



รายงานการวิจัย

การศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนจากเตาเศรษฐกิจ

The Study of Cook-Stove Thermoelectric Power Generator

ผู้วิจัย

นายณรงค์ ตั้งวาระนที



โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้พิจารณาโครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพงบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2552

ขอบคุณ กองคลัง ที่ได้ช่วยชี้แนะในเรื่องของการเงิน ที่ได้อำนวยความสะดวก และคำแนะนำเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ ดร.จิราภรณ์ สัพทานนท์ รองอธิการบดี และ ผศ.ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์ พร้อมทั้งทีมงานของสถาบันวิจัยและพัฒนา ผู้ที่ได้ให้โอกาสในการเข้าร่วมกิจกรรมดี ๆ ของสถาบันวิจัยและพัฒนาด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ ดร.นิสากร วัฒนศิริพงษ์ ที่คอยเป็นกำลังใจ และช่วยพิจารณางานวิจัย



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทดลองการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 4 โมดูล (Taihuxing , China model TEP1 – 1264 – 3.4) ติดกับเตาเศรษฐกิจ เพื่อใช้ความร้อนทั้งจากเตาเศรษฐกิจมาทำการผลิตไฟฟ้า ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งกับปล่องควันที่ติดกับด้านข้างของเตาเศรษฐกิจ และด้านเย็นติดตั้งกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีปส์เหลี่ยมผืนผ้า ในการศึกษาทดลองได้ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทำงานของระบบ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยการปรับเปลี่ยนค่าความร้อนที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก และการปรับค่าความต้านทานต่าง ๆ ผลจากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิความร้อนในแผ่นความร้อน 200°C จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 4.5 W ประสิทธิภาพการแปลงความร้อนเป็นกระแสไฟฟ้าเป็น 11.9 % กระแสไฟฟ้า 0.84 A แรงดันไฟฟ้าเป็น 5.35 V ประสิทธิภาพการใช้งานของเตาเป็น 23.20 % และเมื่อรวมพลังงานจากการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกและในการใช้งานเตาเศรษฐกิจจะมีประสิทธิภาพ 23.39 %



Abstract

The objective of this work is study the power generation using thermoelectric 4 module (Taihuxing , Chaina model TEP1 – 1264 – 3.4). This module was installed to the stove for generating power from waste heat of stove. The hot side of thermoelectric attach to the iron plate beside the stove and cool side join with the rectangular fin heat exchanger. In order to obtain the maximum electric power, the experiments were designed by varying the input heat for thermoelectric and adjusting the resistance. The experimental results show that the hot plate temperature of 200°C provides the maximum power to 4.5 W , the thermoelectric efficiency to 11.9 % (at the current of 0.84 A and the voltage of 5.35 V), the stove and thermoelectric efficiency to 23.39 %.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	จ
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2 การกำเนิดไฟฟ้าจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	4
2.1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	4
2.1.1 ประวัติและการค้นพบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	4
2.1.2 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	5
2.1.3 ลักษณะการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ	6
2.1.4 ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	8
2.1.4.1 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว	8
2.1.4.2 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น	8
2.2 การผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก	10
2.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานเตาเสริมลูกจิก	11
2.4 แหล่งความร้อนเหลือทิ้ง	11
2.4.1 ที่มาของความร้อนเหลือทิ้ง	11
2.4.2 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้ง	12

3	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	14
3.1	เครื่องต้นแบบ	14
3.2	การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก	14
3.3	การติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล	17
3.4	วิธีการทดลอง	14
3.5	อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	15
4	ผลการดำเนินงานและผลการวิจัย	23
4.1	ผลของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก	24
4.2	ผลของความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่ให้อุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าที่ได้	24
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	27
5.1	สรุปผล	27
5.2	วิจารณ์ผลการวิจัย	27
5.3	ข้อเสนอแนะ	28
	บรรณานุกรม	29
	ภาคผนวก	30
	ภาคผนวก ก อุณหภูมิต่างๆ ในการทดสอบประสิทธิภาพเตาเศรษฐกิจ	31
	ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณทางไฟฟ้า	34
	ภาคผนวก ค ตัวอย่างการทดสอบเตาเศรษฐกิจ	36
	ภาคผนวก ง การคำนวณหาประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก	39
	ภาคผนวก จ ประวัตินักวิจัย	44

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 2.1 ลักษณะการต่อวงจรของซีเบ็ค	4
ภาพที่ 2.2 ลักษณะการต่อวงจรของเพลเทียร์	5
ภาพที่ 2.3 ลักษณะการไหลของอิเล็กตรอนของวัสดุกึ่งตัวนำแบบเอ็น	5
ภาพที่ 2.4 ลักษณะการไหลของโฮลของวัสดุกึ่งตัวนำแบบพี	6
ภาพที่ 2.5 ลักษณะการเชื่อมต่อของวัสดุกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นต่อชนิดเอ็น	6
ภาพที่ 2.6 ลักษณะการต่อเชื่อมของสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นต่ออนุกรมกัน	7
ภาพที่ 2.7 ลักษณะการต่อเชื่อมของสารกึ่งตัวนำของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก	7
ภาพที่ 2.8 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว	8
ภาพที่ 2.9 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น	9
ภาพที่ 2.10 ความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้พลังงานแหล่งต่าง ๆ	12
ภาพที่ 3.1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	14
ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบผลิตไฟฟ้า	15
ภาพที่ 3.3 การติดเทอร์โมอิเล็กทริกกับเตาเศรษฐกิจ	16
ภาพที่ 3.4 การติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่จุดต่าง ๆ	18
ภาพที่ 3.5 สายเทอร์โมคัปเปิลแบบเค	19
ภาพที่ 3.6 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ	19
ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดความเร็วลม	20
ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดมลพิษ	20
ภาพที่ 3.9 แผ่นทำความร้อน	21
ภาพที่ 3.10 หม้อแปลงปรับแรงดัน	21
ภาพที่ 3.11 เครื่องวัดความร้อนสูญเสียน	22
ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิความร้อนในเตา แผ่นเหล็ก เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และอากาศระเหิดระบายความร้อนกับเวลา	23
ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้ากับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อน และด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก	24
ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่ใช้และกำลังไฟฟ้า ที่ได้เมื่อปรับอุณหภูมิที่ 75 °C 120 °C และ 200 °C	25
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกกับความร้อน	25
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกกับประสิทธิภาพของระบบ	26

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหาความต้องการพลังงานของประเทศมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดปัญหาด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมและการหาแหล่งพลังงานสำรอง เพื่อรองรับแนวโน้มความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้น จากปัญหาดังกล่าวจึงก่อให้เกิดการคิดค้นเทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจคือเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก โดยการนำความร้อนทิ้งมาเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นสารกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยขั้ว N และ P ซึ่งต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้า และแบบขนานทางความร้อน สารกึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตเทอร์โมอิเล็กทริกมีหลายชนิด เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งทำความเย็นและผลิตกระแสไฟฟ้า ในด้านการทำความเย็นเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้เทอร์โมอิเล็กทริก ๆ จะทำหน้าที่เหมือนปั๊มความร้อนดูดความร้อนที่ด้านหนึ่ง ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจึงต้องต่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกทั้งด้านร้อนและด้านเย็น จะทำให้เกิดการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการต่อภาระทางไฟฟ้าให้กับระบบ จากหลักการดังกล่าวสามารถนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยใช้ความร้อนทิ้ง ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่ไม่ต้องซื้อหาและไม่ทำลายสภาวะแวดล้อมอีกด้วย

จากการศึกษาพบว่ามีกรนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาผลิตไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนทิ้งเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน [1] ได้ศึกษาการนำความร้อนจากไอเสีย ของก๊าซที่เผาไหม้จากเตาในโรงงานอุตสาหกรรมมาให้ความร้อนกับเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 5 โมดูล สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 27.6 วัตต์ ที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 150°C [2] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนของการเผาไหม้ก๊าซที่ใช้ในการต้มน้ำร้อน โดยเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแปลงความร้อนได้ 5 % ความร้อนที่เหลืออีก 95 % ถูกส่งไปให้ความร้อนกับน้ำ ในการออกแบบนี้ใช้ในเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 โมดูล และใช้น้ำเป็นสารระบายความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 500°C เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 50 วัตต์ ในด้านของต้นทุนของเทอร์โมอิเล็กทริกต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า (วัตต์) สำหรับ [3] เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่แตกต่างกับ 16 โมดูล จาก 9 โรงงาน พบว่ามีมูลค่าประมาณอยู่ระหว่าง 3600 บาทต่อวัตต์ ถึง 180 บาทต่อวัตต์ ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่จะอยู่ที่เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลประมาณ 80 % ของต้นทุนทั้งระบบ

ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวทางในการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำความร้อนทิ้งจากเตาเศรษฐกิจมาเป็นแหล่งให้พลังงานแก่เทอร์โมอิเล็กทริก โดยจะติดตั้งด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกไว้ที่ปล่อยระบายความร้อนขณะที่ด้านเย็นติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยระบบระบายความร้อน โดยทำการทดลองหาลำดับไฟฟ้าสูงสุดของระบบและประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเรียนรู้เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก
2. เพื่อนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งเป็นการอนุรักษ์พลังงานอีกแนวทางหนึ่ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ในการทดลองนี้จะทำการทดลองจากเครื่องต้นแบบซึ่งใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเตาเศรษฐกิจที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง
2. ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวผลิตกระแสไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. ทดสอบหาคุณลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกคุณภาพสูง
3. ออกแบบและสร้างระบบถ่ายเทความร้อนให้ได้ประสิทธิภาพสูง
4. ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกคุณภาพสูง
5. บันทึกการทำงานของระบบโดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ความร้อนที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล และปรับภาระความต้านทานทางไฟฟ้า
6. สรุปผลและเขียนรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทราบถึงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก
2. นำความร้อนทิ้งจากเตาเศรษฐกิจมาใช้ประโยชน์โดยการผลิตกระแสไฟฟ้า

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี พ.ศ. 2535 Bass, J.C. ; Elsner, N.B. และ Leavitt, F.A. ได้ทำงานวิจัยร่วมกับกระทรวงพลังงานของสหรัฐ ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 เพื่อพัฒนาระบบกำเนิดไฟฟ้าแบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่ความร้อนมา

จากท่อไอเสียรถบรรทุกตู้สินค้า สามารถผลิตไฟฟ้ากลับคืนได้ 1000 วัตต์ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 13 วัตต์ จำนวน 72 เซลล์ ซึ่งรูปแบบการจัดเรียงและจำนวนเซลล์คงที่ตลอดการทดสอบ

2. ปี พ.ศ. 2536 Allen, D. ; Haugeto, R. ; Kajor M. และ Namazizn, M. ได้พัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซล เพื่อจะใช้แทนแบตเตอรี่หรือใช้เป็นที่ชาร์จแบตเตอรี่ ระบบผลิตไฟฟ้ามีขนาดตั้งแต่ 0.3 วัตต์ถึง 20 วัตต์ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อได้เปรียบที่เซลล์ความร้อนสามารถทำงานด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำได้ และยังพร้อมที่จะพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้ในอนาคต

3. ปี พ.ศ. 2537 Bass, J.C. และ Farley, R.L. ได้ทำการทำวิจัยและพัฒนาระบบเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ความร้อนจากระบบส่งก๊าซธรรมชาติ โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างท่อด้านร้อนและเย็นของ glycol natural gas dehydrator cycle ซึ่งเกิดจากความร้อนเหลือทิ้งของระบบ gas dehydrator boiler ความร้อนประมาณ 125,000 Btu สามารถผลิตไฟฟ้าได้ระหว่าง 66-293 kW สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ทางด้านสื่อสารและระบบป้องกันการกัดกร่อนของท่อส่งก๊าซ

4. ปี พ.ศ. 2543 Allen, D. และ Mallon, W.C. ได้ทำการวิจัยโดยการนำความร้อนจากน้ำไหลเวียนของระบบทำน้ำร้อนเพื่อความอบอุ่นในฤดูหนาวมาผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ความร้อน และแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ พลังงานความร้อนปริมาณ 22 kW (75,000 Btu/hr) สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 55-60 W การผลิตไฟฟ้านี้เป็นที่นิยมในประเทศแถบยุโรปในช่วงฤดูหนาว ถือเป็นการช่วยประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะในประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ามีราคาค่อนข้างแพง



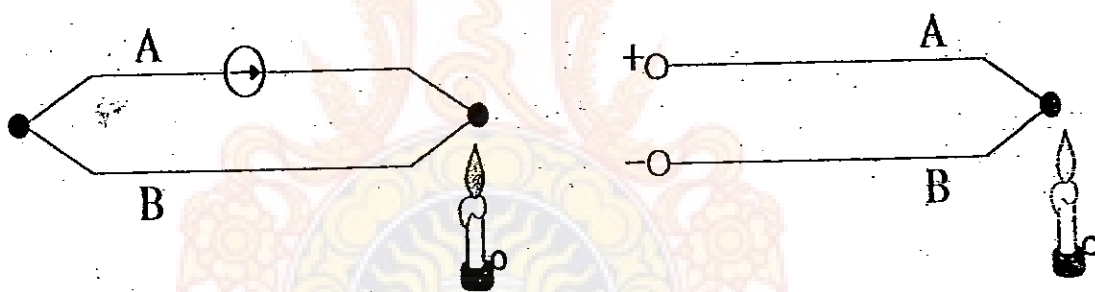
บทที่ 2

การกำเนิดไฟฟ้าจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

2.1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

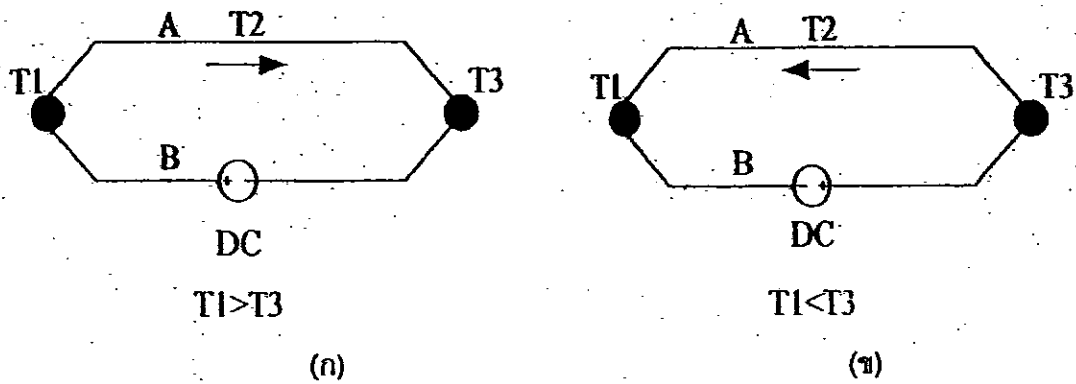
2.1.1 ประวัติและการค้นพบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

ในยุครัตนโกสินทร์ที่ 19 ปี ค.ศ. 1821 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน โทมัส ซีเบ็ค (Thomas Seebeck) ทำการศึกษพบว่าเมื่อนำขดลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิแตกต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสอง ดังภาพ 2.1 ซึ่งปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง หากที่ปลายของจุดต่อทั้งสองคือที่โลหะ A และโลหะ B มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรดังกล่าวก็จะสูงตามไปด้วย และถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ ซีเบ็คโวลเตจ ” [4]



ภาพที่ 2.1 ลักษณะการต่อวงจรของซีเบ็ค

ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 แพลเทียร์ (Jean C.A. Peltier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้ทำการศึกษาในลักษณะเดียวกันกับวงจรที่ทางซีเบ็คสร้างขึ้น และพบว่าเมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจร ลักษณะเดียวกันนี้ โดยใช้ลวดด้านหนึ่งทำจากบิสมัทและอีกด้านหนึ่งทำจากแอนติโมนี จะทำให้อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อของทั้ง 2 จุด คือที่จุดต่อ T1 และที่จุดต่อ T3 มีอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนขึ้น และปลายอีกข้างหนึ่งจะเย็นลง ดังภาพที่ 2.2

