



การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนทิ้งจากห้องเผาไหม้ชีวมวล

ฉันทนา พันธุ์เหล็ก, สมชาย มณีวรรณ, ศิริรัช จินดารักษ์\*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก 65000

โทร 0-5596-3553 โทรสาร 0-5596-3552

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการออกแบบติดตั้งและทดสอบระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนทิ้งจากปล่องไอเสียและผนังเตาเผาไหม้ของเครื่องอบแห้งชีวมวลโดยได้ทำการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกที่เชิงพาณิชย์จำนวน 3 โมดูลแบ่งเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับทำความเย็น 2 โมดูล ได้แก่โมเดล MT2-1,6-127 และ TEC1-12708 และเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตไฟฟ้า 1 โมดูล ได้แก่ TEP1-1264-3.4 ผลการทดสอบพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดคือโมเดล TEC1-12708 โดยสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.50 วัตต์ต่อโมดูล (2.52 V, 0.59 A) รองลงมาคือโมเดล TEP1-1264-3.4 และ MT2-1,6-127 โดยสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.07 วัตต์ต่อโมดูล (2.13 V, 0.50 A) และ 0.87 วัตต์ต่อโมดูล (2.18 V, 0.40 A) ตามลำดับที่อุณหภูมิด้านร้อน 200 °C และอุณหภูมิด้านเย็น 140 °C การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าใช้พัฒนาเพื่อระบายความร้อนและหมุนเวียนอากาศ ในเครื่องอบแห้งขนาด 6 watts (3,500 RPM, 2.50 m<sup>3</sup>/s) จำนวน 4 ตัว และใช้เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตไฟฟ้าจำนวน 12 โมดูลติดตั้งบริเวณผนังส่วนหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ระบบแห้ง ชีวมวล

Abstract

This paper investigate the thermoelectric power generation from combustion wall of biomass drier. In this study, three modules of thermoelectric were considered: two thermoelectric cooling modules (Model A : MT2-1,6-127 and Model B : TEC1-12708) and one thermoelectric power generation module (Model C : TEP1-1264-3.4) respectively. Testing results show that thermoelectric TEC1-12708 can generate maximum power output 1.5 W/module (2.52 V, 0.59 A) the second one is TEP1-1264-3.4 can generate power output 1.07 W/module (2.13 V, 0.50 A) and MT2-1,6-127 can generate least power output 0.87 W/module (2.18 V, 0.40 A) ,so the suitable thermoelectric cooling TEC1-12708 is appropriate to apply for thermoelectric power generation system.

The experimentations were used 4 pieces of 6 W (3,500 RPM, 2.50 m<sup>3</sup>/s) ventilation fan and 12 thermoelectric modules to used in the system, which installed at backside of the burner box.

Keywords : Thermoelectric power generation: Drying system: Biomass

1. บทนำ

การอบแห้งเป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้ในการถนอมรักษาผลผลิตทางการเกษตรให้สามารถเก็บรักษาได้ยาวนานเช่นลำไยพริกตะไคร้ใบมะกรูด เป็นต้นใช้หลักการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับที่สามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย เอนไซม์และเชื้อราไม่ให้เจริญเติบโตโดยอาศัยความร้อนจากอากาศร้อนในการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ซึ่งการอบแห้งเป็นกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่มีความสำคัญช่วยลดความเสียหายของผลผลิตทางการเกษตรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกายและเกลือแร่ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ช่วยลดต้นทุนในการขนส่งและเก็บรักษาเนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานในการแช่เย็นทั้งในช่วงเก็บรักษาและขนส่งอีกทั้งมีน้ำหนักเบาซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยเพียง 1/7 - 1/9 ของผลไม้สด ทำให้สามารถลดต้นทุนในการขนส่งได้ถึงร้อยละ 90 และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง

เครื่องอบแห้งเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับกระบวนการอบแห้งปัจจุบันได้มีการพัฒนาและออกแบบเครื่องอบแห้งรูปแบบต่างๆ [1] ซึ่งส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมใช้เครื่องอบแห้งที่ใช้เชื้อเพลิงจากแก๊สหุงต้มไฟฟ้าและน้ำมันเนื่องจากสะดวกต่อการใช้งานและหาได้ง่ายแต่เชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันนี้เป็นพลังงานสิ้นเปลืองและมีราคาแพงเนื่องจากในการอบแห้งผลิตภัณฑ์แต่ละครั้งต้องระยะเวลาในการอบแห้งไม่ต่ำกว่า 7 ชั่วโมง [2] ส่งผลให้การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรในปัจจุบันมีค่าใช้จ่ายสูงในการอบแห้งและปัญหาในการใช้เครื่องอบแห้งชีวมวลของเกษตรกรอยู่ที่ต้นทุนการผลิตที่สูงทั้งค่าเครื่องอบแห้งและเชื้อเพลิงที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูงอีกทั้งเครื่องอบแห้งชีวมวลยังต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมที่ใช้ในเครื่องอบแห้งจึงเป็นข้อจำกัดให้เครื่องอบแห้งดังกล่าวไม่สามารถนำไปใช้ได้ในพื้นที่ในสวนซึ่งห่างไกลที่ไม่มีไฟฟ้า

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องอบแห้งชีวมวลให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ภายในเครื่องอบแห้งเพื่อลดข้อจำกัดที่ได้กล่าวมาแล้วเพื่อเพิ่มความสะดวกในการนำเครื่องอบแห้งไปใช้ได้ในทุกพื้นที่ที่ต้องการอบแห้งแม้ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าก็ตามโดยทำการออกแบบระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งจากปล่องไอเสีย [3-4] และผนังเตาไหม้ของเครื่องอบแห้งด้วยชีวมวล

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การออกแบบเครื่องอบแห้งให้มีความสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ภายในเครื่องอบแห้งแบ่งการดำเนินการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ



รูปที่ 1: ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

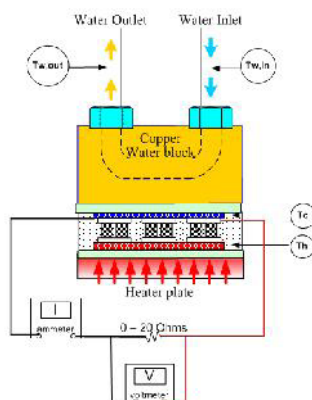
### 3. การทดสอบเบื้องต้น

การทดสอบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกแบ่งการทดสอบเป็น 5 ชุดทำการทดลองชุดละ 3 ครั้งแล้วใช้การหาค่าเฉลี่ยโดยการปรับเปลี่ยนความต้านทานที่เพิ่มให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเป็น 0, 5, 10, 15 และ 20 Ohm ตามลำดับใช้เวลาในการทดลองครั้งละ 30 นาทีเก็บข้อมูลทุก 1 นาทีโดยมีขั้นตอนการทดลองแสดงดังภาพ 26 เพื่อหาเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดในสภาวะที่กำหนดโดยการทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลต่างๆ สำหรับการคำนวณหาความสามารถในการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการออกแบบระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 1: เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดสอบ

Parameter	Cooling modules		Power modules
	MT2-1,6-127	TEC1-12708	TEP1-1264-3.4
Size(mm)	40 x 40	40 x 40	40 x 40
Module height (mm)	3.9	3.46	3.46
No. of couple (number)	127	127	126
Maximum voltage (volts)	15.4	15.0	4.3
Maximum current (amps)	6.0	8.5	0.6
Maximum power (watts)	92.4	127.5	2.6
Maximum hot side temperature (°C)	140 - 150	160 - 170	225 - 250
Maximum different temperature (°C)	69	68	180
Heat flow (watts/module)	53.0	68.1	60.0
Module cost (US\$)	8.5	8	60

โดยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ 7 ตำแหน่ง คือ อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก อุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าและออกจากทองแดงระบายความร้อน อุณหภูมิอากาศแวดล้อมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละรุ่นตลอดจนเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าโดยตำแหน่งการเก็บข้อมูลสำหรับการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแสดงรูปที่ 2

