของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากคอมเพรสเซอร์ประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิทั้งสองที่ได้มีความแตกต่างกันสามารถนำมาศึกษาวิจัยการเปลี่ยนรูปพลังงานของอุณหภูมิทั้งสองด้านแปลงผันเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก จากผลการทดสอบโดยการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 10 ชุด ต่อบางรูปแบบผสมสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้ 44.16 วัตต์ชั่วโมง

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริก

Abstract

This paper proposed a thermoelectric to generate an electrical energy from the different temperature between hot and cool sides of an air conditioner. A split type air conditioner, the temperature of drained water was 20 - 25°C and the temperature of the hot side of the air conditioner, the compressor, was 50 - 70°C. The temperature differed from these two sources which was enough to produce the electrical energy. Thus, a study of energy conversion from different temperature to electric energy by the thermoelectric was considered. The experimental system was 10 sets of thermoelectric that were compounded connection. They produced 44.16 watts-hour of electric power.

Keyword: thermoelectric

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นนทบุรี 11000

¹ Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi 11000

* Corresponding author. E-mail: sarayoot.t@rmutsb.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนพลังงานเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งของประเทศ ในขณะที่ความต้องการพลังงานกลับเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า เพื่อความมั่นคงด้านการจัดหาพลังงานจึงจำเป็นต้องหาพลังงานทางเลือกอื่นมาทดแทนหรือการประหยัดพลังงาน และจากการศึกษาสภาพอากาศของประเทศไทยและทั่วโลกมีแนวโน้มอุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีผลทำให้มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศให้มีอุณหภูมิต่ำลงตามความต้องการ โดยเฉพาะสำนักงาน ร้านค้า หรือ บ้านพักอาศัย ที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กชนิดแยกส่วนเป็นจำนวนมาก ซึ่งเครื่องปรับอากาศมีคุณลักษณะการทำงานคืออัดน้ำยาสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวเพื่อดูดซับอุณหภูมิสูงภายในห้อง สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอและจะถูกอัดผ่านเข้าชุดความแน่นเพื่อระบายความร้อนออกนอกห้องด้วยคอนเดนเซอร์เพื่อปล่อยสู่บรรยากาศภายนอก โดยอากาศนี้มีอุณหภูมิสูงทำให้โลกร้อนขึ้นและน้ำทิ้งของเครื่องปรับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์แต่อย่างใด อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิด คือสาร *n-type* และสาร *p-type* ต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้าซึ่งกระบวนการทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกต้องอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านที่มีความเย็นอยู่ด้านหนึ่งและความร้อนอยู่อีกด้านหนึ่ง มีผลทำให้เกิดความต่างศักย์ชั่วทั้งของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยอาศัยปรากฏการณ์ Seebeck effect จากปรากฏการณ์นี้มีนักวิจัยได้พัฒนาเพื่อนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าหลายรูปแบบ เช่น

Ning et al. (2014) ได้นำเสนอการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยด้านรับความร้อนจากแสงอาทิตย์และอีกด้านเป็นบรรยากาศปกติของพื้นที่อยู่อีกด้านหนึ่งในการผลิตกำลังไฟฟ้าโดยมีผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้าน 40 องศาเซลเซียส ได้ผลของแรงดันไฟฟ้า 3.9 โวลต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาผลต่างของอุณหภูมิที่ได้จากน้ำทิ้งด้านเย็นของเครื่องปรับอากาศวัดอุณหภูมิได้ประมาณ 25-27 องศาเซลเซียสและวัดอุณหภูมิที่ได้จากคอมเพรสเซอร์ประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส มาทดสอบใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทดแทนหรือการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศได้ต่อไป