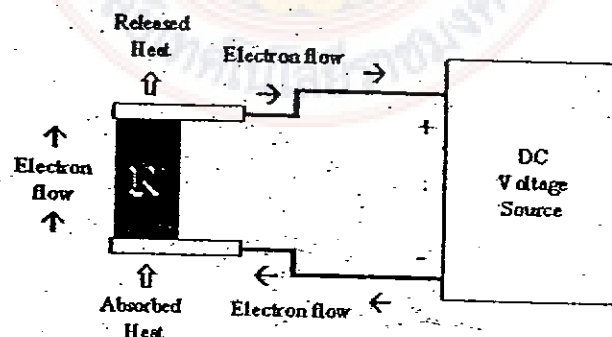


ภาพที่ 2.2 ลักษณะการต่อวงจรของเพอร์เทียร์

เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจรดังภาพที่ 2.2 (ก) จะทำให้จุดต่อ T1 มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดต่อ T3 และในทางกลับกัน เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจร ดังภาพที่ 2.2 (ข) จะทำให้จุดต่อ T3 มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดต่อ T1 ซึ่งจากการค้นพบของซีเบ็คและเพอร์เทียร์ทำให้การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric, TE) พัฒนาขึ้นและเป็นที่ไปอย่างกว้างขวาง

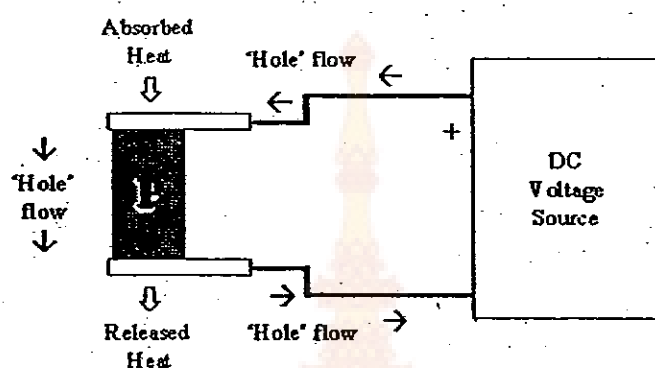
2.1.2 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล สร้างจากวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) โดยเมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ใช้สารกึ่งตัวนำแบบชนิดพี-เอ็น (P-N type) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวัสดุที่ทำจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ส่งผลให้เกิดแรงดันทางไฟฟ้า และทำให้มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง โดยเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าไหลผ่านสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็น (N type) [5] ดังภาพที่ 2.3 จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากทางขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟฟ้า และในขณะเดียวกันก็จะเกิดการดูดกลืนความร้อน (absorbed heat) จากด้านลบของสารกึ่งตัวนำไประบายความร้อนออก (released heat) ที่ปลายด้านบวกของสารกึ่งตัวนำ [6]



ภาพที่ 2.3 ลักษณะการไหลของอิเล็กตรอนของวัสดุกึ่งตัวนำแบบเอ็น

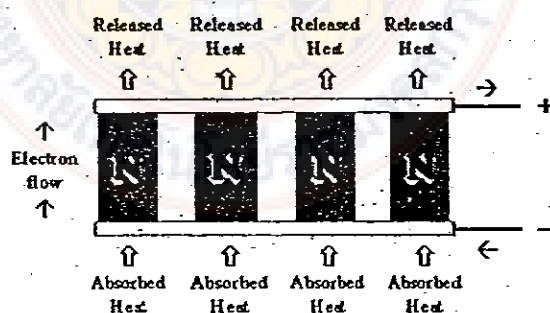
ลักษณะการไหลของโฮลของสารกึ่งตัวนำแบบพี ดังภาพที่ 2.4 จะมีลักษณะการไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับการไหลของอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็น คือเมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่สารกึ่งตัวนำแบบชนิดพีนั้นจะเกิดการไหลของโฮลจากทางด้านซ้ายวกไปยังขวา และเกิดการดูดกลืนความร้อนจากทางประจุบวกของสารกึ่งตัวนำแบบชนิดพีแล้วไประบายความร้อนออกที่ทางด้านประจุลบ จึงได้มีการนำเอาข้อดีสารกึ่งตัวนำทั้งสองมาใช้รวมกันในชุดของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล



ภาพที่ 2.4 ลักษณะการไหลของโฮลของวัสดุกึ่งตัวนำแบบพี

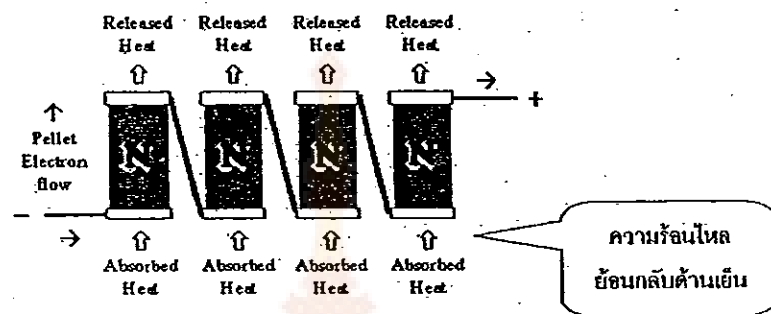
2.1.3 ลักษณะการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ

หากต้องการนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาใช้ในการทำความเย็นหรือความร้อน การนำสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นหลายตัวมาต่อขนานกันนั้นก็ทำได้ง่ายมาก ดังภาพที่ 2.5 การไหลของทิศทางของด้านร้อนและด้านเย็นก็สามารถที่จะควบคุมได้ง่าย แต่ด้วยข้อจำกัดที่ว่า สารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นนั้นมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าค่อนข้างต่ำประมาณ 10 mV ต่อหนึ่งชุด



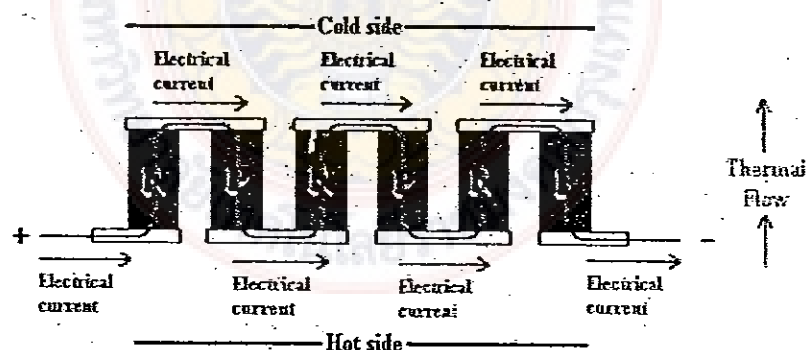
ภาพที่ 2.5 ลักษณะการเชื่อมต่อของวัสดุกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นต่อขนานกัน

ดังนั้นหากต้องการให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ตามต้องการ จึงต้องมีนำวัสดุกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นหลาย ๆ ชุดมาต่ออนุกรมกัน [7] ดังภาพที่ 2.6 แต่ข้อเสียของการนำวัสดุกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นหลาย ๆ ตัวมาต่อกันนั้นจะยากในการควบคุมทิศทางของด้านร้อนและด้านเย็น ความร้อนส่วนหนึ่งจะไหลย้อนกลับมาจากด้านเย็นตามสายต่อระหว่างประจุบวกและประจุลบของวัสดุกึ่งตัวนำการต่อ หรือเรียกว่าการลัดวงจรของความร้อนซึ่งเป็นการยากที่จะป้องกันการไหลย้อนกลับของความร้อน [8]



ภาพที่ 2.6 ลักษณะการต่อเชื่อมของสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นต่ออนุกรมกัน

การเชื่อมต่อที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ การเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นและแบบชนิดพี ลักษณะการต่อเป็นคู่ ๆ แบบอนุกรมและแบบขนาน โดยทางด้านไฟฟ้าเป็นการต่อแบบอนุกรมเพื่อให้ได้ขนาดของพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมกับความต้องการ ส่วนการทำความเย็นและความร้อนเป็นการเชื่อมต่อแบบขนานเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นได้ดีขึ้น ดังภาพที่ 2.7

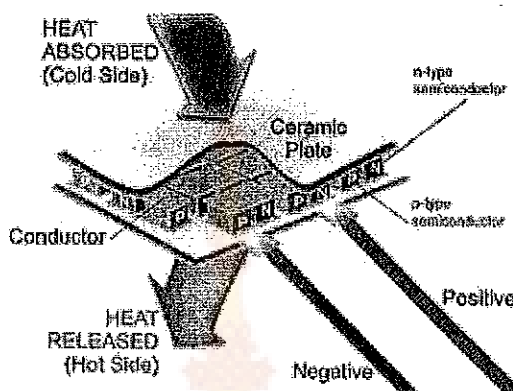


ภาพที่ 2.7 ลักษณะการต่อเชื่อมของสารกึ่งตัวนำของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก

2.1.4 ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสามารถแบ่งออกตามลักษณะได้สองแบบ คือ

2.1.4.1 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว (Single-Stage Peltier Module) มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบชั้นเดียว เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นในการใช้งานไม่สูง ซึ่งมีค่าอุณหภูมิแตกต่างประมาณ 67°C ซึ่งเป็นค่าผลต่างของอุณหภูมิในกรณีที่ไม่มีภาระความร้อน ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกมีหลายรูปแบบ ทั้งขนาดและรูปร่าง อีกทั้งยังมีสมบัติหลายอย่างให้เลือกตามลักษณะการใช้งาน เช่น ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า และความสามารถในการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น โดยสามารถสรุปลักษณะและสมบัติได้ดังนี้คือ

- 1) ขนาดพื้นที่ผิวหน้าเซรามิก $1.8 \times 3.4 \text{ mm}^2$ ถึง $62 \times 62 \text{ mm}^2$
- 2) ขนาดความสูงตั้งแต่ 2.54 mm ถึง 5.8 mm
- 3) ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.2 Watts ถึง 125 Watts
- 4) ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.8 Amp ถึง 60 Amp
- 5) ค่าแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.4 Volts ถึง 15.4 Volts

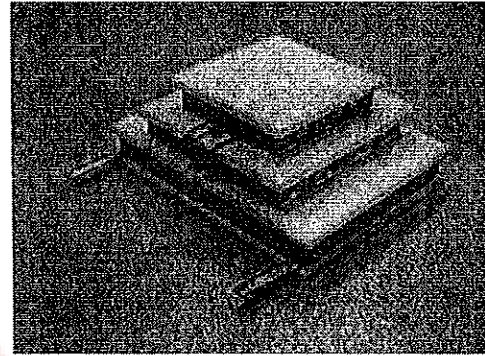
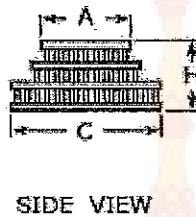
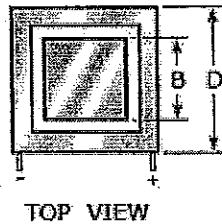
2.1.4.2 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage Thermoelectric Module) เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้นจะมีการต่อตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น ดังภาพที่ 2.9 ลักษณะและสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้นที่สำคัญคือ

- 1) พื้นที่ผิวด้านเย็นมีขนาดตั้งแต่ $3.2 \times 3.2 \text{ mm}^2$ ถึง $62 \times 62 \text{ mm}^2$
- 2) พื้นที่หน้าตัดด้านร้อนขนาดตั้งแต่ $3.8 \times 3.8 \text{ mm}^2$ ถึง $62 \times 62 \text{ mm}^2$
- 3) ขนาดความสูงตั้งแต่ 3.8 mm ถึง 21.4 mm
- 4) ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.39 Watts ถึง 59 Watts

5) ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.7 Amp ถึง 9.5 Amp

6) ค่าแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.8 Volts ถึง 14 Volts

ซึ่งจำนวนชั้นของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น มีการเชื่อมต่อตั้งแต่ 2 ชั้น จนถึง 6 ชั้น



ภาพที่ 2.9 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น

ก่อนการเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ควรมีการหาค่าตัวแปรที่สำคัญเบื้องต้น 3 อย่าง คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (cold surface temperature, T_c) อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (hot surface temperature, T_h) และปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกที่ผิวด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่เหมาะสมต่อไป การถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก มีความสำคัญต่อการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมาก เพราะถ้าไม่สามารถถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกออกได้ ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะไม่สามารถเย็นลงได้ โดยตัวแปรที่สำคัญในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน คือ อุณหภูมิแวดล้อมที่รองรับความร้อนที่ถ่ายเทจากเทอร์โมอิเล็กทริก และประสิทธิภาพที่ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.2 การผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราความร้อนที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก (Q_H) อัตราความร้อนที่ระบายออกจากเทอร์โมอิเล็กทริก (Q_C) กำลังไฟฟ้าที่ได้ (P) [9] และประสิทธิภาพที่เชิงความร้อน (η) สามารถหาได้ดังนี้ [10]

$$Q_H = n[\alpha T_H I - 0.5 I^2 R + K(T_H - T_C)] \quad (2.1)$$

$$Q_C = n[\alpha T_C I - 0.5 I^2 R + K(T_H - T_C)] \quad (2.2)$$

$$P = IV \quad (2.3)$$

$$\text{Power}_{\max} = I^2(R_i + R_L) ; \text{ โดยที่ } R_i = R_L \quad (2.4)$$

$$\eta = \frac{P}{Q_H} \quad (2.5)$$

เมื่อ	I	กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก (A)
	V	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก (V)
	n	จำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกใน 1 โมดูล (126)
	K	ค่าการนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (2.8×10^{-3} W/K)
	P	กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
	R	ค่าความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก (6.508×10^{-3} Ω)
	Q_H	ความร้อนที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
	Q_C	ความร้อนที่ระบายออกจากเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
	T_H	อุณหภูมิที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
	T_C	อุณหภูมิที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
	α	สัมประสิทธิ์ Seebeck (2.1266×10^{-4} V/K)
	η	ประสิทธิภาพที่เชิงความร้อน

2.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานเตาเศรษฐกิจ

ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหุงต้ม คือปริมาณความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิปกติกลายเป็นไอน้ำ ต่อปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง [11] สามารถคำนวณ แสดงดังสมการ (2.6)

$$HU = \frac{MC_p(T_2 - T_1) + (M - M_1)L}{M_f H} \times 100 \quad (2.6)$$

HU	ประสิทธิภาพ (Heat Utilization Efficiency)
M	น้ำหนักน้ำ (kg)
M_1	น้ำหนักน้ำที่เหลืออยู่ (kg)
M_f	น้ำหนักเชื้อเพลิง (kg)
C_p	ความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.184 kJ/kg°C)
T_1	อุณหภูมิน้ำก่อนตั้งไฟ (°C)
T_2	อุณหภูมิของน้ำเดือด (°C)
H	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงถ่าน (26,378 kJ/kg)
L	ค่าความร้อนแฝงของน้ำ (2,261 kJ/kg)

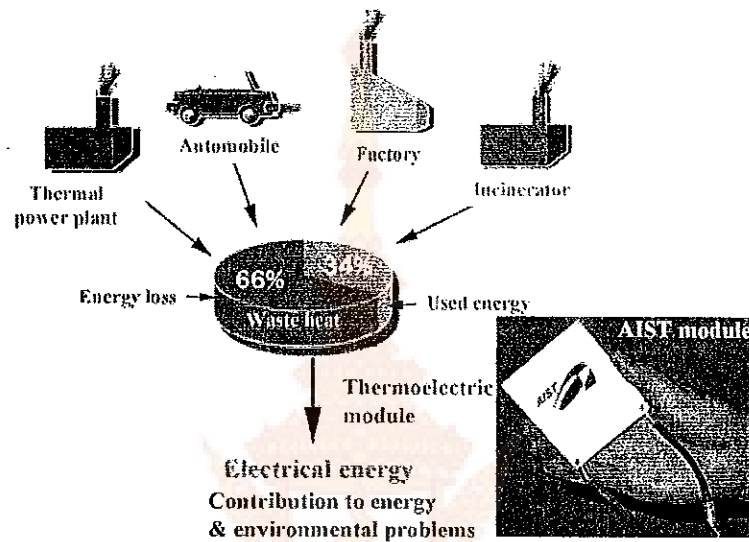
2.4 แหล่งความร้อนเหลือทิ้ง

2.4.1 ที่มาของความร้อนเหลือทิ้ง

การเปลี่ยนรูปพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ ได้แก่ เชื้อเพลิงฟอสซิล เชื้อเพลิงชีวมวล หรือปฏิกิริยานิวเคลียร์ เป็นต้น ไปเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและงานด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การใช้ความร้อนสำหรับจักรกลไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้ความร้อนเพื่อแปรรูปโลหะ การสันดาปเครื่องยนต์ การเผาขยะในระบบปิด และการทำความเย็นแบบ absorption เป็นต้น พบว่า ประสิทธิภาพของการนำความร้อนจากแหล่งพลังงานดังกล่าวไปใช้ประโยชน์นั้นทำได้เพียง 30%-40% เท่านั้น ความร้อนส่วนเกินต้องทิ้งไปกับระบบระบายความร้อนในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระบายความร้อน ซึ่งต้องสูญเสียพลังงานไป 60%-70% เนื่องจากข้อจำกัดของประสิทธิภาพคาร์โนต์ (η_c) [12] ในการแปลงผันพลังงานตามวัฏจักรคาร์โนต์ดังสมการ 2.7 เรียกความร้อนที่ไม่ก่อประโยชน์นี้ว่า “ความร้อนเหลือทิ้ง (was te heat)” กระบวนการแปรรูปพลังงานความร้อนและเกิดความร้อนเหลือทิ้งแสดงในแผนภาพรูปที่ 2.19

$$\eta_c = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{T_{hot}} \quad (2.7)$$

