

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งประกอบด้วย ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ผลการทดลองผลิตไฟฟ้า เพื่อเลือกชนิดของเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมกับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า ผลการทดลองผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้า และผลตอบแทนทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จากผลการทดลองที่ได้จากการทดลองในขั้นต่าง ๆ สามารถวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลองได้ตามลำดับ ดังนี้

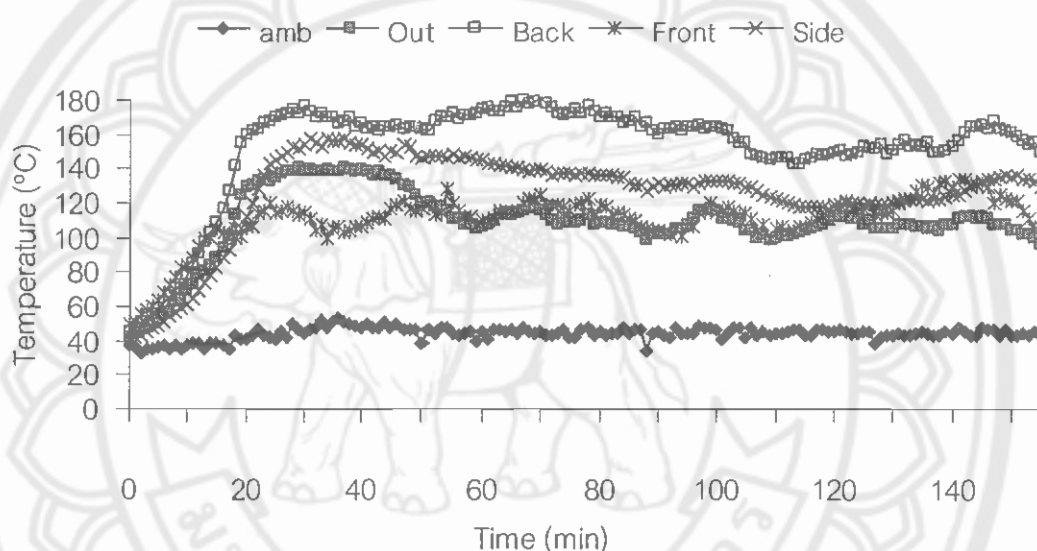
การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ได้ทำการทดลอง 2 ชุด โดยแบ่งเป็น มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 และการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50 ใช้เวลาในการทดลองครั้งละ 2 ชั่วโมง เก็บข้อมูลทุก 1 นาที โดยทำการทดลองชุดละ 2 ครั้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อศึกษาอุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบแห้งเพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้วิเคราะห์ตำแหน่งสำหรับติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า และขั้นตอนการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้า

ในการออกแบบการทดลองใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาถึง ความสามารถในการพาความร้อนของอากาศ เนื่องจากการลดอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ส่งผลถึงปริมาณอากาศร้อนและอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศร้อนในการพาความร้อนขึ้นออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่งผลถึงระยะเวลาในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงาน และอุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1 นำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100

ส่วนนี้จะทำการทดลองโดยทำการปรับช่องนำอากาศร้อนให้มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 เพื่อศึกษาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากผลการทดลองอบแห้งกรณีที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 ผลการทดลองที่ได้ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละด้านเพื่อนำมาแสดงผลการทดลองเฉลี่ยของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในแต่ละด้านเพียงหนึ่งตำแหน่ง สามารถแสดงผลการทดลองดังภาพ 41

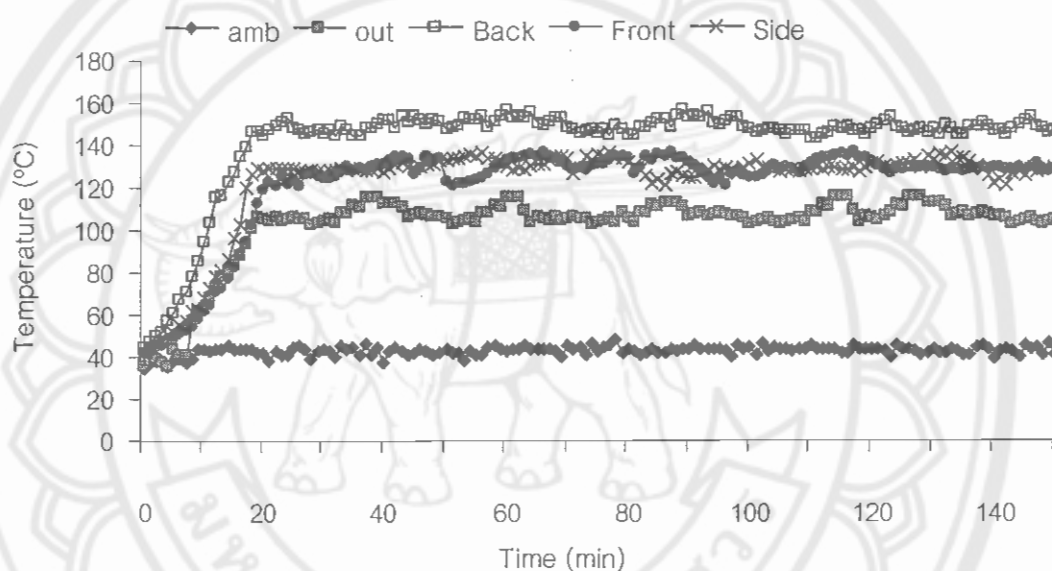


ภาพ 41 อุณหภูมิผนังเตาเผาไหม้เฉลี่ย เมื่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100

จากภาพ 41 เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีที่มีการนำอากาศร้อนมาใช้ร้อยละ 100 ขณะที่การทดลองได้ควบคุมอุณหภูมิห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้ อุณหภูมิ 80 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบแห้ง [3] พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทุกด้านมีค่าระหว่าง 100 – 200 °C โดยผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 185 °C ในการทดลองอบแห้งการอุ่นอากาศสำหรับอบแห้งให้ภายในห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์เริ่มมีอุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาประมาณ 20 นาที จากการสังเกตอุณหภูมิของผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการทดลอง 200 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉพาะบริเวณส่วนล่างของผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2 นำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50

ส่วนนี้จะทำการทดลองโดยทำการปรับช่องนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50 เพื่อศึกษาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากผลการทดลองอบแห้งกรณีมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50 ผลการทดลองที่ได้ให้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละด้านเพื่อนำมาแสดงผลการทดลองเฉลี่ยของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในแต่ละด้านเพียงหนึ่งตำแหน่ง สามารถแสดงผลการทดลองดังภาพ 42



ภาพ 42 อุณหภูมิผนังเตาเผาไหม้เฉลี่ย เมื่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50

จากภาพ 42 เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50 ขณะที่ทำการทดลองได้ควบคุมอุณหภูมิห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ 80 °C พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าระหว่าง 100 – 160 °C โดยผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 155 °C ในการทดลองอบแห้งการอุ่นอากาศให้ห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาประมาณ 20 นาทีหรือเท่ากับกรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 จากการสังเกตอุณหภูมิของผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการทดลอง 190 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉพาะบริเวณส่วนล่างของผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จากผลการทดลองเก็บข้อมูลอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิแวดล้อม พบว่าอุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละด้านมีอุณหภูมิเฉลี่ยแตกต่างกันไม่มาก โดยบริเวณด้านล่างของผนังด้านหลังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการทดลอง 200 °C และการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ส่งผลต่ออุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไม่มาก สามารถสรุปค่าอุณหภูมิเฉลี่ยผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของการทดลองแสดงดังตาราง 4



ตาราง 4 อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งของผนังเตาเผาและอุณหภูมิโดยรวม

ตำแหน่ง	กรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100				กรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 50			
	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	SD	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิ สูงสุด (°C)	SD
ภายในห้องเผาไหม้	315	623	1342	9.6	486	661	1027	10.4
ผนังด้านหน้าเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	113	138	195	3.7	105	120	136	4.0
ผนังด้านหลังเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	160	186	203	2.7	142	148	156	3.1
ผนังด้านข้างเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	120	145	191	2.7	103	129	136	3.2
อากาศออกจากห้องเผาไหม้	98	109	140	3.4	95	105	138	3.6
อากาศแวดล้อมที่ระยะไม่เกิน 1 m	43	44	45	1.6	42	44	45	1.9

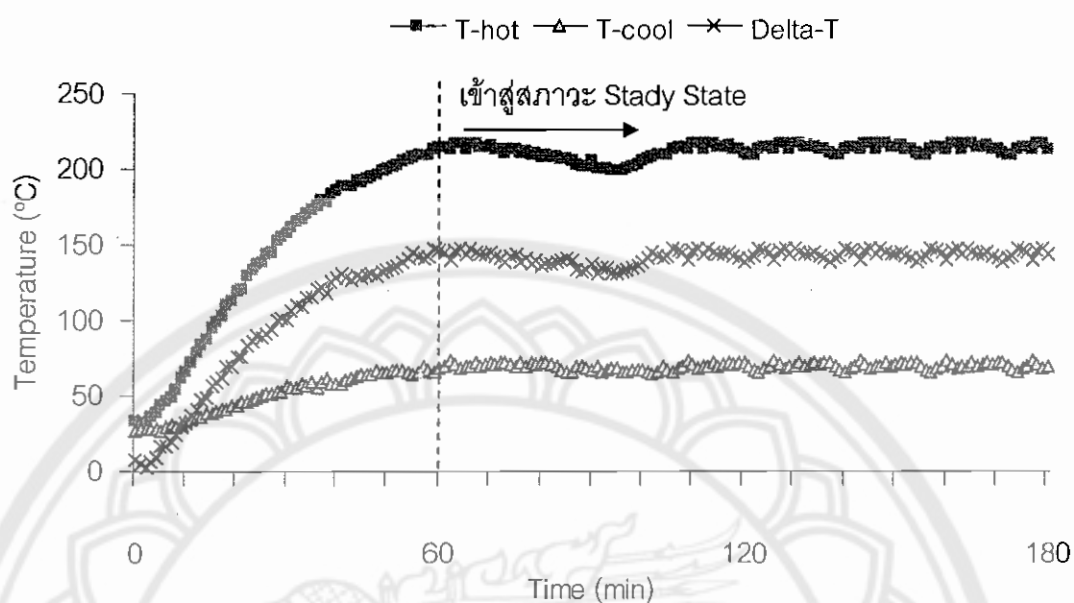
จากตาราง 4 เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกรณีที่มีอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสูงสุด คือกรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 พบว่าระยะเวลาในการอุ่นอากาศให้ห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาประมาณ 20 นาที โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง 100 – 180 °C ขณะที่บริเวณด้านล่างของผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิสูงสุด 200 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิอ้างอิงที่นำไปใช้ในขั้นตอนการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสม

การทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสม

จากการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิผนังเตาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิแวดล้อมทั้งระบบ 16 ตำแหน่ง คือ อุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยรอบ อุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าและออกจากห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม สามารถนำข้อมูลอ้างอิงที่ได้มาใช้ในการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าให้กับเครื่องอบแห้งชีวมวล

ในการออกแบบการทดลองให้หลักเกณฑ์การพิจารณาถึง แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ และผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ ผลการทดลองที่ได้นำมาเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกในแต่ละรุ่น ซึ่งส่งผลถึงความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า จำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ และมูลค่าการลงทุนของโครงการ