วิธีการศึกษา

ศึกษาคุณลักษณะอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนด้านเย็น และประกอบวงจรชุดเทอร์โมอิเล็กทริก 10 แผ่น มาต่อลงแผงตัวนำเป็นวงจรเพื่อทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยมีการต่อ 3 แบบ คือ วงจรที่ 1 ต่ออนุกรมกันทั้ง 10 แผ่น วงจรที่ 2 ต่อขนานกันทั้ง 10 แผ่น วงจรที่ 3 ต่ออนุกรมกัน 5 แผ่น เป็น 2 วงจร แล้วนำมาต่อขนานเป็นวงจรเดียวกัน จะได้วงจรการต่อเทอร์โมอิเล็กทริกทั้งหมด 3 แบบ จากนั้นนำชุดวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกมาประกอบเข้ากับคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศด้านร้อนซึ่งวัดค่าอุณหภูมิได้ประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส และอีกด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็กทริกต่อประกอบเข้ากับถังน้ำเย็นที่ได้จากน้ำทิ้งด้านเย็นของเครื่องปรับอากาศวัดอุณหภูมิได้ประมาณ

25-27 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดสอบใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าทำการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการต่อเทอร์โมอิเล็กทริกทั้งสามแบบ แล้ววัดค่ากำลังไฟฟ้าและคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ต่อชั่วโมง

หลักการพื้นฐาน

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric effect) เป็นการเปลี่ยนรูประหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเริ่มต้นขึ้น โดย Seebeck (1821) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันค้นพบว่าเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณรอยต่อของตัวนำ (conductor) สองชนิดจะเกิดแรงดันไฟฟ้าและเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นภายในตัวนำเมื่อเป็นวงจรปิด ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค (seebeck effect) และเมื่อนำตัวนำสองชนิดมาต่อกันแล้วทำการจ่ายกระแสให้ไหลผ่านตัวนำที่รอยต่อระหว่างตัวนำทั้งสองจะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเกิดขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์เพลทียี (Peltier effect) ดังนั้นเทอร์โมอิเล็กทริกจึงเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่สามารถสร้างความเย็นและความร้อนได้จากปรากฏการณ์ Seebeck ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น หลักการทำงานของอุปกรณ์มีดังนี้ เมื่อให้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC current) ไหลผ่านสารกึ่งตัวนำสองชนิด (ชนิด n และ p) ที่อยู่ภายในอุปกรณ์ ด้านหนึ่งของอุปกรณ์จะเย็น (cold end) และอีกด้านหนึ่งของ

อุปกรณ์จะร้อน (hot end) ดังแสดงใน (Figure 1a) อุณหภูมิทางด้านเย็น (T_c) จะลดลง ในขณะที่ความร้อนจะถูกดูดจากสิ่งแวดล้อม (heat absorbed) การดูดความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกทางด้านเย็นจะไปกระตุ้นทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิด p ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด n ที่มีระดับพลังงานสูงกว่า และปล่อยความร้อนที่อิเล็กตรอนได้รับทางด้านร้อนของอุปกรณ์ ในทางตรงกันข้ามถ้าเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก จะร้อนและในส่วนด้านร้อนจะกลายเป็นเย็นดังแสดงใน (Figure 1b) สำหรับความสามารถในการทำความเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าน้อยเมื่อเทียบการทำความร้อน เนื่องจากความเย็นที่ผลิตได้ถูกลดทอนจากความร้อนไหลย้อนกลับที่เกิดจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น (conducted heat) และความร้อนที่เกิดจากความต้านทานไฟฟ้า (joule heat) นอกจากนี้เทอร์โมอิเล็กทริกยังสามารถแปลงผันความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วยจากปรากฏการณ์ Seebeck ที่กล่าวไปแล้ว หลักการทำงานของอุปกรณ์เพื่อเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้ามีดังนี้ เมื่อให้แหล่งความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทริกได้รับจะไปกระตุ้นการไหลของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำจึงทำให้เกิดกระแสไหลภายในวงจร

การใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานความร้อนและความเย็นให้เป็นพลังงานไฟฟ้ามีหลักการที่สำคัญคือเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นการนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) และชนิดพี (p-type) มาเรียงสลับกัน โดยมีโลหะนำไฟฟ้ามาเชื่อมเป็นจุดต่อให้มีลักษณะสลับกันไปเป็นคู่ๆ