โดยที่ η_c เป็น ประสิทธิภาพคาร์โนต์
 T_{hot} เป็น อุณหภูมิสัมบูรณ์ของแหล่งกำเนิดความร้อน
 T_{cold} เป็น อุณหภูมิสัมบูรณ์ระบบถ่ายความร้อน



รูปที่ 2.10 ความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้พลังงานแหล่งต่าง ๆ [14]

2.4.2 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้ง

ความร้อนเหลือทิ้งจากแหล่งกำเนิดความร้อนขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะและโรงเผาขยะ นับเป็นแหล่งความร้อนเกรดสูง (high grade heat source) มีอุณหภูมิสูงมากกว่า 650 °C ส่วนโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้า และความร้อนจากปล่องไอเสียเครื่องยนต์จะมีอุณหภูมิปานกลางประมาณ 120-650 °C ขณะที่ความร้อนจากการหุงต้มหรือกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ใช้ไอน้ำแรงดันต่ำจะเป็นแหล่งความร้อนเกรดต่ำ (low grade heat source) มีอุณหภูมิสูงในช่วง 60-120 °C โดยประมาณ ดังแสดงข้อมูลเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งประเภทต่าง ๆ ในตารางที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 [13] ซึ่งความร้อนจากแหล่งความร้อนเหลือทิ้งดังกล่าวสามารถนำกลับคืนมาใช้ได้ แทนที่จะทิ้งไปกับระบบระบายความร้อนสู่บรรยากาศโดยเปล่าประโยชน์ อีกประการหนึ่งลักษณะของแหล่งความร้อนนี้เป็นแหล่งพลังงานที่ให้ความร้อนต่อเนื่องและมีอุณหภูมิที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก จึงสามารถนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ความร้อนเพื่อคืนกลับพลังงานเหลือทิ้งมาเป็นพลังงานไฟฟ้า อันจะช่วยให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าเสริมตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ 2.1 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดสูง

Type of device	Temperature, °C	Temperature, °F
Nickel refining furnace	1371-1649	2500-3000
Aluminum refining furnace	649-760	1200-1400
Zinc refining furnace	760-1093	1400-2000
Copper refining furnace	760-816	1400-1500
Steel heating furnace	927-1038	1700-1900
Glass melting furnace	982-1538	1800-2800
Solid waste incinerators	649-982	1200-1800

ตารางที่ 2.2 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดปานกลาง

Type of device	Temperature, °C	Temperature, °F
Steam boiler exhausts	123-482	450-900
Gas turbine exhausts	371-538	700-1000
Reciprocating engine exhausts	316-593	600-1100
Heat treating furnace	427-649	800-1200
Drying and backing ovens	232-593	450-1100

ตารางที่ 2.3 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำ

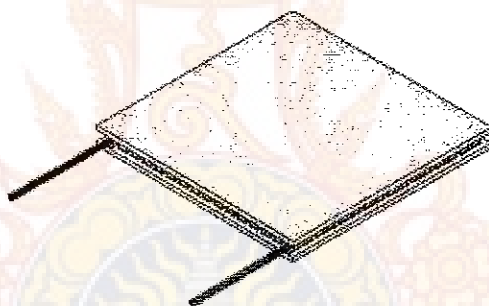
Type of device	Temperature, °C	Temperature, °F
Process steam condensate	54-88	130-190
Cooling water from :		
Furnace	32-55	90-130
Bearing	32-88	90-190
Welding machines	32-88	90-190
Injection molding machines	32-88	90-190
Air compressor	27-49	80-120
Internal combustion engines	66-121	150-250
Air-cond. And refrig. Condensers	62-43	90-110

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องต้นแบบ

เครื่องต้นแบบที่ใช้ในการศึกษาทดลองนี้ประกอบด้วยเตาเศรษฐกิจ ซึ่งใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงที่ด้านบนของเตาจะใช้ในการวางถ่านในการหุงต้มทั่วไป และติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก (Taihaxing , Chaina model TEP1-1264-34) ไว้ที่ด้านข้างของปล่องระบายความร้อน การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แต่ละจุดเพื่อทราบอุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า จากนั้นทำการทดลองผลิตไฟฟ้าเพื่อเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยพิจารณาประสิทธิภาพและการผลิตไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิของผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



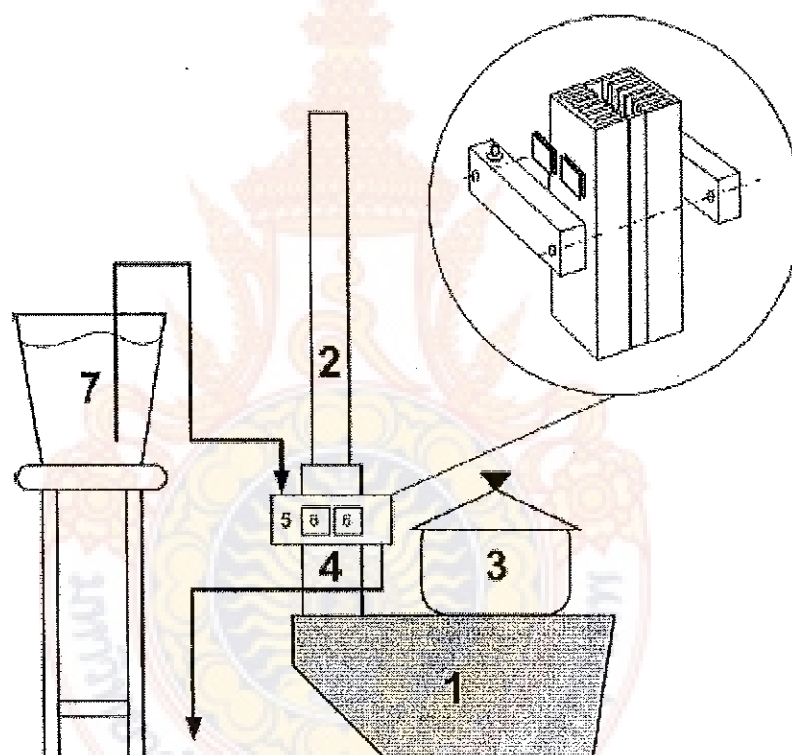
ภาพที่ 3.1 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