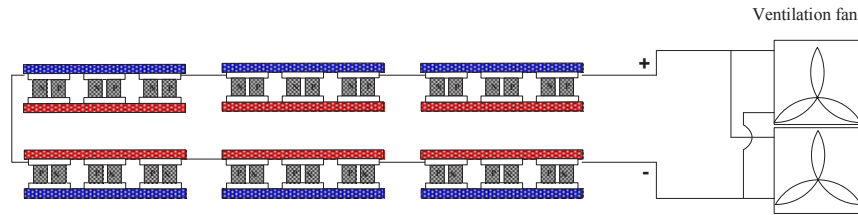


รูปที่ 2: ตำแหน่งการเก็บข้อมูลการทดสอบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

#### 4. การออกแบบและติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า

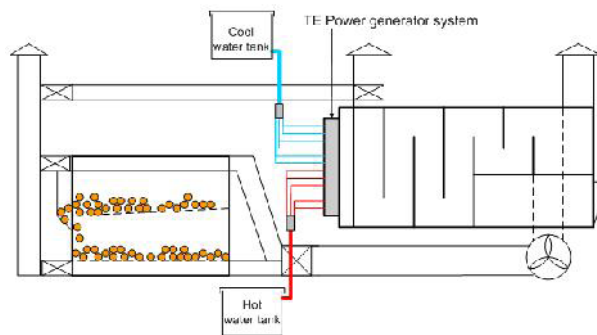
ในขั้นตอนนี้จะทำการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแก่เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้าป้อนให้กับพัดลมระบายอากาศแทนพัดลมเดิมที่ติดตั้งอยู่ โดยเปลี่ยนเป็นพัดลมระบายอากาศเป็นพัดลมสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาด 6 W

เนื่องจากการเปลี่ยนพัดลมระบายอากาศให้เหมาะกับระบบผลิตไฟฟ้าจากการศึกษาข้อมูลของพัดลมระบายอากาศพบว่าพัดลมระบายอากาศสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์มีอัตราการไหลของอากาศในปริมาณ 2.83 m<sup>3</sup>/s ซึ่งต่ำกว่าพัดลมระบายอากาศเดิมซึ่งมีอัตราการไหลของอากาศในปริมาณ 9.56 m<sup>3</sup>/s ดังนั้นระบบระบายอากาศที่ใช้พัดลมสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องใช้พัดลมจำนวน 4 ตัวและใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 6 โมดูลต่อพัดลมสองตัวเพื่อผลิตไฟฟ้าป้อนให้แก่พัดลมเพื่อให้เครื่องอบแห้งชีวมวลมีอัตราการไหลของอากาศสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ในปริมาณเท่าเดิมโดยระบบหนึ่งชุดประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจำนวน 6 โมดูลต่อแผงระบายความร้อนจำนวน 6 ชุดพัดลมระบายอากาศจำนวน 2 ตัวการออกแบบวงจรไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าใช้การเชื่อมต่อของเทอร์โมอิเล็กทริกในแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันตามขนาดของพัดลมระบายอากาศที่ใช้โดยการเชื่อมต่อพัดลมระบายอากาศในแบบขนานเนื่องจากไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้มีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าความต้องการของพัดลมระบายอากาศเพื่อลดค่ากระแสที่ไหลผ่านพัดลมระบายอากาศโดยไม่จำเป็นช่วยลดการสูญเสียไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์และเพื่อให้ได้ลมร้อนสำหรับอบแห้งเพียงพอต่อการอบแห้งดังนั้นจึงต้องทำการติดตั้งชุดระบายความร้อนจำนวน 2 ชุดแผนภาพวงจรไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้ารูปที่ 3



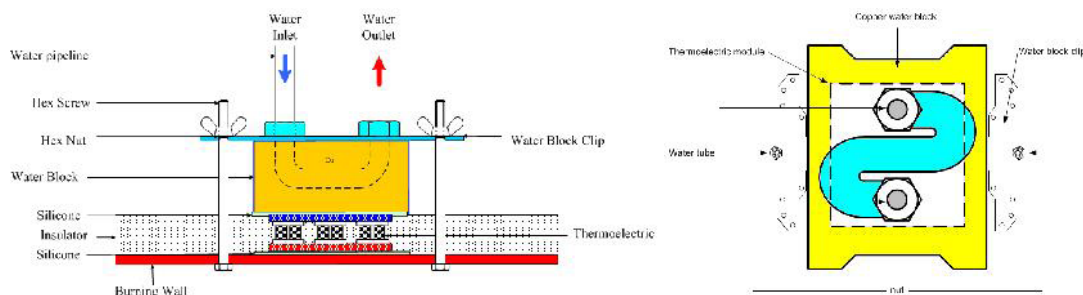
รูปที่ 3: วงจรไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้า