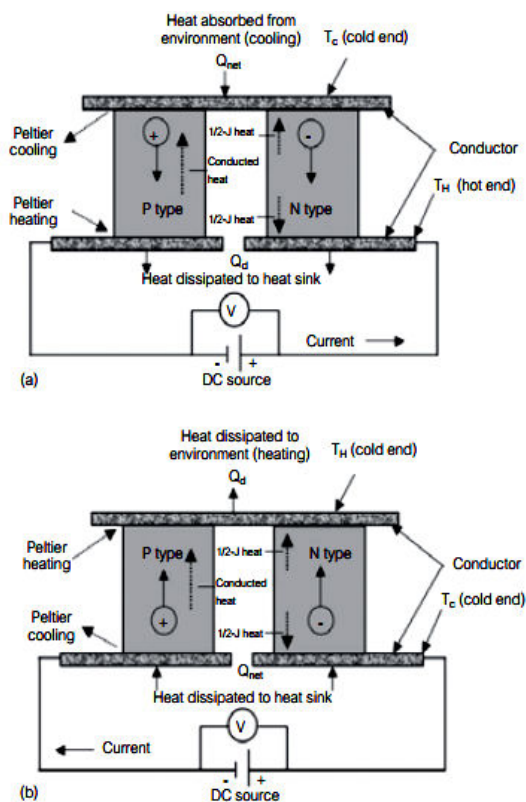


Figure 1 Thermoelectric; (a) cool process
(b) hot process.

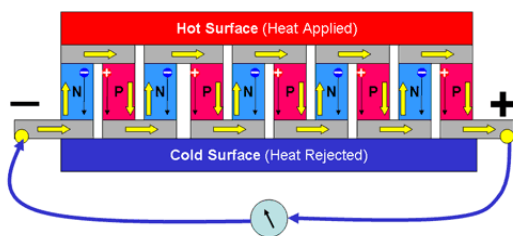


Figure 2 Thermoelectric generator (TEG).

เมื่อนำไปต่อโหลดก็จะครบวงจร ดังนั้นวิธีการเพื่อให้ได้พลังงานทางไฟฟ้านั้นทำได้โดยการให้ความร้อนด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็กทริกและและให้ความเย็นอีกด้านหนึ่ง ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิซึ่งมีผลทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรและใช้วงจรแปลงระดับแรงดัน (converter) ที่เหมาะสมเพื่อนำไปเก็บสำรอง (storage) นำต่อใช้งานโดยตรง (usage) ดัง (Figure 2) ต่อมา Sales (2007) นำเสนอการพัฒนาด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารกึ่งตัวนำนี้พบว่าประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกต้องมีคุณลักษณะดังนี้

1. สามารถนำไฟฟ้าได้สูง มีความร้อนที่เกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสต่ำ
2. สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือเปลี่ยนพลังไฟฟ้าเป็นพลังงานความเย็นได้มาก
3. มีสภาพการนำความร้อนต่ำ เพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ

คุณลักษณะด้านวัสดุทั้ง 3 ประการนี้สามารถหาความสัมพันธ์ด้วยหลักการทางฟิสิกส์ในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก คือ

$$ZT = \alpha^2 \sigma T / K \quad (1)$$

โดยที่ α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (volt/ $^{\circ}$ K)

σ คือ สภาพการนำไฟฟ้าของวัสดุ (ampera/volt*meter)

K คือ การนำความร้อนของวัสดุ (watt/meter* $^{\circ}$ K)

T คือ อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}$ K)

และประสิทธิภาพของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก
จะอยู่ประมาณ

$$\eta = \frac{T_h - T_c}{T_h} \frac{\sqrt{1 + zT} - 1}{\sqrt{1 + zT} + \frac{T_c}{T_h}} \quad (2)$$

โดยที่ T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ($^{\circ}\text{K}$)

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ($^{\circ}\text{K}$)

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบติดตั้งชุดผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกดัง (Figure 3) เป็นการประยุกต์ใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาดความเย็น 12,430.60 BTU โดยรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส และได้ทำการวัดค่าของอุณหภูมิ น้ำเย็นและด้านร้อนที่ให้กับแผงเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12706 จะได้ค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จากการต่อเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปแบบต่างๆ ได้ผลการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