3.2 การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก

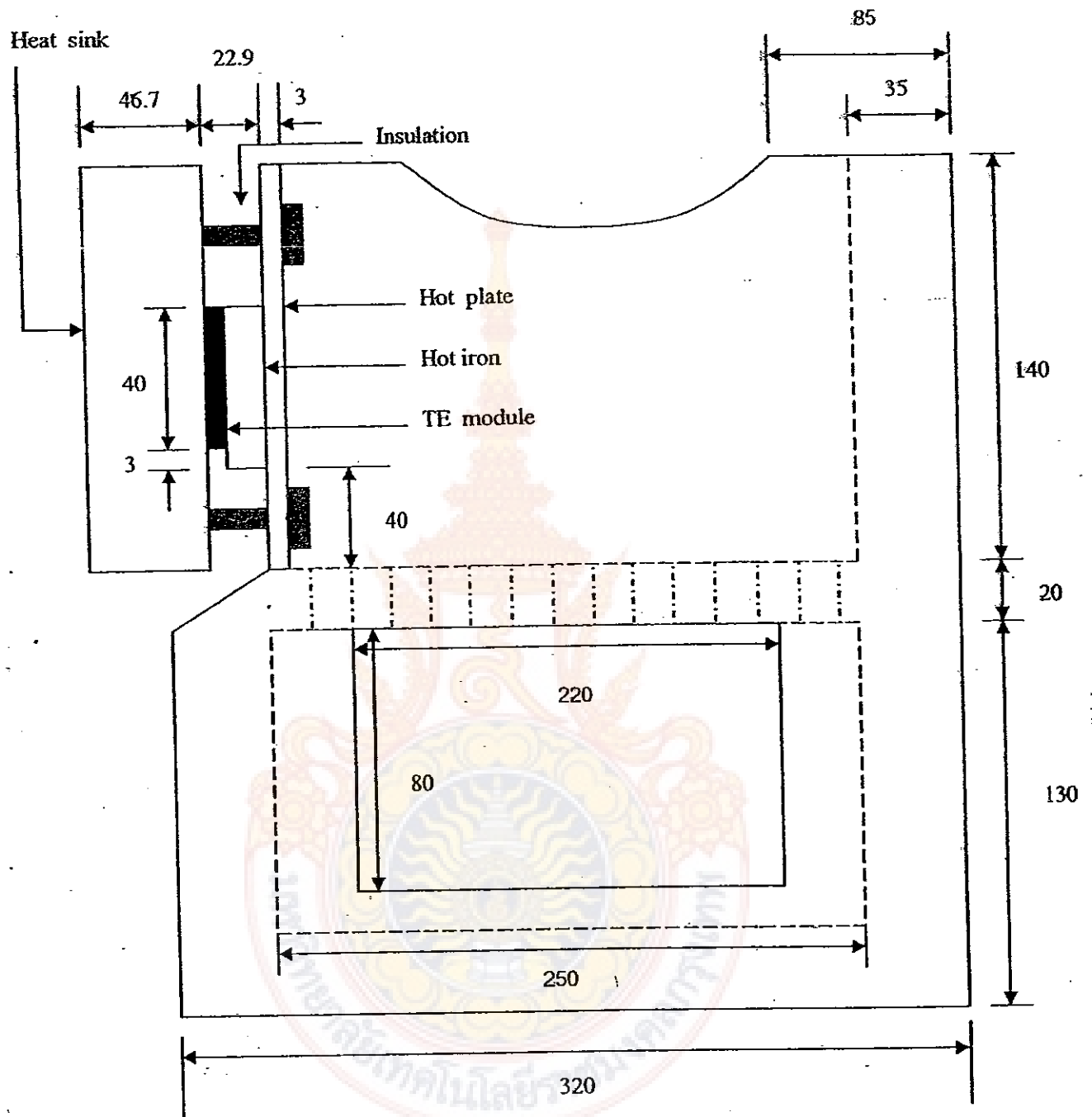
ระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 4 โมดูลต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้า โดยทำการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกบนตัวรับความร้อนที่สร้างขึ้นจากซิงค์สองอันที่หันหน้าเข้าหากันและใช้ครีบบางฮีตซิงค์เป็นตัวรับความร้อนทำให้พื้นที่รับความร้อนเพิ่มมากขึ้นกว่าการติดตั้งบนปล่องควันระบายความร้อน ความร้อนที่ไหลออกมาที่ปล่องควันของเตาเศรษฐกิจจะถูกส่งผ่านให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ติดตั้งอยู่บนตัวมัน โดยอีกด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจะมีตัวระบายความร้อนติดตั้งอยู่ ตัวระบายความร้อนที่ใช้สร้างขึ้นจากแท่งอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมที่เจาะรูภายในให้น้ำสามารถไหลผ่านได้

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

หมายเลข	1	คือ	เตาเศรษฐกิจ
หมายเลข	2	คือ	ปล่องระบายควัน
หมายเลข	3	คือ	หม้อหุงต้ม
หมายเลข	4	คือ	ตัวรับความร้อน
หมายเลข	5	คือ	ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน
หมายเลข	6	คือ	เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล
หมายเลข	7	คือ	ถังใส่น้ำระบายความร้อน



ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบผลิตไฟฟ้า



Note : All dimensions are in mm

ภาพที่ 3.3 การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกกับเตาเศรษฐกิจ

3.3 การติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล

จากภาพจะแสดงถึงจุดที่ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่จุดต่าง ๆ ดังนี้

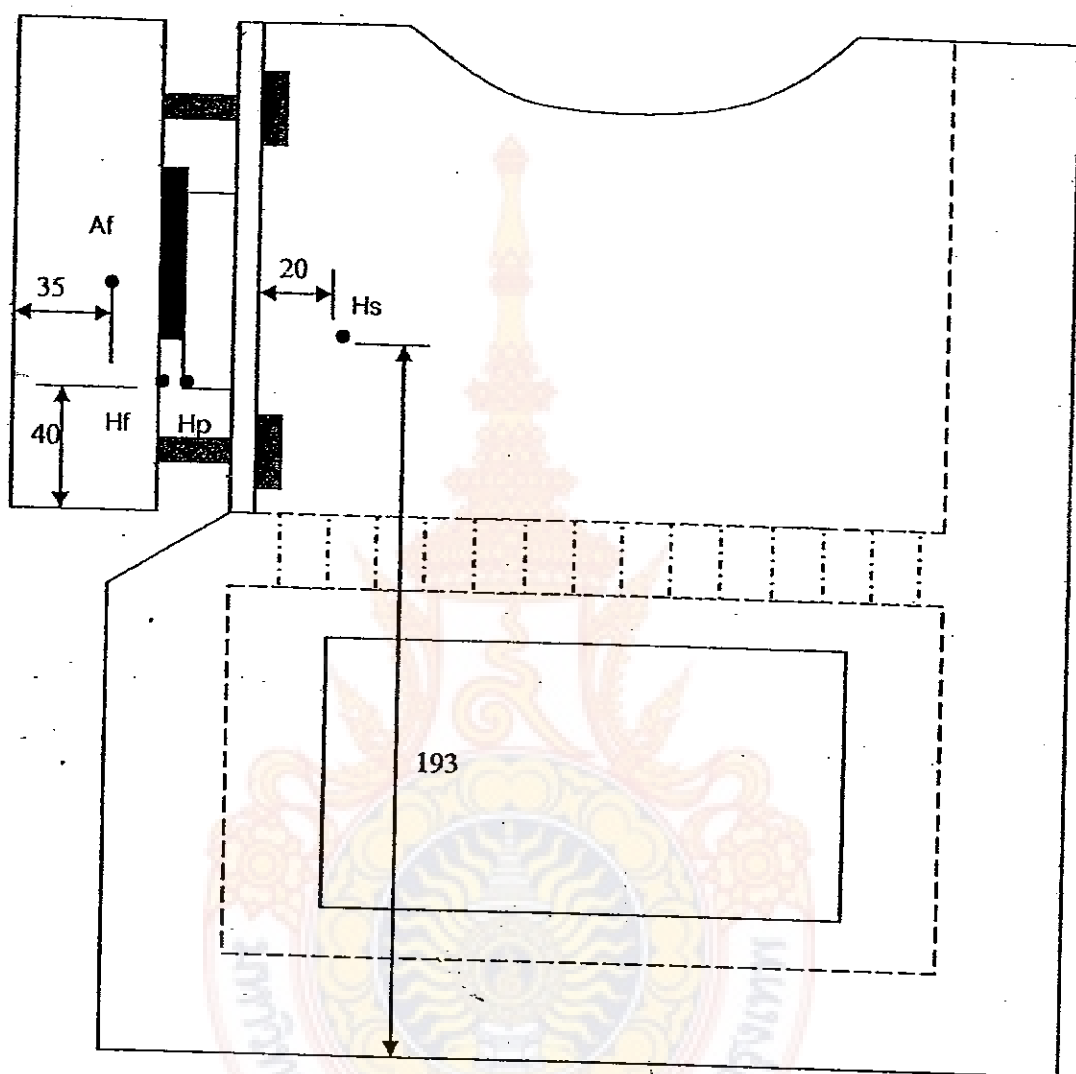
1. สายเทอร์โมคัปเปิลที่จุด Hs คือ สายเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่ในเตาซึ่งติดตั้งห่างจาก Hot Plate อยู่ 20 mm ห่างจากพื้นรังผึ้งของเตา 40 mm
2. สายเทอร์โมคัปเปิลที่จุด Hp คือ สายเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่บนเหล็ก ซึ่งติดตั้งห่างจากเทอร์โมอิเล็กทริก 2 mm
3. สายเทอร์โมคัปเปิลที่จุด Hf คือ สายเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่ใต้ครีบบระบายความร้อนอยู่ห่างจากเทอร์โมอิเล็กทริก 2 mm
4. สายเทอร์โมคัปเปิลที่จุด Af คือ สายเทอร์โมคัปเปิลที่อยู่ระหว่างครีบบที่ 6 กับ ครีบบที่ 7 ติดตั้งสูงจากพื้นครีบบระบายความร้อน 15 mm และอยู่ที่จุดศูนย์กลางครีบบ
5. สายเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิของน้ำในการทดลองประสิทธิภาพเตา
6. สายเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในการทดสอบ

3.4 วิธีการทดลอง

เมื่อทำการทดลองติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเข้ากับเตาเรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มทำการทดลองเพื่อหาค่าความร้อนและกระแสไฟฟ้าได้

ตัวแปรที่ทำการปรับเปลี่ยนในการทดลองนี้มีอยู่ 2 ตัวแปร

1. อุณหภูมิที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก โดยจะปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ให้กับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก อยู่ 3 ค่า คือ 70°C 100°C และ 210°C
2. ความต้านทานภายนอก โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงแปรอยู่ 14 ค่า คือ 0.5 Ohm 1 Ohm 2 Ohm 2.4 Ohm 5 Ohm 6.2 Ohm 7.5 Ohm 10 Ohm 12 Ohm 20 Ohm 50 Ohm 100 Ohm 150 Ohm และ 1 k Ohm



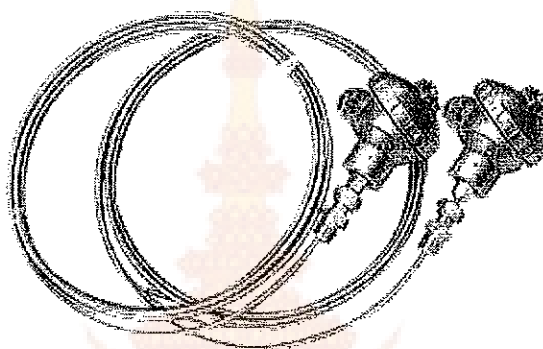
Note : All dimensions are in mm

ภาพที่ 3.4 การติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่จุดต่างๆ

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

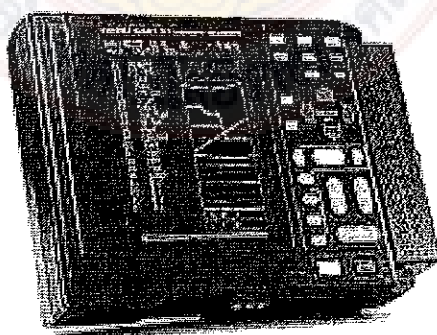
เครื่องมือสำหรับบันทึกข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. สายเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) สำหรับการวัดอุณหภูมิในการทดลอง แสดงผลเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิลแบบเค (thermocouple type K) ดังภาพที่ 3.5 วัดอุณหภูมิได้ในช่วง $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $1,370\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่อเข้ากับช่องสัญญาณของเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger)



ภาพที่ 3.5 สายเทอร์โมคัปเปิลแบบเค

2. เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) เป็นเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้หลายรูปแบบ เช่น อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า ฯ มีช่องสัญญาณจำนวน 32 ช่องสัญญาณ (HIOKI 8422-51) ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก อุณหภูมิน้ำระบายความร้อน แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ แสดงดังภาพที่ 3.6



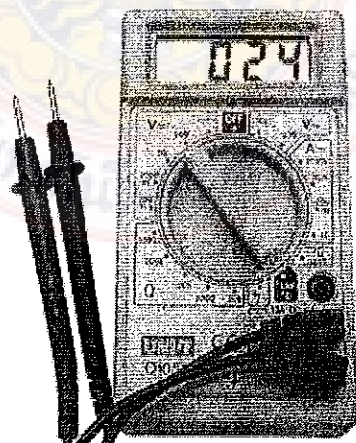
ภาพที่ 3.6 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

3. เครื่องวัดความเร็วลม (air velocity meter) เป็นเครื่องวัดความเร็วอากาศแบบ hot wire ซึ่งสามารถวัดได้หลายรูปแบบ คือ ความเร็วลม อัตราการไหลอากาศและอุณหภูมิ (Testo 445) ค่าความผิดพลาด ± 0.015 เมตรต่อวินาที ใช้สำหรับวัดความเร็วของลมจากพัดลมระบายอากาศที่ไหลจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไปยังห้องอบแห้ง แสดงดังภาพที่ 3.7



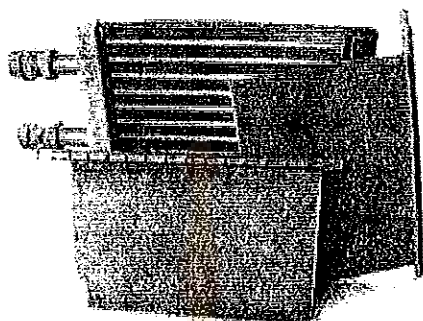
ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดความเร็วลม

4. เครื่องวัดมัลติมิเตอร์ (digital multimeter) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าทางไฟฟ้า ใช้สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า ในขั้นตอนการทดลองสำหรับเลือกเทอร์โมอิเล็กทริก แสดงดังภาพที่ 3.8



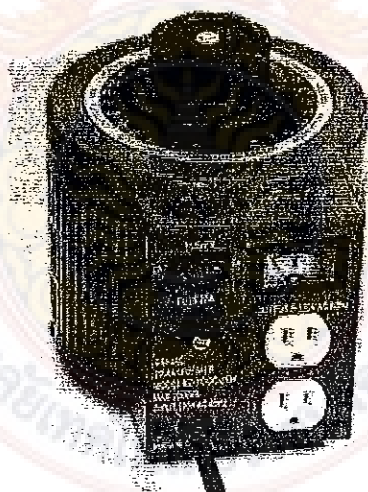
ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดมัลติมิเตอร์

5. แผ่นทำความร้อน (Heater) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน สำหรับจำลองความร้อนให้แก่เทอร์โมอิเล็กทริกในการทดสอบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 200 Watts ทำความร้อนสูงสุด 260°C ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แผ่นทำความร้อน

6. หม้อแปลงปรับแรงดัน (Variac) เป็นเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าแก่แผ่นทำความร้อนเพื่อทำความร้อนในการทดสอบความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 0-350 Volts ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 หม้อแปลงปรับแรงดัน

7. เครื่องวัดความร้อนสูญเสีย (heat flowmeter) เป็นเครื่องวัดปริมาณความร้อนที่แผ่ออกจากผิววัสดุ ใช้วัดความร้อนที่สูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเปรียบเทียบความร้อนที่สูญเสียจากผนังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนและหลังการปรับปรุง ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 เครื่องวัดความร้อนสูญเสีย

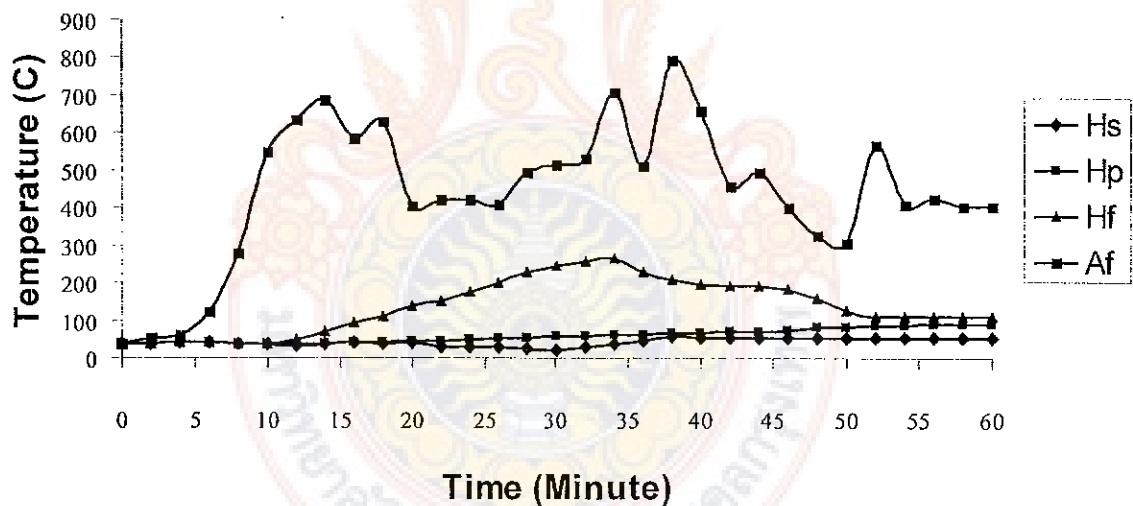


บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและผลการวิจัย

จากการทดลอง เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด พบว่าที่อุณหภูมิ 200°C จำทำให้กำลังไฟฟ้าได้สูงสุด ซึ่งจะเกิดเมื่อทำการลัดวงจร (Short Circuit) ไม่ต่อตัวต้านทาน เพื่อหาค่า กระแสไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.84A และวัดแรงดันไฟฟ้า เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด โดยการเปิดวงจร (Open Circuit) ไม่ต่อตัวต้านทาน พบว่าค่าความต่างศักย์สูงสุดมีค่าเท่ากับ 5.35 V และความต้านทานภายใน 6.3 Ohm ซึ่งพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ คือ 4.5 W