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบได้ทำการติดตั้งไว้บริเวณผนังส่วนหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเนื่องจากบริเวณดังกล่าวสามารถติดตั้งได้ง่ายเนื่องจากมีพื้นผิวแบนราบและผนังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณดังกล่าวสามารถถอดออกเพื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าได้สะดวกโดยมีรูปแบบและตำแหน่งการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าและระบบระบายความร้อนดังแสดงในรูปที่ 4



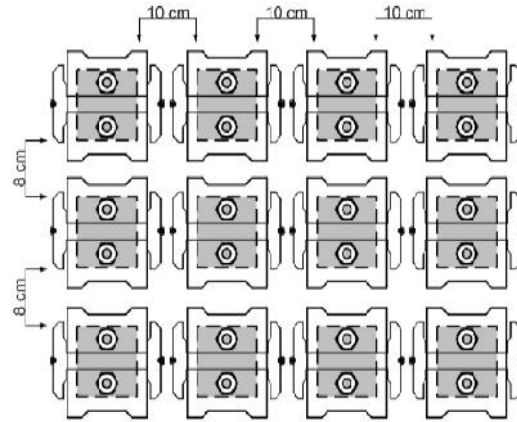
รูปที่ 4: การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าและระบบระบายความร้อน

ส่วนลักษณะการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อนจากด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกใช้น็อตและคลิปที่จำหน่ายมากับชุดทองแดงระบายความร้อนยึดติดเทอร์โมอิเล็กทริกไว้กับผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใช้ซิลิโคนทากาวผสมผ้า (หนา 1 mm) ระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกและผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดช่องว่างของอากาศและช่วยให้ การส่งผ่านความร้อนดีขึ้นและหุ้มฉนวนกันความร้อนจากด้านร้อนเพื่อลดการแผ่ความร้อนสู่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกแสดงแผนภาพการติดตั้งดังรูปที่ 5



รูปที่ 5: แผนภาพการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อน

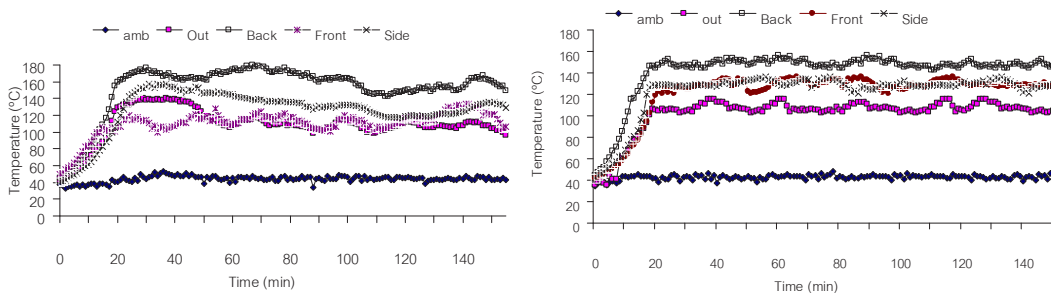
สำหรับการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อนเนื่องจากพื้นที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้ามีขนาดจำกัดดังนั้นการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อนจึงได้ทำการติดตั้งแบ่งเป็น 4 แถวแถวละ 3 ชุดโดยมีระยะห่างระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริก 8 cm ภายในแถวและ 10 cm ในแต่ละชุดแสดงแผนภาพด้านบน (top view) ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 : การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าและชุดระบายความร้อน

## 5. ผลการทดลอง

5.1. ตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งระบบ ในการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ทำการทดลอง 2 ชุดโดยแบ่งเป็นการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 และการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50 เพื่อศึกษาอุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบแห้ง เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้วิเคราะห์ตำแหน่งสำหรับติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าและขั้นตอนการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้า



ขวามือ: เมื่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 ซ้ายมือ: เมื่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50