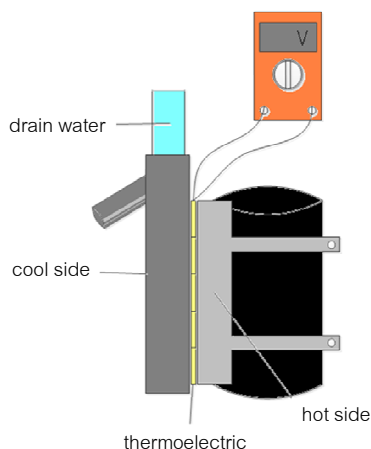


Figure 3 Parameters measurement on the thermoelectric generator.

Table 1 Temperatures of the split type air conditioner.

time (hour)	temperature of drain water ($^{\circ}\text{C}$)	temperature of condenser ($^{\circ}\text{C}$)	temperature of compressor ($^{\circ}\text{C}$)
1	25	44	52
2	27	43	50
3	28	44	51
4	27	44	51
5	27	44	51

จากการศึกษา (Table 1) เป็นการวัดค่าอุณหภูมิจากส่วนต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศที่ผลิตความร้อนและความเย็นข้างต้นแล้วเห็นสมควรว่าจะใช้คอมเพรสเซอร์ในการให้ความร้อนเพราะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าส่วนอื่นๆ และน้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากเครื่องปรับอากาศในการให้ความเย็นกับชุดเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าจาก (Figure 3) หลักการทำงานของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชุดผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกโดยรวมเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ และคอมเพรสเซอร์เริ่มต้นการทำงาน คอมเพรสเซอร์จะอัดน้ำสารทำความเย็นเข้าระบบปรับอากาศจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

โดยจะนำความร้อนไปยังอลูมิเนียมหน้าเรียบที่รัดคอมเพรสเซอร์อยู่และส่งต่อมายังเทอร์โมอิเล็กทริก ส่วนอีกด้านหนึ่งจะมีน้ำทิ้งที่ปล่อยนออกจากส่วนทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจะไหลผ่านท่อเข้าสู่ถังน้ำเย็น หนึ่งชั่วโมงถัดมาน้ำที่ปล่อยออกจากเครื่องปรับอากาศจะเต็มถังน้ำเย็น มีประสิทธิภาพในการนำความเย็นเต็มที่ และน้ำจะไหลอย่างต่อเนื่อง โดยจะปล่อยน้ำเก่าที่เริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้นออกทางท่อน้ำล้นที่ส่วนด้านบนของถังด้านบนสุดของถังจะใช้โฟมปิดเพื่อรักษาอุณหภูมิโดยมีเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิอยู่ตลอดเวลา และได้ทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าด้านเอาต์พุตจะได้ดัง (Table 2)

Table 2 Thermoelectric series connection.

time (hour)	temperature hot side (°C)	temperature cool side (°C)	output voltage (V)	output current (A)	output power (W)
1	51	25	3.24	0.01	0.0324
2	50	27	3.14	0.01	0.0314
3	51	28	2.97	0.01	0.0297
4	51	27	3.12	0.01	0.0312
5	51	27	3.08	0.01	0.0308

Table 3 Thermoelectric parallel connection.

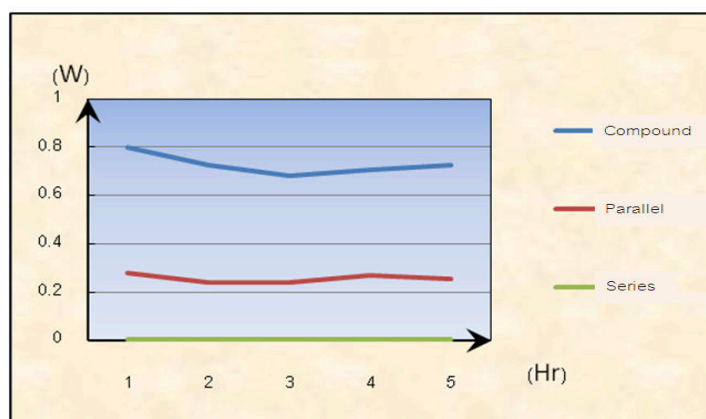
time (hour)	temperature hot side (°C)	temperature cool side (°C)	output voltage (V)	output current (A)	output power (W)
1	51	25	0.36	0.78	0.28
2	50	27	0.34	0.74	0.24
3	51	28	0.34	0.70	0.23
4	51	27	0.37	0.73	0.27
5	51	27	0.36	0.71	0.25