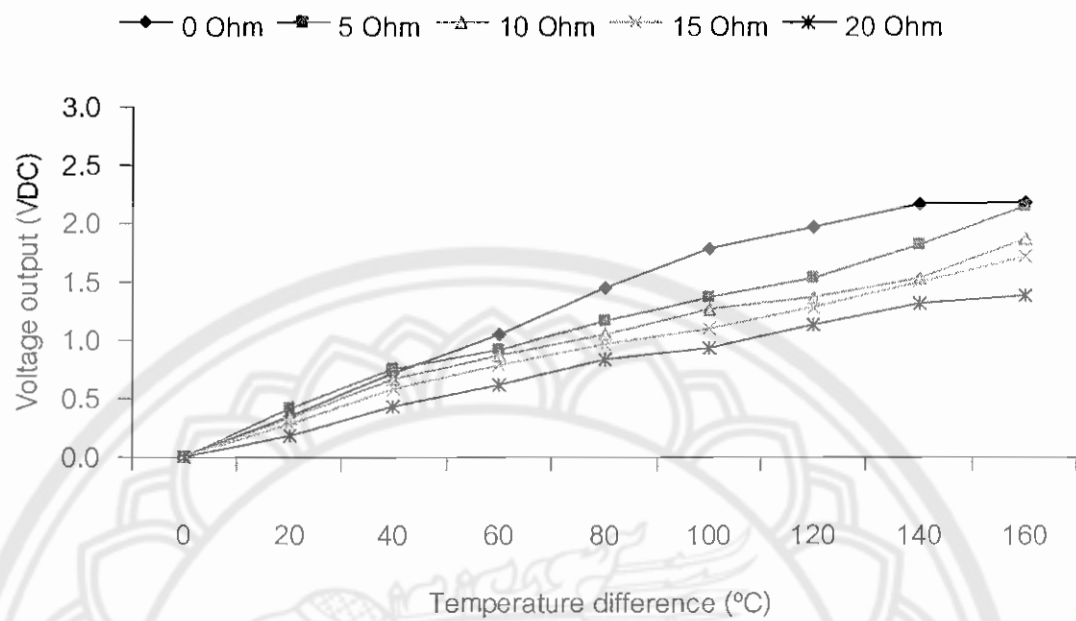
ในการทดลองผลิตไฟฟ้า ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุด โดยการปรับเปลี่ยนความต้านทาน (ภาระจำลอง) ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกเป็น 0, 5, 10, 15 และ 20 Ohm ตามลำดับ ทำการทดลองชุดละ 2 ครั้ง เพื่อนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้เวลาในการทดลองครั้งละ 30 นาที เนื่องจากการทดลองเบื้องต้นความร้อนจะเริ่มคงที่ใช้เวลาประมาณ 20 นาที ดังภาพ 43 เก็บข้อมูลทุก 1 นาที เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละรุ่น แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ และผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ ผลการทดลองที่ได้นำมาเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกในแต่ละรุ่นได้ดังนี้



ภาพ 43 อุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกจากการทดลองผลิตไฟฟ้า

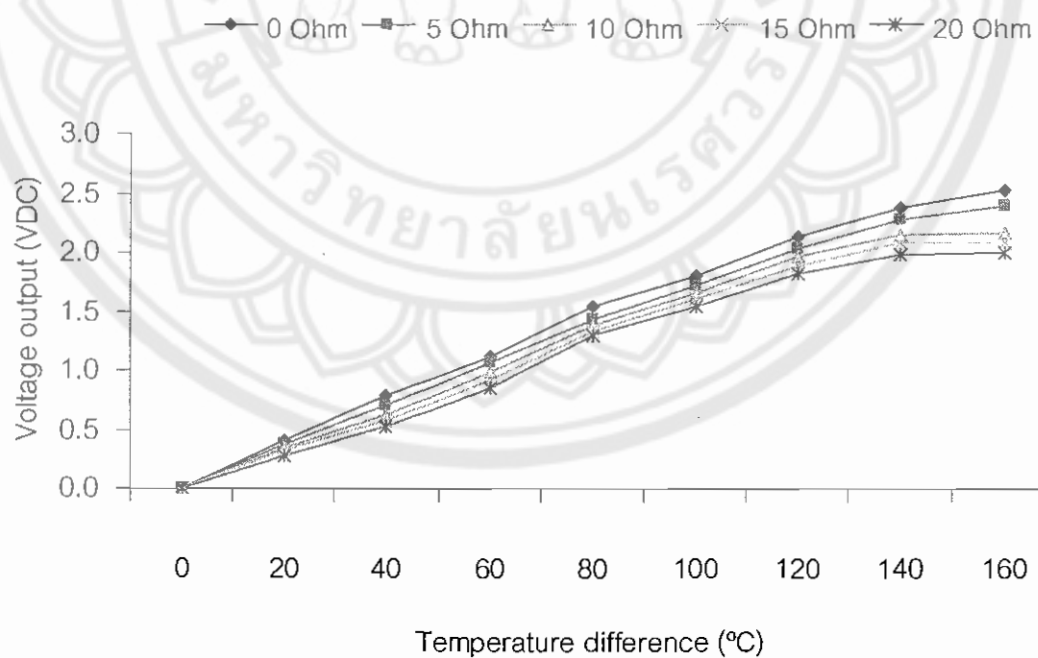
1 ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้า

จากการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมสำหรับผลิตไฟฟ้า เมื่อพิจารณาผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูลผลิตได้ และเปรียบเทียบผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูลผลิตได้ในกรณีที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่างกัน แสดงข้อมูลดังภาพ 44



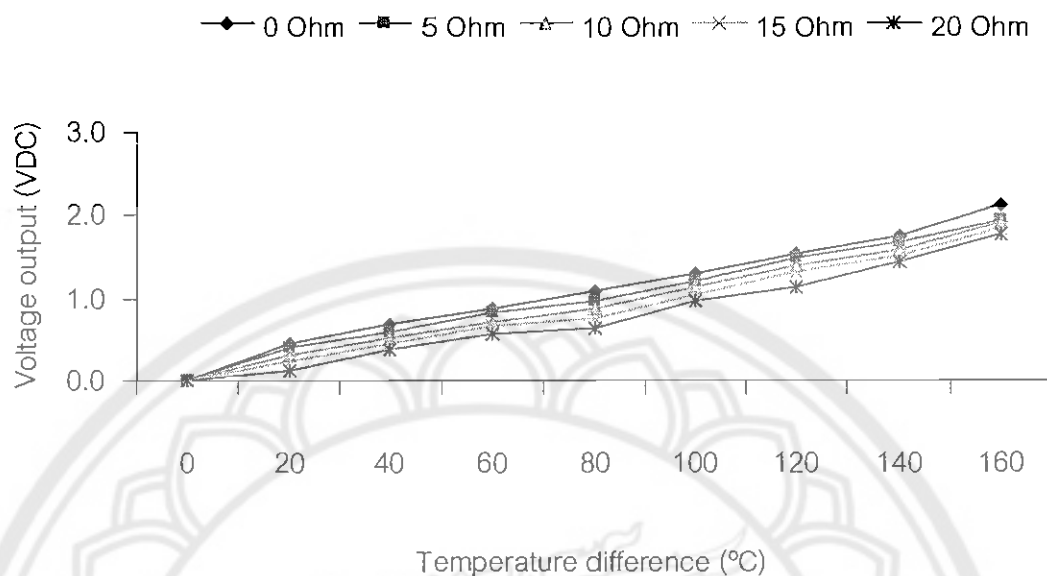
(ก) ผลของความต้านทานต่อแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

Cooling module MT2-1,6-127



(ข) ผลของความต้านทานต่อแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

Cooling module TEC1-12708



(ค) ผลของความต้านทานต่อแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

Power module TEP1-1264-3.4

ภาพ 44 ผลของความต้านทานต่อแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ พบว่าเมื่อผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแปรผันในทางเดียวกันกับผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก และแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะคงที่เมื่อผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในช่วงการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกนั่นเอง

ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ พบว่าเมื่อค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อกับเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกจะลดลง โดยที่ความต้านทาน 0 Ohm การผลิตไฟฟ้าจะให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด เมื่อความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 5, 10 และ 15 Ohm แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะลดลงตามลำดับ และที่ความต้านทาน 20 Ohm การผลิตไฟฟ้าจะให้แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด เนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีสมบัติขัดขวางหรือต้านทานการไหลของไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่า เทอร์โมอิเล็กทริก MT2-1,6-127 สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 2.18 volts ขณะที่เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 2.52 volts และเทอร์โมอิเล็กทริก TEP1-1264-3.4 สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 2.13 volts และจากการสังเกตผลการทดลองพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 มีผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้น้อย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเมื่อมีการเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ยังมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเทอร์โมอิเล็กทริกโมเดลอื่น ๆ กรณีเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อให้เท่ากัน สรุปผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้าได้ดังตาราง 5

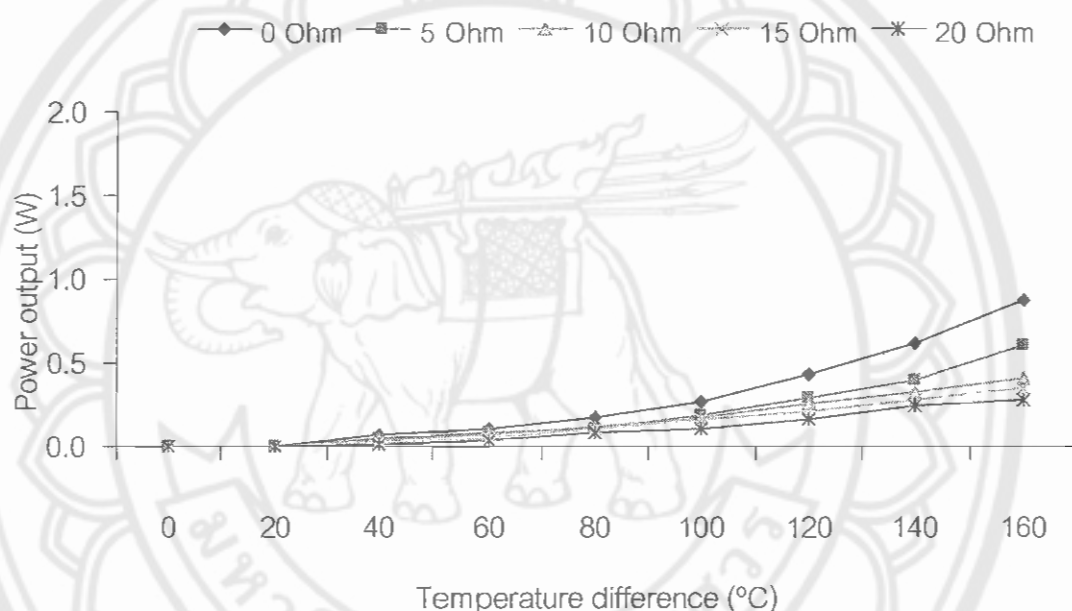
ตาราง 5 สรุปผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อการลดลงของแรงดันไฟฟ้า

ความต้านทานไฟฟ้า	MT2-1,6-127		TEC1-12708		TEP1-1264-3.4	
	V	%	V	%	V	%
0	2.18	-	2.52	-	2.13	-
5	2.15	1.38	2.39	5.16	1.93	9.39
10	1.87	14.22	2.17	13.89	1.91	10.33
15	1.71	21.56	2.08	17.46	1.85	13.15
20	1.39	36.24	2	20.63	1.76	17.37

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 สำหรับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า เนื่องจากมีความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 2.52 volts และเมื่อเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 ที่ค่าต่าง ๆ แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ยังมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเทอร์โมอิเล็กทริกโมเดลอื่น ๆ หรือสามารถกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้น้อยที่สุด

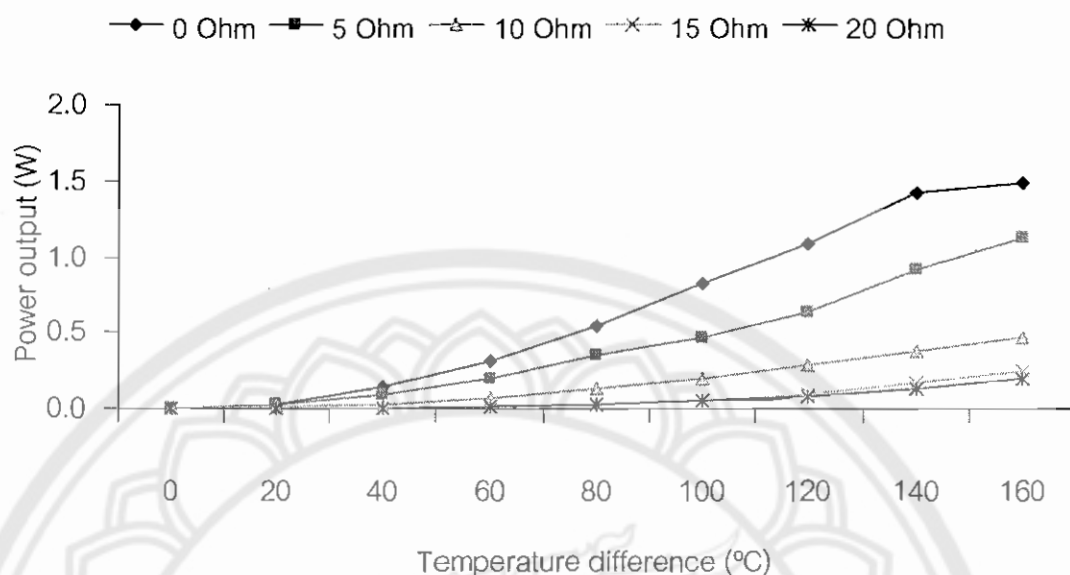
2 ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้า

จากการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมสำหรับผลิตไฟฟ้า เมื่อพิจารณาผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูลผลิตได้ และเปรียบเทียบผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูลผลิตได้ในกรณีที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่างกัน แสดงข้อมูลดังภาพ 45

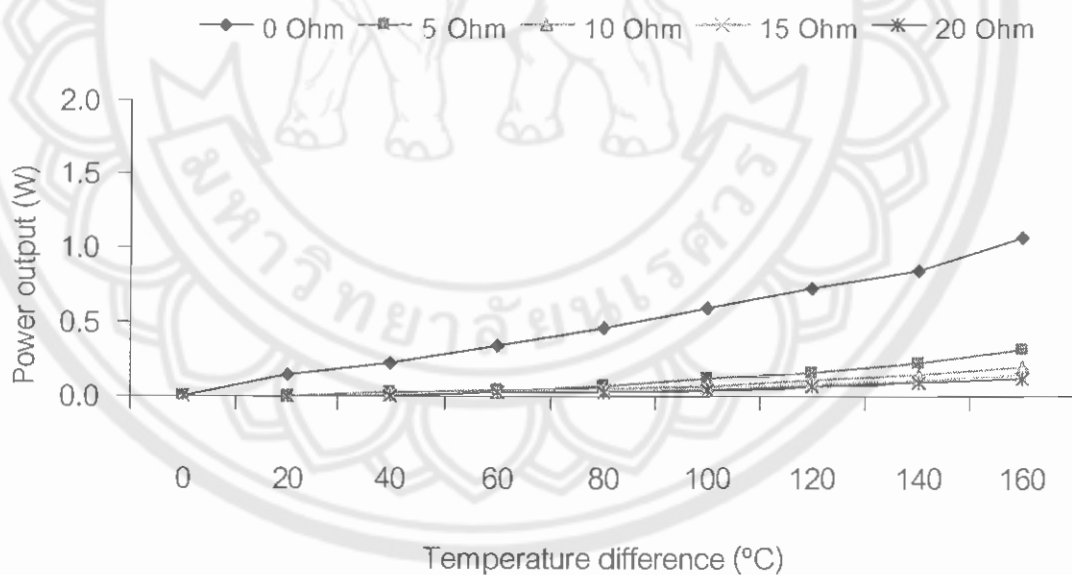


(ก) ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

cooling module MT2-1,6-127



(ข) ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก
cooling module TEC1-12708



(ค) ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก
power module TEP1-1264-3.4

ภาพ 45 ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ พบว่าเมื่อผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแปรผันในทางเดียวกันกับผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะคงที่เมื่อผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ในช่วงการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกนั่นเอง

ผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ พบว่าเมื่อค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อกับเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มสูงขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกจะลดลง โดยที่ความต้านทาน 0 Ohm การผลิตไฟฟ้าจะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 5, 10 และ 15 Ohm กำลังไฟฟ้าที่ได้จะลดลงตามลำดับ และที่ความต้านทาน 20 Ohm การผลิตไฟฟ้าจะให้กำลังไฟฟ้าต่ำสุด เนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีสมบัติขัดขวางหรือต้านทานการไหลของไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่า เทอร์โมอิเล็กทริก MT2-1,6-127 สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 0.87 watts ขณะที่เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.50 watts และเทอร์โมอิเล็กทริก TEP1-1264-3.4 สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.07 watts และจากการสังเกตผลการทดลองพบว่า เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 มีผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้น้อย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเมื่อมีการเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ยังมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเทอร์โมอิเล็กทริกโมเดลอื่น ๆ กรณีเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อให้เท่ากับ สรุปผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าได้ดังตาราง 6

ตาราง 6 สรุปผลของความต้านทานไฟฟ้าต่อการลดลงของกำลังไฟฟ้า

ความต้านทานไฟฟ้า	MT2-1,6-127		TEC1-12708		TEP1-1264-3.4	
	W	%	W	%	W	%
0	0.87	100.00	1.50	100.00	1.07	100.00
5	0.60	68.97	1.12	74.67	0.31	28.97
10	0.41	47.13	0.47	31.33	0.20	18.69
15	0.35	40.23	0.25	16.67	0.15	14.02
20	0.28	32.18	0.19	12.67	0.12	11.21

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 สำหรับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า เนื่องจากมีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่ 1.50 watts (2.52 volts, 0.59 Amp) และเมื่อมีการเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ยังมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลอื่น ๆ กรณีเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อให้เท่ากัน โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12708 จะเกิดขึ้นเมื่อมีการต่อเพิ่มความต้านทานไฟฟ้า 6 Ohm และมีความต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น 180 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมินอกช่วงของงานวิจัยนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงยึดผลที่ได้จากการทดลองเป็นหลักในการพิจารณาเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมกับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า

3 ราคาพลังงานไฟฟ้า

จากการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสม เมื่อนำผลการทดลองผลิตไฟฟ้าที่ได้มาวิเคราะห์ราคาพลังงานไฟฟ้า (energy cost) ที่ผลิตด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับทำความเย็น MT2-1,6-127, TEC1-12708 และเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า TEP1-1264-3.4 โดยใช้วิธีการคำนวณจากอายุการใช้งานของเทอร์โมอิเล็กทริก กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ และราคาโมดูล เพื่อหาราคาพลังงานไฟฟ้าของระบบ ราคาพลังงานที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ราคาพลังงาน} = \frac{\text{ราคาโมดูล}}{\text{อายุการใช้งาน} \times \text{กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้}}$$

ตาราง 7 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

จากตาราง 7 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

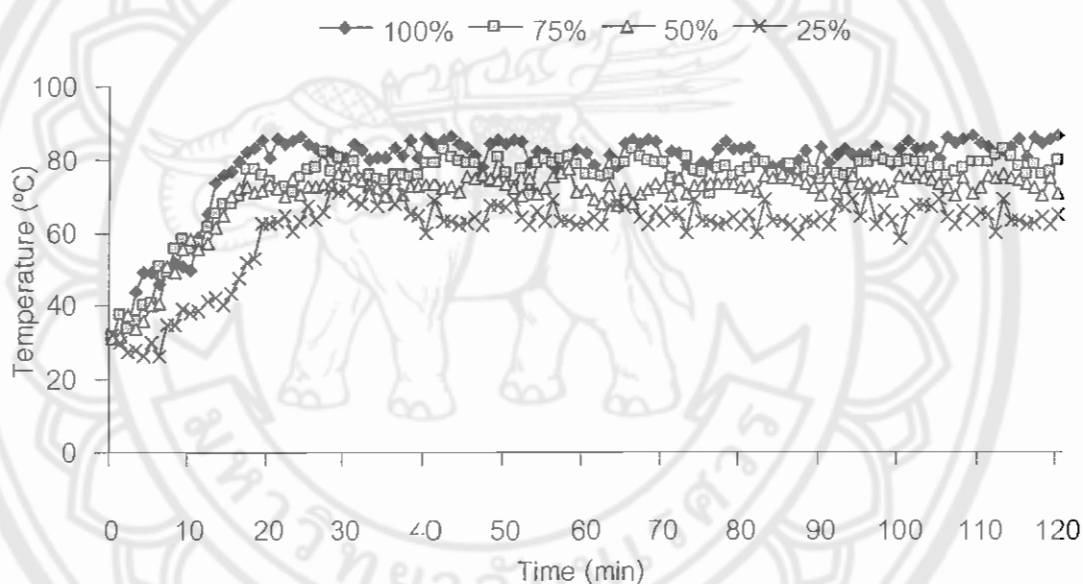
การศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า

จากการออกแบบระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าข้างต้น ได้ทำการติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าบริเวณผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า ความสามารถระบายอากาศของพัดลมระบายอากาศ เปรียบเทียบปริมาณความร้อนสูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และผลของการนำอากาศร้อนกลับไปใช้ต่ออุณหภูมิของห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ โดยได้ทำการอบแห้งห้องอบแห้งเปล่า เพื่อเก็บข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้ แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, อุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก, อุณหภูมิระบายความร้อนก่อนและหลังผ่านทองแดงระบายความร้อน, อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ระบายความร้อน, ความร้อนสูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และอัตราการไหลของอากาศของพัดลมระบายอากาศ โดยการทดสอบจะทำการทดสอบ 4 ชุด ใช้เวลาในการทดลองครั้งละ 2 ชั่วโมง เก็บข้อมูลทุก 1 นาที ทำการทดสอบชุดละ 2 ครั้ง และนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบ่งเป็น มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100, 75, 50 และ 25 เพื่อให้มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และเพื่อให้มีการระบายความชื้นออกจากห้องอบแห้ง

ในการออกแบบการทดลองใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาถึง ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า และอุณหภูมิของห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์เป็นหลัก เนื่องจากการลดอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ส่งผลถึงปริมาณอากาศร้อนและอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศร้อนในการพาความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่งผลถึงระยะเวลาในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงาน และอุณหภูมิของห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลต่าง ๆ ไว้ ดังนี้

1 เปรียบเทียบอุณหภูมิห้องอบแห้ง

ในส่วนนี้ทำการทดลองปรับช่องนำอากาศร้อนเพื่อให้มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100, 75, 50 และ 25 เพื่อศึกษาถึงปริมาณการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่ออุณหภูมิของห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ช่วยลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งและลดปริมาณการใช้พลังงานจากไม้ฟืน และเพื่อให้มีการระบายความชื้นออกจากห้องอบแห้งซึ่งช่วยให้อากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีประสิทธิภาพในการนำความร้อนสูงขึ้น ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการอบแห้งผลิตภัณฑ์และการใช้พลังงานในการอบแห้ง แสดงผลการทดลองดังภาพ 46



ภาพ 46 เปรียบเทียบอุณหภูมิห้องอบแห้งกรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน

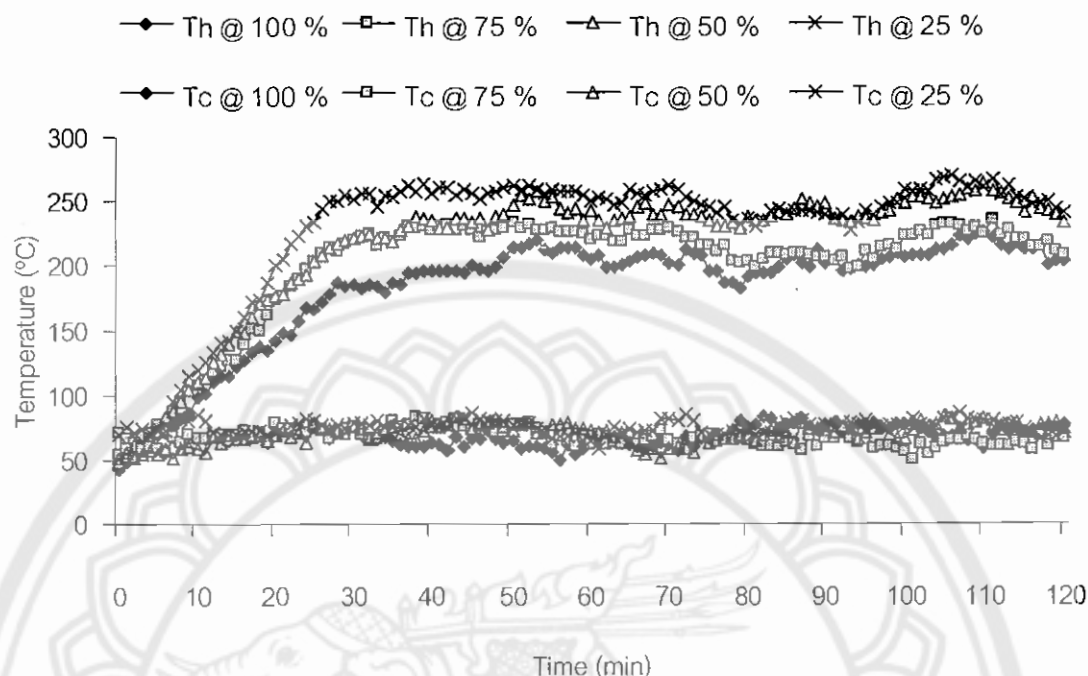
จากผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องอบแห้งกรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน พบว่าในการทดลองอบแห้งให้ห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ 80 °C ใช้เวลาประมาณ 20 นาที และห้องอบแห้งมีอุณหภูมิระหว่าง 64 – 81 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น พริกชี้ฟ้า ตะไคร้ ใบมะกรูด และลำไย [3]

จากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องอบแห้งกรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน ผลการทดลองบ่งชี้ว่าเมื่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 ห้องอบแห้งจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 81°C และเมื่อลดการนำอากาศร้อนกลับมาใช้เป็นร้อยละ 75, 50 และ 25 ห้องอบแห้งจะมีอุณหภูมิลดลงเฉลี่ยเป็น 76, 70 และ 64°C ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิห้องอบแห้งเกี่ยวกับการนำอากาศร้อนกลับมาใช้จากการทดลองอบแห้งเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า พบว่าห้องอบแห้งมีอุณหภูมิลดลงเมื่อมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ในปริมาณน้อยลง เนื่องจากการสูญเสียอากาศร้อนที่ใช้อบแห้งส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลดลง และเนื่องจากต้องควบคุมอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 250°C เพื่อป้องกันการเสียหายของระบบผลิตไฟฟ้าจากการละลายของเทอร์โมอิเล็กทริก

2 เปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของความแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและเย็นต่อความสามารถผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้า เปรียบเทียบความสามารถระบายความร้อนของทองแดงระบายความร้อนแต่ละชุด และเปรียบเทียบการกระจายความร้อนของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในแต่ละตำแหน่ง ในระหว่างการทดสอบได้ควบคุมอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกไม่ให้เกินกว่า 250°C [25] เพื่อป้องกันการเสียหายของระบบผลิตไฟฟ้าจากการละลายของเทอร์โมอิเล็กทริก และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าในช่วงที่พัดลมระบายอากาศต้องการ ส่วนด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกใช้การควบคุมอุณหภูมิให้อุณหภูมิต่ำที่สุดเพื่อให้เทอร์โมอิเล็กทริกมีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าสูงสุด แสดงผลการทดลองดังภาพ 47



ภาพ 47 การเปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก
กรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่กรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน พบว่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิระหว่าง 200 – 250 °C ขณะที่อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิประมาณ 50 – 70 °C ซึ่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับขั้นตอนการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสม

จากการทดลองการเปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกกรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน ผลการทดลองบ่งชี้ว่าเมื่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิเฉลี่ย 218 °C และเมื่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 75, 50 และ 25 อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเป็น 225, 235 และ 240 °C ตามลำดับ เนื่องจากการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ช่วยลดการสูญเสียอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้นเมื่อการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ลดลงจึงต้องเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้อุ่นอากาศให้เพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 100 อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิเฉลี่ย 70 °C และเมื่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้ร้อยละ 75, 50 และ 25 อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิ

เฉลี่ยเป็น 64, 58 และ 50 °C ตามลำดับ สรุปอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกที่กรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกันได้ดังตาราง 8

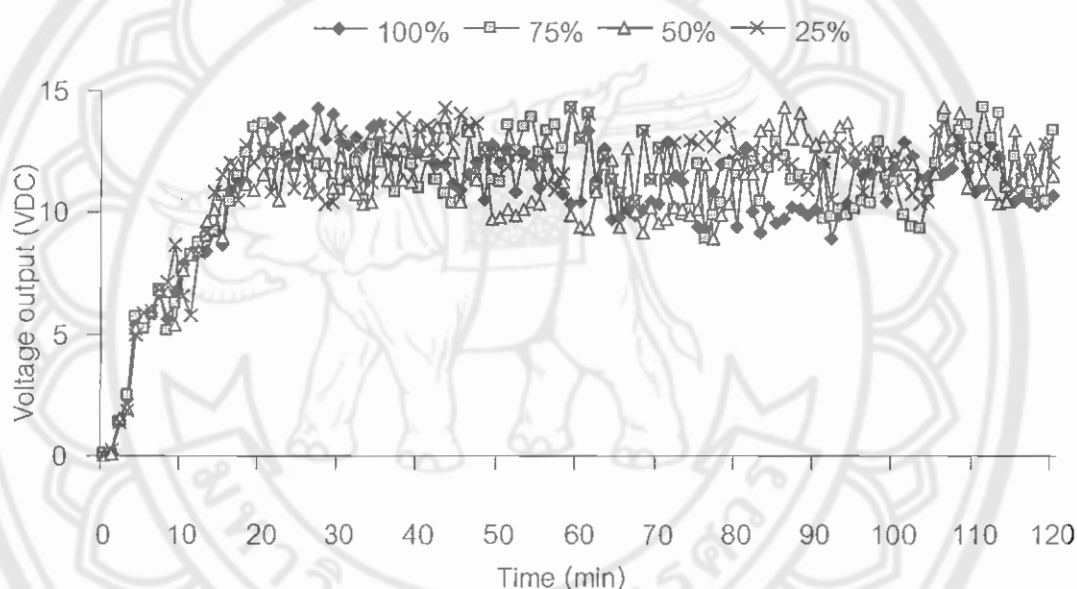
ตาราง 8 สรุปอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกที่กรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน

กรณีการนำ อากาศร้อน กลับมาใช้ใหม่	อุณหภูมิด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิด้าน เย็น (°C)	ความแตกต่าง (°C)	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
100 %	218	70	148	35
75 %	225	64	161	35
50 %	235	58	177	35
25 %	240	50	190	35

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกกรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน จากการทดลองอบแห้งเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า พบว่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกลดลงเมื่อมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ช่วยลดการใช้พลังงานในการอบแห้ง ส่งผลให้อุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากการเผาไหม้ลดลง และอุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกลดลงเมื่อมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้เพิ่มขึ้นเช่นกันแต่มีความแตกต่างไม่มากเมื่อพิจารณาถึงผลของการผลิตไฟฟ้าซึ่งต่างกันประมาณ 0.2 W หรือคิดเป็นร้อยละ 0.89 และจากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการระบายความร้อนของทองแดงระบายความร้อนแต่ละชุดมีความสามารถในการระบายความร้อนที่ทัดเทียมกัน ทำให้การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากน้ำมีความสามารถในการนำความร้อนที่ดี เพียงพอสำหรับการนำความร้อนที่ต้องการระบายออกจากทองแดงระบายความร้อน จึงส่งผลให้อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างคงที่ในกรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน และการกระจายความร้อนบริเวณผนังด้านหลังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีการกระจายความร้อนอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณ ส่งผลให้ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูลสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทัดเทียมกัน

3 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้ากรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน การศึกษาเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเพื่อศึกษาถึงผลการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า การทดลองทำการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าให้มีค่า 12 V ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่พัดลมระบายอากาศต้องการ (0.5 A, 12 VDC) ซึ่งเป็นผลจากการควบคุมอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้อยู่ในช่วงที่กำหนดในทุกกรณีของการทดสอบการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน แสดงผลการทดลองดังภาพ 48



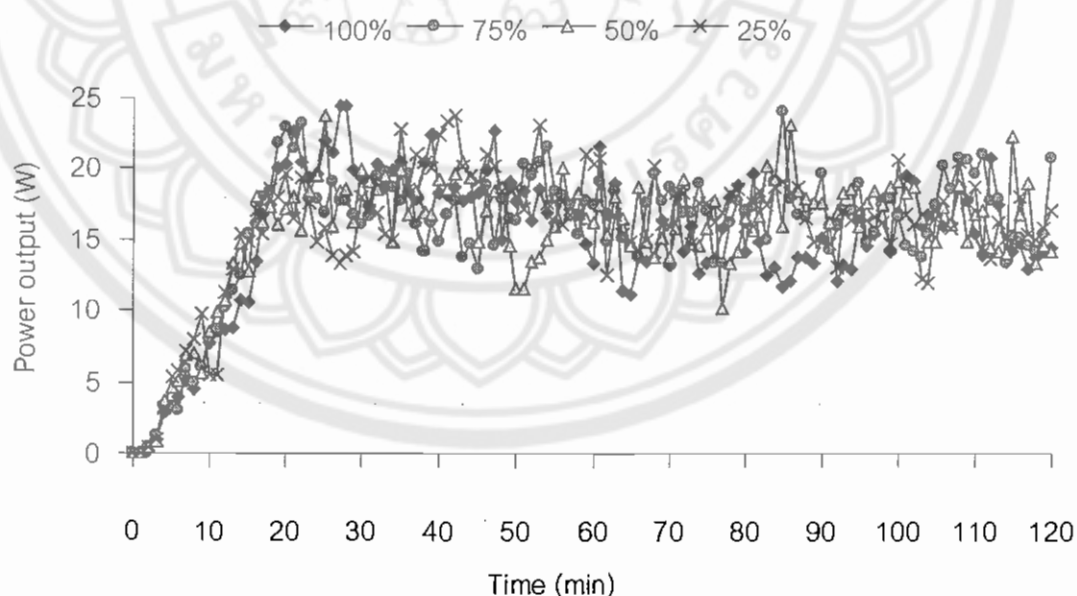
ภาพ 48 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน

จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน ผลการทดลองบ่งชี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าบ่งชี้ว่าการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ในสัดส่วนที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าผลิตได้ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าอยู่ในช่วง 10 - 14 VDC ซึ่งอยู่ในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่พัดลมระบายอากาศทำงาน เนื่องจากพัดลมระบายอากาศเริ่มทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 7 VDC และมีวงจรตัดไฟอัตโนมัติเพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์กรณีที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 15 VDC

เมื่อพิจารณาการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบแห้งชีวมวล แรงดันไฟฟ้าที่ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้นำมาใช้โดยตรงโดยไม่มีการผ่านเครื่องปรับแรงดัน (DC to DC) ให้คงที่ก่อน ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงไม่ราบเรียบเหมือนไฟฟ้าที่ได้จากสายส่งหรือแบตเตอรี่สำรอง แต่ผลจากการสังเกตการทำงานของระบบผลิตเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าและการทำงานของพัดลมระบายอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าผลิตได้อยู่ในช่วงที่พัดลมระบายอากาศทำงานเต็มประสิทธิภาพ และภายในพัดลมระบายอากาศมีวงจรปรับแรงดันไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์

4 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า

ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า การศึกษาเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า เพื่อศึกษาถึงผลการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า การทดลองทำการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ให้มากที่สุด เพื่อให้เพียงพอต่อพัดลมระบายอากาศ 4 ตัว แสดงผลการทดลองดังภาพ 49



ภาพ 49 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน

จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากรณีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต่างกัน ผลการทดลองอบแห้งเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพบว่า การนำอากาศร้อนกลับมาใช้ในสัดส่วนที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าผลิตได้ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 12.2 – 22.4 W มากพอสำหรับจ่ายให้กับพัดลมระบายอากาศจำนวน 4 ตัว ซึ่งต้องการกำลังไฟฟ้าเพียงตัวละ 0.96 – 6.00 W

ดังนั้นจากขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้ออกแบบและติดตั้งพบว่าระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าจำนวน 2 ชุด สามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอสำหรับจ่ายให้กับพัดลมระบายอากาศจำนวน 4 ตัว เพื่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและเต็มประสิทธิภาพ สามารถสรุปประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าแสดงดังตาราง 9

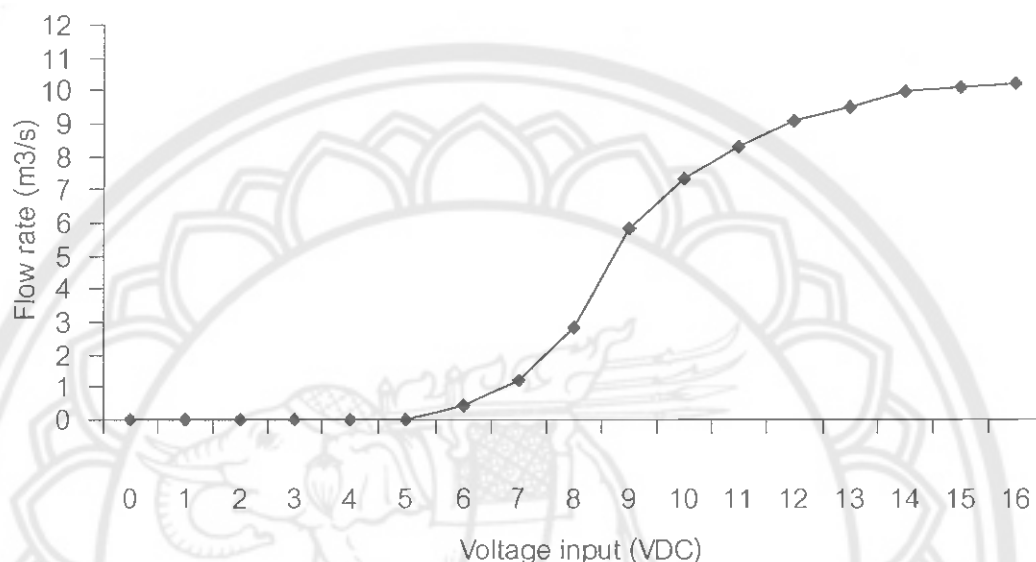
ตาราง 9 ข้อมูลสรุประบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนทิ้งจากเครื่องอบแห้งชีวมวล