รูปที่ 6: อุณหภูมิผนังเตาเผาไหม้เฉลี่ย

รูปที่ 6 เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีมีการนำอากาศร้อนมาใช้ร้อยละ 100 ขณะที่การทดลองได้ควบคุมอุณหภูมิห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้อุณหภูมิ 80 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบแห้ง [3]พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทุกด้านมีค่าระหว่าง 100 – 200 °C โดยผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 185 °C ในการทดลองอบแห้งการอุ่นอากาศสำหรับอบแห้งให้ภายในห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์เริ่มมีอุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาประมาณ 20 นาทีจากการสังเกตอุณหภูมิของผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการทดลอง 200 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉพาะบริเวณส่วนล่างของผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

5.2 การเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสม จากการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมเมื่อนำผลการทดลองผลิตไฟฟ้าที่ได้มาวิเคราะห์ราคาพลังงานไฟฟ้า (energy cost) ที่ผลิตด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับทำความเย็น MT2-1,6-127, TEC1-12708 และเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า TEP1-1264-3.4 โดยใช้วิธีการคำนวณจากอายุการใช้งานของเทอร์โมอิเล็กทริกกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้และราคาโมดูลเพื่อหาราคาพลังงานไฟฟ้าของระบบราคาพลังงานที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถคำนวณได้จาก

ตารางที่ 2: ราคาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกตลอดอายุการใช้งาน

ข้อมูล	MT2-1,6-127	TEC1-12708	TEP1-1264-3.4
อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)	100,000	100,000	100,000
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Wh)	0.87	1.50	1.07
ราคาเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (บาท)	297.5	280	2,100
ราคาพลังงาน (บาท / Wh)	3.42	1.87	19.63



จากตารางที่ 2 ราคาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตสำหรับทำความเย็น TEC1-12708 มีราคาพลังงาน 1.87 บาท/Wh ซึ่งต่ำสุดเมื่อเทียบกับเท่ากับราคาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก MT2-1,6-127 และ TEP1-1264-3.4 ซึ่งมีราคาพลังงาน 3.42 บาท/Wh และ 19.63 บาท/Wh ตามลำดับ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 สำหรับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าเนื่องจากมีความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 2.52 volts และเมื่อเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 ที่ค่าต่างๆ แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ยังมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเทอร์โมอิเล็กทริกโมเดลอื่นๆ หรือสามารถกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้น้อยที่สุด

## 6. สรุปผล

จากผลการทดลองพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าจากความร้อนที่อุณหภูมิด้านร้อนประมาณ 200 °C เนื่องจากมีความสามารถผลิตไฟฟ้า 1.50 watts ซึ่งเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับรุ่นอื่นๆ ในการทดสอบและมีผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้น้อย

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าได้ออกแบบวงจรไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้การเชื่อมต่อของเทอร์โมอิเล็กทริกในแบบอนุกรมจำนวน 6 โมดูลเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าตามขนาดของพัดลมระบายอากาศที่ใช้ (12 W/ชุด) และเชื่อมต่อพัดลมระบายอากาศในแบบขนานจำนวน 2 ตัวต่อระบบหนึ่งชุดแต่เพื่อให้ได้ปริมาณลมร้อนเพียงพอต่อการอบแห้ง (9.56 m<sup>3</sup>/s) ดังนั้นจึงต้องทำการติดตั้งชุดระบายความร้อนจำนวน 2 ชุด

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุเมธจริยนิพนธ์และคณะ, 2545, “การอบแห้งผลไม้ด้วยเครื่องอบแห้งแบบตู้ที่ใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง,”วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 9(1), 42-49.
- [2] ฉันทนาพันธุ์เหล็ก, 2547, “การปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอบลำไยเพื่ออบแห้งผลิตผลทางการเกษตร,”วิทยานิพนธ์วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [3] Rida Y. Nuwayhid, Alan Shihadeh, Nesreen Ghaddar, 2005, “Development and testing of a domestic woodstove,” Energy Conversion and Management, Volume 46, Issues 9–10, 1631-1643.
- [4] R.Y. Nuwayhid, D.M. Rowe, G. Min, 2003, “Low cost stove-top thermoelectric generator for regions with unreliable electricity supply,” Renewable Energy, Volume 28, Issue 2, 205-222.