Table 4 Thermoelectric compound connection.

time (hour)	temperature hot side (°C)	temperature cool side (°C)	output voltage (V)	output current (A)	output power (W)
1	51	25	1.64	0.49	0.80
2	50	27	1.57	0.47	0.74
3	51	28	1.53	0.44	0.67
4	51	27	1.62	0.45	0.72
5	51	27	1.58	0.48	0.75

จาก (Table 2) การต่อเทอร์โมอิเล็กทริกแบบอนุกรมจำนวน 10 ชุด จากการทดลองและหาค่าเฉลี่ยทางไฟฟ้าด้านเอาต์พุต ทั้ง 5 ชั่วโมงได้แรงดันไฟฟ้า 3.11 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0.01 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้า 0.0311 วัตต์ จาก (Table 3) การต่อเทอร์โมอิเล็กทริกแบบขนานจำนวน 10 ชุด จากการทดลองและหาค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าเอาต์พุตทั้ง 5 ชั่วโมงได้แรงดันไฟฟ้า 0.345 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0.726 แอมแปร์

และกำลังไฟฟ้า 0.254 วัตต์ จาก (Table 4) การต่อเทอร์โมอิเล็กทริกแบบผสมจำนวน 10 ชุด จากการทดสอบและหาค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าเอาต์พุต 5 ชั่วโมงได้แรงดันไฟฟ้า 1.588 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0.466 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้า 0.736 วัตต์ ดังนั้นการต่อแบบผสมจึงเป็นการต่อที่มีแรงดันไฟฟ้าเพียงพอสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 1.2 โวลต์ และมีกำลังไฟฟ้ามากที่สุดในการต่อทั้ง 3 แบบ

**Figure 4** Power in watts of each connection.

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากผลการทดสอบการผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยการต่อวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกทั้ง 3 แบบ ในเวลา 5 ชั่วโมง ดังนี้ การต่อแบบอนุกรมได้ 0.0311 วัตต์ ต่อแบบขนานได้ 0.254 วัตต์ และต่อแบบผสมได้ 0.736 วัตต์ ซึ่งผลการศึกษาสรุปว่าการต่อแบบผสมมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานมากที่สุด และสามารถนำมาคำนวณการทำงานเป็นชั่วโมงได้ 44.16 วัตต์ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ (Figure 4)

สรุป

จากการทดสอบการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเทอร์โมอิเล็กทริกพบว่า การต่อแบบอนุกรมทั้ง 10 แผง ได้ค่าแรงดันมากกว่าแบบอื่นๆ แต่กระแสได้น้อย การต่อแบบขนานจะได้กระแสมากขึ้น แต่แรงดันได้น้อยกว่าการต่อแบบอนุกรม ดังนั้นจึงนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมาต่อแบบผสมกันโดยอนุกรม 5 แผ่น เป็นสองวงจรและนำมาขนานกันจะได้แรงดันด้านเอาต์พุต 1.588 โวลต์ และกระแสที่จ่ายไหลได้ 0.466 แอมป์ จะได้กำลังไฟฟ้า 0.736 วัตต์ ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณการทำงานเป็นชั่วโมงจะได้ 44.16 วัตต์ชั่วโมง

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พ.ศ. 2557

เอกสารอ้างอิง

- Ning, Z., M. Takeru, S. Ryutaro and T. Takashi. 2014. Development of a small solar power generation system based on thermoelectric generator. *Energy Procedia*. 52: 651-658.
- Sales, B.C. 2007. Critical review of recent approaches to improved thermoelectric materials. *Int J Appl Ceram Tec*. 4(4): 291-296.
- Seebeck, T.J. 1821. Magnetische polarisation der metalle und Erze durch temperature-differenz. pp. 289-346. In: Abh. Akad. Wiss 1821, Berlin.