ข้อมูล	ปริมาณ
แรงดันไฟฟ้า	10.2 – 14.0 VDC
กระแสไฟฟ้า	1.2 – 1.6 A
กำลังไฟฟ้า	12.24 – 22.40 W
อุณหภูมิห้องอบแห้ง	64 – 81 °C
อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก	218 - 240 °C
อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก	50 - 70 °C
อุณหภูมิน้ำก่อนผ่านทองแดงระบายความร้อน	~35 °C
อุณหภูมิน้ำหลังผ่านทองแดงระบายความร้อน	~40 °C
ปริมาณไหลของอากาศ	~ 9.62 m ³ /s
ราคาพลังงาน	1.87 บาท/Wh

5 อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าต่อปริมาณการไหลของอากาศ

ในการทดลองผลของการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าต่อปริมาณการไหลของอากาศ โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งให้กับเครื่องอบแห้งชีวมวล เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าต่อปริมาณการไหลของอากาศซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการพาความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ การทดลองทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมระบาย

อากาศที่ 1 - 18 VDC ใช้เครื่องวัดความเร็วลมวัดค่าบริเวณกลางใบพัด ทำการวัดที่ค่าแรงดันไฟฟ้าค่าละ 6 ตำแหน่งและใช้การหาค่าเฉลี่ยจากการผลการทดลอง แสดงผลการทดลองดังภาพ 50



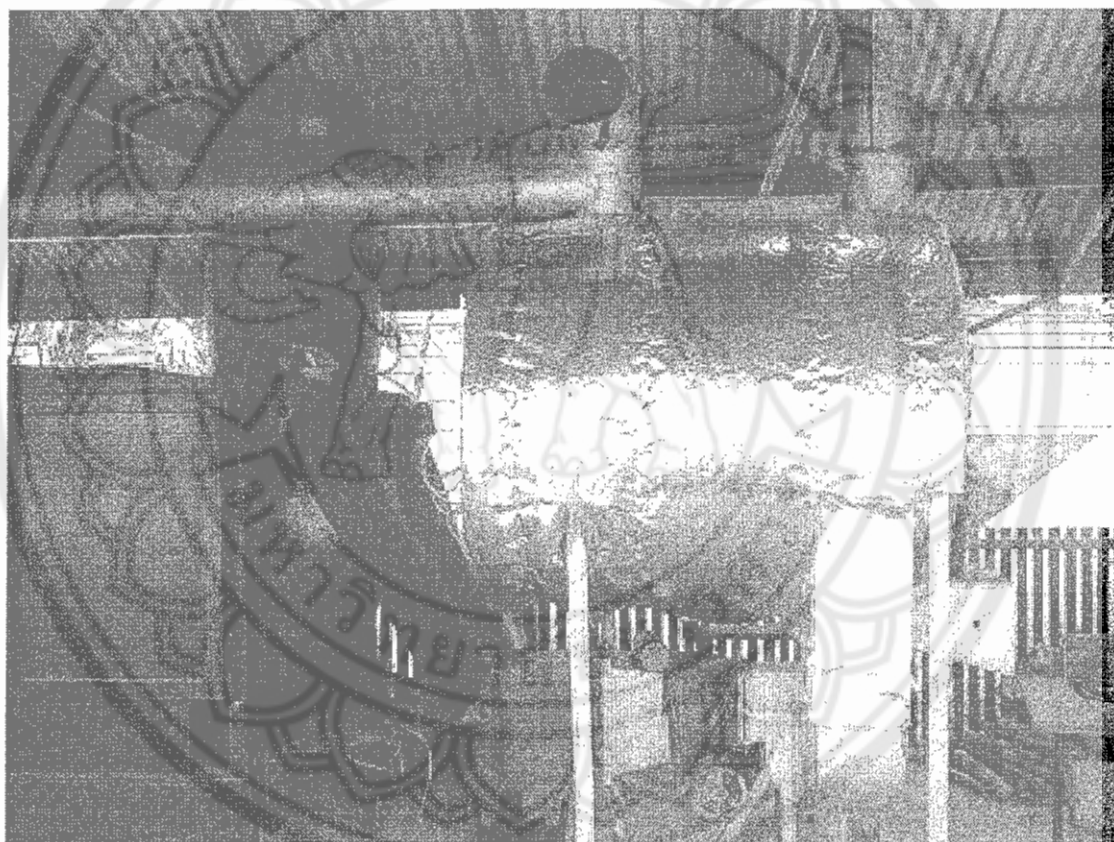
ภาพ 50 อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าต่อปริมาณการไหลของอากาศ

จากการทดลองการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมระบายอากาศ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าต่อปริมาณการไหลของอากาศ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าพัดลมระบายอากาศเริ่มทำงานที่แรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 6 - 16 VDC ปริมาตรของอากาศที่ไหลผ่านที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 10.2 - 14.0 VDC ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าผลิตได้มีปริมาตร 7.35 - 9.95 m³/s ซึ่งมีปริมาตรเทียบเท่ากับปริมาตรการไหลของพัดลมระบายอากาศเดิม

เมื่อพิจารณาผลการศึกษการทดลองการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมระบายอากาศพบว่า พัดลมระบายอากาศสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 4 ตัว สามารถใช้สำหรับระบายอากาศในเครื่องอบแห้งชีวมวลได้โดยมีปริมาตรการไหลของอากาศเทียบเท่ากับปริมาตรการไหลของพัดลมระบายอากาศเดิม และพัดลมระบายอากาศมีวงจรภายในสำหรับตัดไฟฟ้าเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมระบายอากาศสูงกว่า 16 VDC

6 การปรับปรุงเครื่องอบแห้งเพื่อลดการสูญเสียความร้อน

โดยในขั้นตอนติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าได้ทำการปรับปรุงเครื่องอบแห้งชีวมวล โดยการหุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยไมโครไฟเบอร์ แสดงดังภาพ 51 เพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อนโดยเปล่าประโยชน์จากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานในการอบแห้ง ใช้การวัดอัตราการสูญเสียพลังงานความร้อนบริเวณผนังโดยรอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 6 จุด ด้วยเครื่องวัดความร้อนสูญเสีย และใช้การหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลเพื่อการคำนวณ

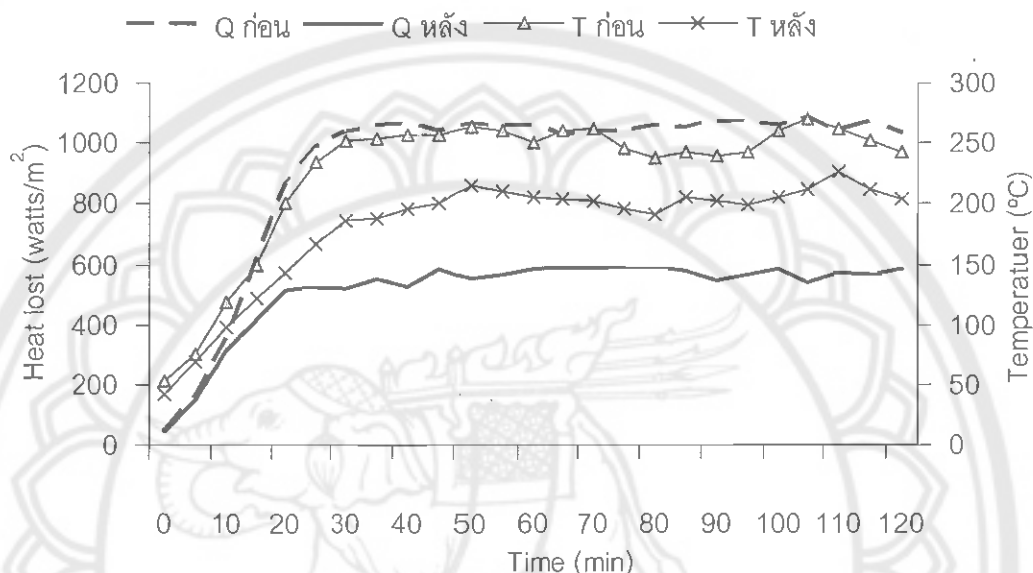


ภาพ 51 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังหุ้มฉนวนไมโครไฟเบอร์กันความร้อน

7 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนสูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนสูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ใช้การพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความร้อนสูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า เพื่อศึกษาถึง

ปริมาณการใช้พลังงานความร้อนของระบบอบแห้ง และเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมในการอบแห้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าและการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง แสดงผลการทดลองดังภาพ 52



ภาพ 52 เปรียบเทียบอุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่สูญเสีย

ในการทดลองเปรียบเทียบปริมาณความร้อนสูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า พบว่าปริมาณความร้อนสูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเฉลี่ย $1,041.43 \text{ W/m}^2$ และปริมาณความร้อนสูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย 560.85 W/m^2 พิจารณาเปรียบเทียบปริมาณพลังงานความร้อนสูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงร้อยละ 53.8

เมื่อพิจารณาถึงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนสูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า พบว่าการหุ้มฉนวนกันความร้อนสามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้เป็นอย่างดี รวมถึงสามารถนำอากาศร้อนกลับมาใช้ในการอบแห้ง

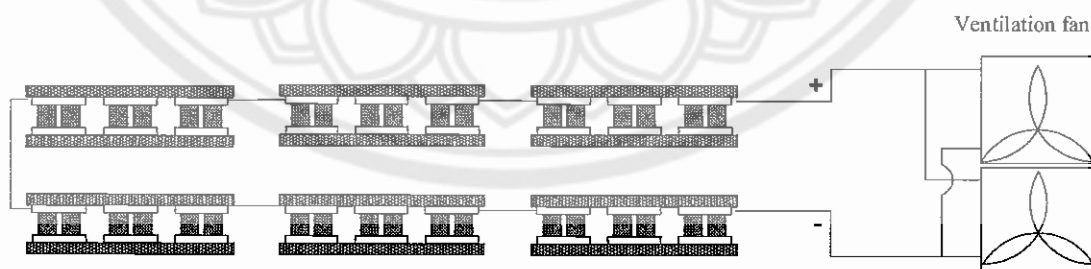
ผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น สามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในการอบแห้งได้ ทั้งนี้สัดส่วนของการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ต้องคำนึงถึงปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ และปริมาณความชื้นในอากาศด้วยเช่นกัน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า ใช้การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ เทียบกับความสามารถในการระบายความร้อนจากด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อหาประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก และการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการอบแห้งในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า เพื่อศึกษาการลดปริมาณความร้อนที่ใช้ในระบบอบแห้งและมูลค่าพลังงานในการอบแห้งที่การลดลง

1 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าที่ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าผลิตได้ใช้ข้อมูลจากการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า โดยค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าหนึ่งชุดซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกต่ออนุกรมจำนวน 6 โมดูล แผนภาพวงจรไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าแสดงดังภาพ 53



ภาพ 53 วงจรไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าหนึ่งชุด

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า 1 ชุด สามารถคำนวณได้จาก

$$P_o = IV \quad (15)$$

โดยที่

P_o = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

I = กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (1.6 A)

V = แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ (14.0 VDC)

จะได้

$$\begin{aligned} P_o &= (1.6 \text{ A}) (14.0 \text{ VDC}) \\ &= 22.40 \text{ Wh / set} \end{aligned}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าหนึ่งชุด มีค่าเท่ากับ 22.40 W สำหรับจ่ายให้กับพัดลมระบายอากาศจำนวน 2 ตัว ที่มีการเชื่อมต่อแบบขนาน

ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้งให้กับเครื่องอบแห้งชีวมวลมีจำนวน 2 ชุด กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงมีปริมาณเป็น 2 เท่าของระบบผลิตไฟฟ้า 1 ชุด ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าจำนวน 2 ชุด ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 12 โมดูล สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} P_1 &= (22.40 \text{ Wh/set})(2 \text{ set}) \\ &= 44.8 \text{ Wh} \end{aligned}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟารวมที่ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าผลิตได้ต่อพื้นที่ผิวของเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถคำนวณเป็นกำลังไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าผลิตได้ต่อพื้นที่ในการผลิตไฟฟ้าได้จาก

$$P = \frac{P_1}{A} \quad (16)$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \text{กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้} & (44.8 \text{ Wh}) \\
 A &= \text{พื้นที่ผิวของเทอร์โมอิเล็กทริก} & (0.0192 \text{ m}^2)
 \end{aligned}$$

เนื่องจาก

$$A = A_1 \times n \quad (17)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \text{พื้นที่ผิวของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล} & (0.0016 \text{ m}^2 / \text{module}) \\
 n &= \text{จำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล} & (12 \text{ module})
 \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}
 A &= (0.0016 \text{ m}^2 / \text{module}) \times (12 \text{ module}) \\
 &= 0.0192 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned}
 P &= (268.2 \text{ Wh}) / (0.0192 \text{ m}^2) \\
 &= 2,333.33 \text{ Wh} / \text{m}^2
 \end{aligned}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อพื้นที่คำนวณจากความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าเท่ากับ $2,333.33 \text{ Wh} / \text{m}^2$ ที่อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าเท่ากับ 200°C และ 50°C ตามลำดับ

2 ความสามารถในการระบายความร้อนของชุดทองแดงระบายความร้อน

ความสามารถในการระบายความร้อนของชุดทองแดงระบายความร้อนให้ข้อมูลในการคำนวณจากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าคือ อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยข้อมูลที่ใช้เป็นค่าที่ได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการทดลอง สามารถคำนวณได้จาก

$$Q = \dot{m}c_p(T_h - T_c) \quad (18)$$

โดยที่

Q = อัตราการถ่ายเทพลังงานของชุดทองแดงระบายความร้อน

$\dot{m}$ = อัตราไหลเชิงมวลของน้ำระบายความร้อน (0.000049 kg / s)

C_p = ค่าความจุความร้อนของน้ำ (0.2161 kJ / kg °C)

T_h = อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (200 °C)

T_c = อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (50 °C)

จะได้

$$\begin{aligned} Q &= (0.000049 \text{ kg / s})(2,161 \text{ J / kg } ^\circ\text{C})(200 ^\circ\text{C} - 50 ^\circ\text{C}) \\ &= (15.88 \text{ J / s}) \times (1 \text{ W s / J}) \times (3,600 \text{ s / hr}) \\ &= 57,180.06 \text{ Wh} \end{aligned}$$

ดังนั้นความสามารถในการระบายความร้อนของชุดทองแดงระบายความร้อนมีค่าเท่ากับ 57,180.06 Wh

3 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าหรือความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก หมายถึงความสามารถในการแปลงพลังงานความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทริกได้รับเป็นพลังงานไฟฟ้า ถ้าไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้มีกำลังสูงแสดงว่าเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูง สามารถหาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{P_o}{Q_h} \times 100 \% \quad (19)$$

โดยที่

η = ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

P_o = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (2,333.33 Wh)

Q_h = ความสามารถในการระบายความร้อน (57,180.06 Wh)

จะได้

$$\eta = \frac{(2,333.33 \text{ Wh})}{(57,180.06 \text{ Wh})} \times 100 \% \\ = 4.08 \%$$

ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกคิดเป็นร้อยละ 4.08

4 การใช้พลังงานของระบบอบแห้ง

การใช้พลังงานของระบบอบแห้งพิจารณาจากพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเพื่อการเปรียบเทียบ คือ การใช้พลังงานรวมในการอบแห้งในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และการใช้พลังงานรวมในการอบแห้งในขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดการพิจารณาดังนี้

4.1 ก่อนปรับปรุงเครื่องอบแห้ง พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ

- พลังงานความร้อนจากไม้ฟืน สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{พลังงานความร้อน} = C_p m \quad (20)$$

โดยที่

$$C_p = \text{ความจุความร้อนของไม้ยูคาลิปตัส} \quad (20,083.2 \text{ kJ / kg} \cdot ^\circ\text{C}) \quad [24]$$

$$M = \text{มวลของไม้ยูคาลิปตัส} \quad (6.0 \text{ kg})$$

จะได้

$$\text{พลังงานความร้อน} = (20,083.2 \text{ kJ / kg})(6.0 \text{ kg}) \\ = 120,499.2 \text{ kJ}$$

- พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = P \times t \quad (21)$$

โดยที่

$$P = \text{กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์} \quad (1,562 \text{ Wh})$$

$$t = \text{เวลาที่ใช้ไฟฟ้า} \quad (2 \text{ hr})$$

จะได้

$$\begin{aligned} \text{พลังงานไฟฟ้า} &= (1.562 \text{ kWh})(2 \text{ hr})(3600 \text{ kJ/kWh}) \\ &= 11,246.4 \text{ kJ} \end{aligned}$$

- พลังงานรวมของระบบอบแห้งก่อนการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

$$\begin{aligned} \text{พลังงานรวม} &= \text{พลังงานความร้อน} + \text{พลังงานไฟฟ้า} \\ &= (120,499.2 \text{ kJ}) + (11,246.4 \text{ kJ}) \\ &= 131,745.6 \text{ kJ} \end{aligned}$$

ดังนั้นพลังงานรวมที่ใช้ในการอบแห้งก่อนการปรับปรุงเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 123,623.2 kJ

4.2 หลังปรับปรุงเครื่องอบแห้ง พลังงานที่ใช้มีเพียง

- พลังงานความร้อนจากไม้ฟืน สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{พลังงานความร้อน} = C_p m$$

โดยที่

$$C_p = \text{ความจุความร้อนของไม้ยูคาลิปตัส} \quad (20,083.2 \text{ kJ / kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$m = \text{มวลของไม้ยูคาลิปตัส} \quad (2.8 \text{ kg})$$

มวลของไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้ในการอบแห้งลดลง เนื่องจากการหุ้มฉนวนกันความร้อนแก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งช่วยลดการสูญเสียความร้อนบริเวณผนังทำให้การใช้ไม้ยูคาลิปตัสเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งลดลง

จะได้

$$\begin{aligned}\text{พลังงานความร้อน} &= (20,083.2 \text{ kJ / kg})(2.8 \text{ kg}) \\ &= 56,232.9 \text{ kJ}\end{aligned}$$

ดังนั้นพลังงานรวมที่ใช้ในการอบแห้งหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 56,232.9 kJ

พลังงานที่ประหยัดได้

พลังงานที่ประหยัดได้จากการติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า และการปรับปรุงเครื่องอบแห้งชีวมวล สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}\text{พลังงานที่ประหยัดได้} &= (\text{ก่อนปรับปรุง} - \text{หลังปรับปรุง}) / \text{ระยะเวลาอบแห้ง} \quad (22) \\ &= (131,745.6 \text{ kJ}) - (56,232.9 \text{ kJ}) / (2 \text{ hr}) \\ &= 37,756.35 \text{ kJ / hr}\end{aligned}$$

ดังนั้นพลังงานที่ประหยัดได้จากการติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า และการปรับปรุงเครื่องอบแห้งชีวมวล คำนวณเป็นปริมาณพลังงานที่สามารถประหยัดได้ต่อชั่วโมงเท่ากับ 37,756.35 kJ / hr

5 การนำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์

จากขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า พบว่าน้ำที่ใช้ในการพาความร้อนออกจากทองแดงระบายความร้อนเพื่อการระบายความร้อนจากด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อไหลออกจากทองแดงระบายความร้อนสู่ถังรองรับ น้ำที่ได้มีอุณหภูมิ 35 - 40 °C

จากการศึกษาเกี่ยวกับการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 35 - 40 °C ทางกรมเกษตรพบว่า น้ำที่ผ่านการพาความร้อนจากทองแดงระบายความร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร แต่สามารถนำกลับมาใช้พาความร้อนจากทองแดงระบายความร้อนในระบบระบายความร้อนได้อีกโดยไม่ส่งผลต่อความสามารถในการระบายความร้อนจากทองแดงระบายความร้อน

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า พิจารณาการทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอบแห้งจากสายส่งด้วยการผลิตไฟฟ้าจากระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า เพื่อหาจุดคุ้มทุนของการใช้ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือในการลงทุน โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นการอบแห้งที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อป้อนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า และการอบแห้งที่ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับพัดลมระบายอากาศ โดยมีสรุปการติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าและการปรับปรุงเครื่องอบแห้งชีวมวล เปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งชีวมวลก่อนการปรับปรุงที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า แสดงดังตาราง 10 สามารถวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าได้ดังนี้

ตาราง 10 เปรียบเทียบเครื่องอบแห้งชีวมวล (BDS) และเครื่องอบแห้งชีวมวลร่วมกับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า (BDTE)

ข้อมูล	BDS	BDTE
ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (220 VAC)	1,562 kWh	-
ปริมาณการใช้ไม้ฟืน	6.0 kg / h	2.3 kg / h
มูลค่าการลงทุนรายปี	37,253 บาท	11,780 บาท
ฉนวนกันความร้อน	-	ไมโครไฟเบอร์
อุณหภูมิห้องอบแห้งเฉลี่ย (กรณีการนำอากาศกลับมาใช้ร้อยละ 100)	80 °C	81 °C
อุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเฉลี่ย (กรณีการนำอากาศกลับมาใช้ร้อยละ 100)	250 °C	218 °C
ปริมาณการไหลของอากาศเฉลี่ย (กรณีการนำอากาศกลับมาใช้ร้อยละ 100)	9.56 m ³ / s	9.62 m ³ / s
ปริมาณความร้อนสูญเสียเฉลี่ย (กรณีการนำอากาศกลับมาใช้ร้อยละ 100)	1,041.43 W / m ²	560.85 W / m ²
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (12 VDC)	-	22.4 Wh

1 การวิเคราะห์เงินลงทุนรายปี

ในการวิเคราะห์เงินลงทุนรายปีนี้จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนเพื่อเปรียบเทียบเงินลงทุนรายปีของระบบการอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า และการอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า สำหรับใช้ในการคำนวณหาค่าผลตอบแทนสุทธิรายปีและระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตไฟฟ้า โดยใช้วิธีการประเมินอัตรามูลค่าเงินลงทุนรายปีต่ออัตราผลตอบแทนรายปี สามารถคำนวณได้จาก

1.1 การอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

สำหรับการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า มีสมมติฐานดังนี้

- กำหนดอายุการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้า	10	ปี
- กำหนดอายุการใช้งานของสายพานมอเตอร์	3	เดือน
- ค่าไฟฟ้า	2.7	บาท / หน่วย
- ราคาเชื้อเพลิง	3.0	บาท / กิโลกรัม
- ระยะเวลาอบแห้งรายปี	450	ชั่วโมง / ปี

จากข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ สามารถคำนวณหาเงินลงทุนรายปีได้จาก

$$\begin{aligned} \text{มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี} &= \text{เงินลงทุนของมอเตอร์ไฟฟ้ายรายปี} \\ &+ \text{เงินลงทุนของสายพานมอเตอร์รายปี} \\ &+ \text{เงินลงทุนค่าพลังงาน(ไฟฟ้า + ฟืน)} \end{aligned} \quad (23)$$

จะได้

$$\begin{aligned} \text{มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี (C}_m\text{)} &= (320) + (340) + (3,796 + 4,050) \\ &= 8,506 \text{ บาท / ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้นมูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปีของการอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 8,506 บาท / ปี

1.2 การอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า

สำหรับการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า มีสมมติฐานดังนี้

- กำหนดอายุการใช้งานของเทอร์โมอิเล็กทริก 20 ปี
- กำหนดอายุการใช้งานของพัดลมระบายอากาศ 5 ปี
- กำหนดอายุการใช้งานของแผงระบายความร้อน 20 ปี
- ราคาเชื้อเพลิง 3.0 บาท / กิโลกรัม
- ระยะเวลาอบแห้งรายปี 450 ชั่วโมง / ปี

จากข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ สามารถคำนวณหาเงินลงทุนรายปีได้จาก

$$\begin{aligned} \text{มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี} &= \text{เงินลงทุนของเทอร์โมอิเล็กทริกรายปี} \\ &+ \text{เงินลงทุนของพัดลมระบายอากาศรายปี} \\ &+ \text{เงินลงทุนของแผงระบายความร้อน} \\ &+ \text{เงินลงทุนค่าพลังงาน(ฟืน)} \end{aligned} \quad (24)$$

จะได้

$$\begin{aligned} \text{เงินลงทุนรายปีของระบบผลิตไฟฟ้า (C}_{TE}) &= (174) + (400) + (900) + (1,890) \\ &= 3,364 \text{ บาท / ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้นมูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปีของการอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 3,364 บาท / ปี

2 ผลตอบแทนสุทธิรายปี

จากการคำนวณหามูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปีของระบบอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า และระบบอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า สามารถคำนวณหาผลตอบแทนสุทธิรายปีได้จาก

$$\text{ผลตอบแทนสุทธิรายปี (B}_t) = C_m - C_{TE} \quad (25)$$

จะได้

$$= (8,506 - 3,364) \text{ บาท / ปี}$$

$$= 5,142 \text{ บาท / ปี}$$

ดังนั้นผลตอบแทนสุทธิรายปีจากการอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าเทียบกับการอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 5,142 บาท / ปี

3 ระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวณหาผลตอบแทนสุทธิรายปีจากการอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าเทียบกับการอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า พิจารณาระยะเวลาคืนทุนของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า สำหรับกรณีระยะเวลาการใช้เครื่องอบแห้ง 450 ชั่วโมง/ปี สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{PBP} &= \frac{(C_{TE})}{(B_t)} \\ &= \frac{3,364 \text{ บาท / ปี}}{5,142 \text{ บาท / ปี}} \\ &= 7 \text{ เดือน 28 วัน} \end{aligned} \quad (26)$$

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าสำหรับกรณีระยะเวลาการใช้เครื่องอบแห้ง 450 ชั่วโมง/ปี มีค่าเท่ากับ 7 เดือน 28 วัน

จากการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า มูลค่าเงินลงทุนที่เพิ่มเข้ามา คือเงินลงทุนที่ใช้ในการสร้างระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า ในขณะเดียวกันก็จะได้เงินที่ประหยัดจากมอเตอร์ไฟฟ้า พูลเลย์ สายพาน และค่าไฟฟ้า โดยมีระยะเวลาคืนทุนของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 7 เดือน 28 วัน และถ้าเครื่องอบแห้งมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปีหรือมีชั่วโมงการใช้งานเพิ่มขึ้น ระยะเวลาคืนทุนของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าจะลดลงแปรผันในทางเดียวกันกับระยะเวลาการใช้งานเครื่องอบแห้งชีวมวล

4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) [21] เป็นการคำนวณหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายที่ใช้ในโครงการลงทุนที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้ว โดยการพิจารณาเลือกการลงทุนใช้การพิจารณาเลือกโครงการลงทุนที่ให้ค่า NPV สูงสุด สามารถหาจากสมการ

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)} = \text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน} - \text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย} \quad (27)$$

หรือ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

โดยที่

B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t (บาท)

C_t = ต้นทุนในปีที่ t (บาท)

r = อัตราคิดลด หรืออัตราดอกเบี้ย (%)

t = ปีของโครงการ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1,2,3,...,n (ปี)

n = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ หรืออายุโครงการ (ปี)

พิจารณาผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้วเมื่อกำหนดอายุของโครงการเป็น 10 ปี สำหรับกรณีระยะเวลาการใช้เครื่องอบแห้ง 450 ชั่วโมง/ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ได้จากการลงทุนระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = 15,601 \text{ บาท}$$

หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าโครงการนี้มี NPV เท่ากับ 15,601 บาท หรือมีค่ามากกว่า 0 สำหรับกรณีระยะเวลาการใช้เครื่องอบแห้ง 450 ชั่วโมง/ปี แสดงว่ามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวมมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ดังนั้นนักลงทุนหรือเกษตรกรจึงสมควรลงทุนในโครงการนี้

5 อัตราผลตอบแทนของโครงการ

อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate Of Return: IRR) [21] เป็นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของโครงการลงทุน หรืออัตราคิดลด (r) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับศูนย์

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (28)$$

อัตราผลตอบแทนของโครงการคือค่าอัตราคิดลด หากอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับเงินทุนที่ใช้ในโครงการ แสดงว่าโครงการนี้มีกำไร จึงเหมาะสมที่จะลงทุน

การคำนวณหาอัตราคิดลด (r) ที่ทำให้โครงการคุ้มทุนพอดี นั่นคือ NPV มีค่าเป็นศูนย์ ต้องใช้การทดลองหาค่าหลายๆครั้ง แล้วใช้วิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์ ในการหาอัตราผลตอบแทนของโครงการ อัตราคิดลดที่สูงเกินไป จะให้ NPV เป็นลบ และอัตราคิดลดที่ต่ำเกินไป จะให้ NPV เป็นบวก สามารถหาได้ดังนี้

พิจารณาอัตราผลตอบแทนของโครงการเมื่อกำหนดอายุของโครงการเป็น 10 ปี สำหรับกรณีระยะเวลาการใช้เครื่องอบแห้ง 450 ชั่วโมง/ปี อัตราผลตอบแทนของโครงการระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าผลิตไฟฟ้า สามารถหา โดยใช้วิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์เพื่อหาค่าอัตราผลตอบแทนจริงของโครงการ สามารถหาได้จากสมการ

$$IRR = r_1 + \left[(r_2 - r_1) \times \frac{NPV @ r_1}{\Delta NPV} \right] \quad (29)$$

เมื่อ

$$\Delta NPV = NPV @ r_1 - NPV @ r_2$$

โดยที่

IRR	= อัตราผลตอบแทนของโครงการ	
r1	= อัตราคิดลดตัวต่ำ	(120 %)
r2	= อัตราคิดลดตัวสูง	(125 %)
NPV@r1	= NPV ของอัตราคิดลดตัวต่ำ	(19.0)
NPV@r2	= NPV ของอัตราคิดลดตัวสูง	(-16.9)

จะได้

$$\begin{aligned}
 IRR &= 120 + \left[(125 - 120) \times \frac{19.0}{19.0 - (-16.9)} \right] \\
 &= 120 + [5 \times 0.529] \\
 &= 122.6 \%
 \end{aligned}$$

จากการหาค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า สำหรับกรณีระยะเวลาการใช้เครื่องอบแห้ง 450 ชั่วโมง/ปี พบว่าค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการมีค่าเท่ากับ 122.6 % ซึ่งเมื่อนำค่าผลตอบแทนของโครงการที่ได้ไปเปรียบเทียบกับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของโครงการซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.5 % พบว่าอัตราผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยกู้ของโครงการ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเกษตรกรสมควรลงทุนในโครงการนี้

6 ผลตอบแทนของโครงการสำหรับเครื่องอบแห้งกรณีระยะเวลาการใช้งานที่แตกต่างกัน
การใช้งานเครื่องอบแห้งของเกษตรกรในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่เพาะปลูกและประเภทของผลผลิต ดังนั้นผลตอบแทนของโครงการของเครื่องอบแห้งในแต่ละพื้นที่จึงมีผลลัพธ์ที่ต่างกัน ผลตอบแทนของเครื่องอบแห้งกรณีระยะเวลาการใช้งานที่แตกต่างกันแสดงดังตาราง 11

ตาราง 11 ผลตอบแทนของโครงการสำหรับเครื่องอบแห้งกรณีระยะเวลาการใช้งานที่แตกต่างกัน

ชั่วโมงการใช้งาน (ชั่วโมง / ปี)	BDS			BDTE			ผลการประหยัด (บาท)	PBP	NPV	IRR
	เชื้อเพลิง ง (บาท)	ไฟฟ้า (บาท)	รวมเงินลงทุน (บาท)	เชื้อเพลิง ง (บาท)	ไฟฟ้า (บาท)	รวมเงิน ทุน (บาท)				
150	1,350	1,265	3,275	630	0	2,104	1,171	1y 9m 21d	-3,023	-
300	2,700	2,531	5,891	1,260	0	2,734	3,157	10m 17d	6,292	35.16 %
450	4,050	3,796	8,506	1,890	0	3,364	5,142	7m 28d	15,601	122.65 %
600	5,400	5,061	11,121	2,520	0	3,994	7,127	6m 25d	24,910	293.59 %
750	6,750	6,327	13,737	3,150	0	4,624	9,113	6m 5d	34,226	486.40%

จากตาราง 11 พบว่าโครงการนี้จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเป็นบวกเมื่อมีระยะเวลาการใช้งานเครื่องอบแห้งมากกว่า 300 ชั่วโมง / ปี และอัตราผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่าอัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (7.5 %) เมื่อมีระยะเวลาการใช้งานเครื่องอบแห้งมากกว่า 450 ชั่วโมง / ปี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโครงการนี้สมควรลงทุนเมื่อระยะเวลาการใช้งานเครื่องอบแห้งซึ่งมีผลมากกว่า 450 ชั่วโมง / ปี

7 การวิเคราะห์ต้นทุนแปรผัน

สำหรับระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า ต้นทุนแปรผันของโครงการคือมูลค่าไม้ฟืนที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้นผลตอบแทนของโครงการจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อโครงการเกิดการแปรผันของต้นทุน ผลตอบแทนของโครงการกรณีต้นทุนของโครงการแปรผัน แสดงดังตาราง 12

ตาราง 12 ผลตอบแทนของโครงการกรณีต้นทุนแปรผัน (กรณีระยะเวลาอบแห้ง 450 ชั่วโมง / ปี)

ราคาเชื้อเพลิง (บาท/กิโลกรัม)	เงินลงทุนรายปี (บาท)	ผลตอบแทนรายปี (บาท)	PBP (Month - Day)	NPV (บาท)	IRR (%)
1.0	2,104	3,702	6m 27d	14,365	105.75
1.5	2,419	4,062	7m 7d	14,674	109.78
2.0	2,734	4,422	7m 15d	14,983	113.93
2.5	3,049	4,782	7m 22d	15,292	116.78
3.0	3,364	5,142	7m 28d	15,601	122.65
3.5	3,679	5,502	8m 4d	15,910	127.24
4.0	3,994	5,862	8m 18d	16,233	132.02
4.5	4,309	6,222	8m 12d	16,529	137.00
5.0	4,624	6,582	8m 16d	16,838	142.19

จากตาราง 12 การหาผลตอบแทนของโครงการกรณีต้นทุนมูลค่าไม้ฟืนแปรผัน พบว่าระยะเวลาคืนทุนของระบบค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ขณะที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนของโครงการมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับมูลค่าไม้ฟืนที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการสำหรับเครื่องอบแห้งกรณีระยะเวลาการใช้งานที่แตกต่างกัน และการวิเคราะห์ต้นทุนแปรผันของโครงการกรณีต้นทุนมูลค่าไม่พื่นเกิดการแปรผัน พบว่าระยะเวลาการใช้เครื่องอบแห้งรายปีมีผลต่อระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนของโครงการโดยตรง ขณะที่ต้นทุนแปรผันของโครงการส่งผลต่อระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนของโครงการน้อยมาก

ผลตอบแทนด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า ปริมาณพลังงานความร้อนจากที่ใช้ในระบบอบแห้งเปรียบเทียบระหว่างขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า เพื่อศึกษาผลตอบแทนทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สามารถประเมินผลตอบแทนตามสมมติฐานได้ดังนี้ กำหนดสมมติฐาน

- ความจุความร้อนของไม้ยูคาลิปตัส (20,083.2 kJ / kg · °C)
- ระยะเวลาอบแห้งรายปี (450 hr / year)
- พลังงานความร้อนที่ใช้ก่อนการปรับปรุง (60,249.6 kJ / hr)
- พลังงานความร้อนที่ใช้หลังการปรับปรุง (28,116.45 kJ / hr)

1 พลังงานความร้อนที่สามารถประหยัดได้ทั่วประเทศรายปี

พิจารณาการใช้พลังงานความร้อนจากไม้ยูคาลิปตัสสำหรับการอบแห้งรายปีของเครื่องอบแห้งชีวมวล 1 เครื่อง พบว่าเมื่อเครื่องอบแห้งผ่านการปรับปรุงและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า ปริมาณการใช้พลังงานในการอบแห้งรายปีที่ลดลง พิจารณาการใช้พลังงานความร้อนเปรียบเทียบจากก่อนและหลังปรับปรุงเครื่องอบแห้ง ดังสมการ

$$Q_{TES} = (Q_{TB} - Q_{TA}) \times T_d \quad (32)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 Q_{TES} &= \text{พลังงานความร้อนที่สามารถประหยัดได้} \\
 Q_{TB} &= \text{พลังงานความร้อนที่ใช้ก่อนการปรับปรุง} & (60,249.6 \text{ kJ/hr}) \\
 Q_{TA} &= \text{พลังงานความร้อนที่ใช้หลังการปรับปรุง} & (28,116.45 \text{ kJ/hr}) \\
 T_d &= \text{ระยะเวลาอบแห้งรายปี} & (450 \text{ hr/year})
 \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}
 &= (131,745.6 - 56,232.9 \text{ kJ/hr}) \times 450 \text{ hr/year} \\
 &= 16,990,357.5 \text{ kJ/year}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นพลังงานความร้อนจากไม้ยูคาลิปตัสที่สามารถประหยัดได้รายปีของเครื่องอบแห้งชีวมวล 1 เครื่อง มีค่าเท่ากับ 16,990,357.5 kJ/yr คิดเป็นร้อยละ 42.68 กรณีระยะเวลาอบแห้งรายปีเท่ากับ 450 hr/year

พิจารณาการใช้พลังงานความร้อนจากไม้ยูคาลิปตัสสำหรับการอบแห้งรายปีที่สามารถประหยัดได้ทั่วประเทศของเครื่องอบแห้งชีวมวล กำหนดสมมติฐานจำนวนเครื่องอบแห้งชีวมวลทั่วประเทศจากข้อมูลทางการปกครองส่วนภูมิภาคของกรมการปกครอง พบว่าปัจจุบัน ประเทศไทยมีจำนวนตำบล 7,255 ตำบล [22] การประเมินผลตอบแทนด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สามารถหาได้จากสมการโดยสร้างสมมติฐานไว้ ดังนี้

$$Q_{Total} = Q_{TE} \times n \times T_d \quad (33)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 Q_{Total} &= \text{พลังงานที่ประหยัดได้ทั่วประเทศ} \\
 Q_{TE} &= \text{พลังงานความร้อนที่สามารถประหยัดได้} \\
 N &= \text{จำนวนเครื่องอบแห้งชีวมวลทั่วประเทศ} \\
 T_d &= \text{ระยะเวลาอบแห้งรายปี}
 \end{aligned}$$

จะได้

ตาราง 13 พลังงานความร้อนที่สามารถประหยัดได้ทั่วประเทศรายปี

หน่วย : million kJ / yr

ระยะเวลา อบแห้งรายปี	จำนวนเครื่องอบแห้งชีวมวลทั่วประเทศ					
	2,000	4,000	6,000	7,255	8,000	10,000
150	22,650	45,300	67,950	82,200	90,600	113,250
500	45,300	90,600	135,900	164,400	181,200	226,500
450	67,950	135,900	203,850	246,600	271,800	339,750
600	90,600	181,200	271,800	328,800	362,400	453,000
750	113,250	226,500	339,750	411,000	453,000	566,250

ดังนั้นพลังงานความร้อนจากไม้ยูคาลิปตัสที่สามารถประหยัดได้รายปีทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 246,600 GJ / yr กรณีจำนวนเครื่องอบแห้งชีวมวลทั่วประเทศเท่ากับ 7,255 เครื่อง และระยะเวลาอบแห้งรายปี 450 hr / yr

2 น้ำหนักไม้ยูคาลิปตัสรายปีที่ประหยัดได้ทั่วประเทศ

พลังงานความร้อนจากไม้ยูคาลิปตัสที่ประหยัดได้หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้งและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า สำหรับการอบแห้งรายปีของเครื่องอบแห้งชีวมวลทั่วประเทศ น้ำหนักไม้ยูคาลิปตัสรายปีที่สามารถประหยัดได้ทั่วประเทศ สามารถคำนวณได้จาก

$$W_{\text{wood}} = \frac{Q_{\text{total}}}{C_{p,\text{wood}}} \quad (34)$$

เมื่อ

W_{wood} = น้ำหนักไม้ยูคาลิปตัส (kg)

Q_{total} = พลังงานความร้อนที่สามารถประหยัดได้ทั่วประเทศ (kJ)

$C_{p,\text{wood}}$ = ค่าความจุความร้อนของไม้ยูคาลิปตัส (kJ / kg·°C)

จะได้

$$= \frac{1.26467 \times 10^{12} \text{ kJ}}{20,083.2 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 62,971,899.92 \text{ kg/yr}$$

ดังนั้นน้ำหนักไม้ยูคาลิปตัสรายปีที่ประหยัดได้ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 62,971,899.92 kg/yr หรือคิดเป็น 62,971.9 ตันต่อปี

3 มูลค่าไม้รายปีที่สามารถประหยัดได้ทั่วประเทศ

มูลค่าไม้ยูคาลิปตัสรายปีที่สามารถประหยัดได้ทั่วประเทศของเครื่องอบแห้งชีวมวลทั่วประเทศ หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้งและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า เพื่อหามูลค่ารวมของไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้เป็นพลังงานความร้อนในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ สามารถหาได้จาก

$$\text{มูลค่าไม้ยูคาลิปตัส} = \text{น้ำหนักไม้} \times \text{ราคา} \quad (35)$$

จะได้

$$= (62,971,899.92 \text{ กิโลกรัม/ปี}) \times (3 \text{ บาท/กิโลกรัม})$$

$$= 188,915,699.8 \text{ บาท/ปี}$$

ดังนั้นมูลค่าไม้ยูคาลิปตัสรายปีที่สามารถประหยัดทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 188,915,699.8 บาท/ปี

4 พื้นที่ป่าไม้รายปีที่สามารถลดการถูกทำลายได้ทั่วประเทศ

จากน้ำหนักไม้ยูคาลิปตัสรายปีที่สามารถประหยัดได้ทั่วประเทศ ใช้การพิจารณาผลตอบแทนด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่าการปรับปรุงเครื่องอบแห้งและติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าช่วยลดการถูกทำลายพื้นที่ป่าไม้ได้เป็นจำนวนมาก สามารถหาจาก

$$A = \frac{W_{\text{wood}}}{P_{\text{wood}} \times P_{\text{wood}}} \quad (36)$$

เมื่อ

A = พื้นที่ป่าไม้ (ไร่)

 $W_{\text{wood}} =$ น้ำหนักไม้ (kg) (62,971,899.92 kg / yr) $P_{\text{wood}} =$ ผลผลิตต่อไร่ (m^3 / ไร่) (64 m^3 / ไร่) [23] $\rho_{\text{wood}} =$ ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (kg / m^3) (495 kg / m^3)

จะได้

$$= \frac{62,971,899.92 \text{ kg / yr}}{(66.4 \text{ m}^3) \times (495 \text{ kg / m}^3)}$$

$$= 1,915.9 \text{ ไร่ / ปี}$$

ดังนั้นพื้นที่ป่าไม้รายปีที่สามารถลดการถูกทำลายได้ทั่วประเทศจากการปรับปรุงเครื่องอบแห้งและติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1,915.9 ไร่ / ปี

5 การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปีจากการปรับปรุงเครื่องอบแห้งชีวมวลและติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าสำหรับเครื่องอบแห้งชีวมวล 1 เครื่อง ใช้การพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนการปรับปรุงระบบอบแห้งและหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้งชีวมวลและการติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า สามารถหาได้จาก

5.1 ก่อนปรับปรุง ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถหาได้จาก

$$\text{CO}_{2,\text{before}} = (E_{\text{ee}} \times \text{CO}_{2,\text{ee1}}) + (F_f \times \text{CO}_{2,\text{com1}}) \quad (37)$$

โดยที่

 $\text{CO}_{2,\text{before}}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 ก่อนการปรับปรุง (kg/yr) E_{ee} = ปริมาณไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า (702.9 kWh) $\text{CO}_{2,\text{ee1}}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 จากการผลิตไฟฟ้า (0.5984 kg / kWh) F_f = น้ำหนักไม้พื้นที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง (11,565 kg / yr) $\text{CO}_{2,\text{com1}}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 จากการเผาไหม้ (3.11 kg)

จะได้

$$= (702.9 \text{ kWh} \times 0.59843421 \text{ kg/kWh}) + (11,565 \text{ kg/yr} \times 3.11 \text{ kg})$$

$$= 36,381.79 \text{ kg/yr}$$

ดังนั้นปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องอบแห้งชีวมวลจากการอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 36,381.79 kg

5.2 หลังปรับปรุง ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถหาได้จาก

$$CO_{2,after} = (F_r \times CO_{2,com2}) \quad (38)$$

โดยที่

$$CO_{2,after} = \text{ปริมาณการปล่อย } CO_2 \text{ หลังการปรับปรุง (kg)}$$

$$F_r = \text{น้ำหนักไม้ฟืนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง (kg/yr)} \quad (3,435.33 \text{ kg / yr})$$

$$CO_{2,com2} = \text{ปริมาณการปล่อย } CO_2 \text{ จากการเผาไหม้ (kg/hr)} \quad (3.11 \text{ kg})$$

จะได้

$$= (3.11 \text{ kg}) \times (3,435.33 \text{ kg/yr})$$

$$= 10,683.89 \text{ kg/yr}$$

ดังนั้นปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องอบแห้งชีวมวลจากการอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 10,683.89 kg/yr

6 การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปี

การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปีจากการปรับปรุงเครื่องอบแห้งชีวมวลและติดตั้งระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้ามาจาก ผลต่างของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการอบแห้งก่อนและหลังการปรับปรุง สามารถหาได้จาก

$$CO_{2,save} = CO_{2,before} - CO_{2,after} \quad (39)$$

โดยที่

$CO_{2,save}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 ที่ลดลงจากการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง (kg/yr)

$CO_{2,before}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 ก่อนการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง (kg/yr)

$CO_{2,after}$ = ปริมาณการปล่อย CO_2 หลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง (kg/yr)

จะได้

$$= (36,381.79 \text{ kg/yr}) - (10,683.89 \text{ kg/yr})$$

$$= (25,697.9 \text{ kg/yr})$$

ดังนั้นปริมาณการปล่อย CO_2 ที่ลดลงจากการปรับปรุงเครื่องอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 25,697.9 kg/yr

หรือสามารถคิดเป็นร้อยละได้จาก

$$CO_2 = \frac{CO_{2,after}}{CO_{2,before}} \times 100 \quad (40)$$

จะได้

$$\begin{aligned} &= \frac{10,683.89}{36,381.79} \times 100\% \\ &= 29.37\% \end{aligned}$$

ดังนั้นผลตอบแทนสุทธิของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปีเปรียบเทียบการอบแห้งผลิตภัณฑ์ของระบบอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและการอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า พบว่าการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปีมีค่าเท่ากับ 25,703.9 kg/yr หรือคิดเป็นร้อยละ 29.37

7 การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วประเทศ

จากผลตอบแทนสุทธิของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปีเปรียบเทียบการอบแห้งผลิตภัณฑ์ของระบบอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและการอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า พิจารณาภาพรวมของการใช้เครื่องอบแห้งชีวมวลทั่วประเทศ การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วประเทศ สามารถหาได้จาก

$$CO_{2,total} = CO_{2,save} \times n \quad (41)$$

โดยที่

$CO_{2,total}$ = การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วประเทศ

$CO_{2,save}$ = การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเครื่อง

n = จำนวนเครื่องอบแห้งชีวมวล

จะได้

$$= (25,697.9 \text{ kg/yr}) \times (7,255)$$

$$= 186,438,264.5 \text{ kg/yr}$$

ดังนั้นผลตอบแทนสุทธิของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปีทั่วประเทศ เปรียบเทียบการอบแห้งผลิตภัณฑ์ของระบบอบแห้งด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและการอบแห้งด้วยระบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า พบว่าการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปีทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 186,438,264.5 kg/yr หรือ 186 ล้านตัน/ปี

เมื่อพิจารณาการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปี เปรียบเทียบกรณีระยะเวลาการอบแห้งรายปีและจำนวนเครื่องอบแห้งแตกต่างกัน การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปีแสดงดังตาราง 14

ตาราง 14 การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายปี

หน่วย : million kg / yr

ระยะเวลา อบแห้ง รายปี	จำนวนเครื่องอบแห้งชีวมวลร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริก					
	2,000	4,000	6,000	7,255	8,000	10,000
150	17.1	34.3	51.4	62.1	68.5	85.7
300	34.3	68.5	102.8	124.3	137.0	171.3
450	51.4	102.8	154.2	186.4	205.6	257.0
600	68.5	137.0	205.6	248.6	274.1	342.6
750	85.7	171.3	257.0	310.7	342.6	428.3