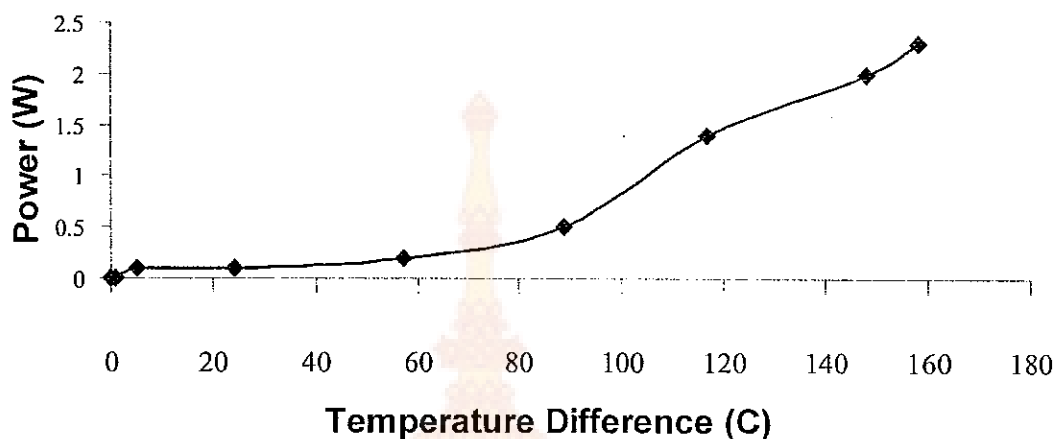
ภาพที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิของการติดไฟในเตา แผ่นเหล็ก เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและอากาศร้อนในครีบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเริ่มติดไฟสำหรับเตาเศรษฐกิจ อุณหภูมิของการติดไฟของถ่านจะเพิ่มขึ้น เป็นเหตุให้อุณหภูมิของแผ่นเหล็กเพิ่มขึ้น โดยจะทำการควบคุมอุณหภูมิที่แผ่นเหล็กไม่ให้เกิน 200°C พบว่าที่อุณหภูมิ 200°C ของแผ่นเหล็ก อุณหภูมิในเตาจะมีค่าเท่ากับ 516°C และอุณหภูมิจะขึ้นลง เนื่องมาจากสภาพแวดล้อมในการทดสอบเมื่อมีลมพัด



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิความร้อนในเตา แผ่นเหล็ก เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และอากาศระหว่การระบายความร้อนกับเวลา

4.1 ผลของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

การทดลองได้วัดค่าความร้อนที่ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ จากภาพที่ 4.2 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างด้านร้อนกับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีความแตกต่างกันมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากขึ้นเช่นเดียวกันซึ่งจะเป็นไปตามสมการที่ 2.3

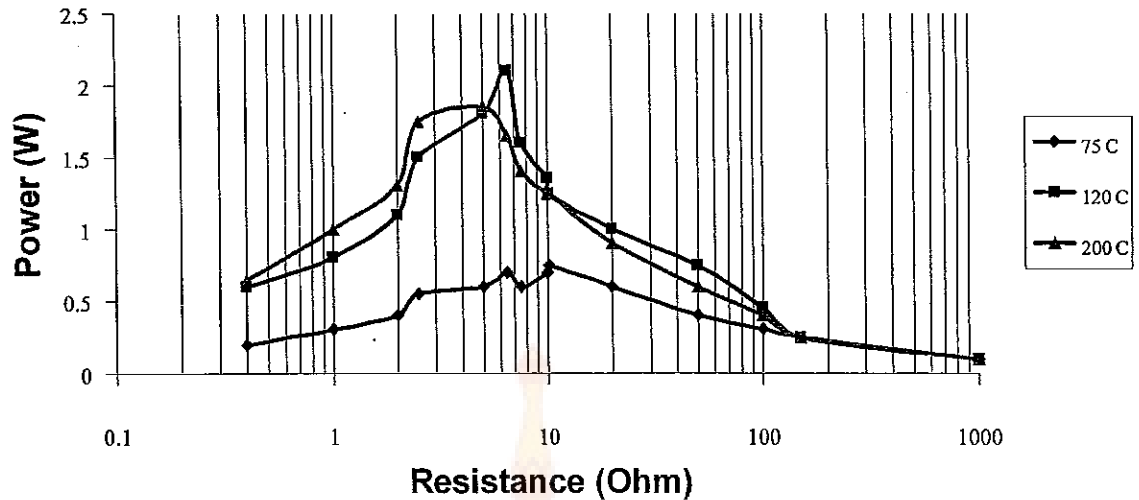


ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้ากับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่ให้และกำลังไฟฟ้าที่ได้

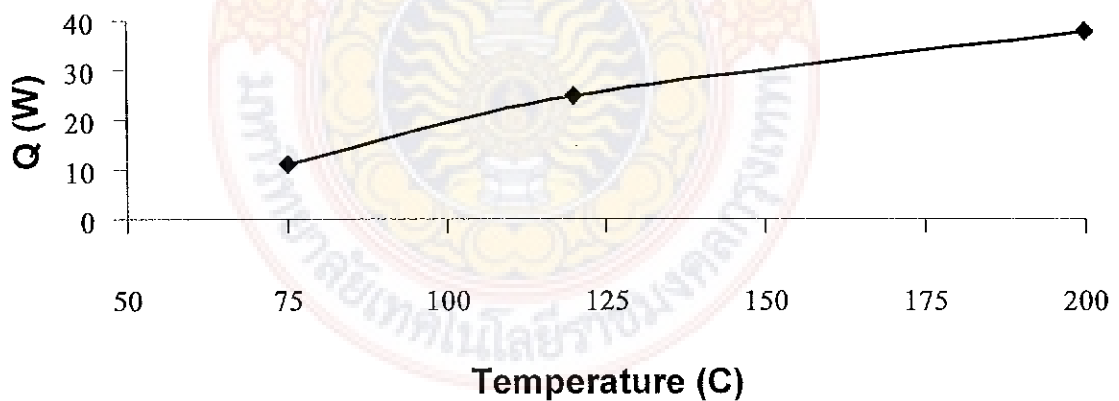
จากการทดลองพบว่าค่าความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนที่ให้แก่เทอร์โมอิเล็กทริก โดยทำการัดวงจร (Short Circuit) เพื่อหากระแสไฟฟ้าสูงสุดและทำการเปิดวงจร (Open Circuit) เพื่อหาความต่างศักย์สูงสุด ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริก 75°C จะพบว่า ค่าความต้านทานภายในเป็น 5.2 Ohm ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1.57 W เพิ่มความร้อนของแผ่นเหล็กเป็น 120°C จะพบว่า ค่าความต้านทานภายในเป็น 6.1 Ohm ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 3.016 W เพิ่มความร้อนของแผ่นเหล็กเป็น 200°C จะพบว่า ค่าความต้านทานภายในเป็น 6.3 Ohm ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 4.5 W

เมื่อใช้ความต้านทานต่ำจะทำให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้ามาก ความต่างศักย์น้อย แต่ถ้าใช้ความต้านทานมากทำให้ได้กระแสไฟฟ้าน้อยแต่ค่าความต่างศักย์มาก ดังนั้นการใช้ความต้านทานต่ำกว่าความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกจะได้กำลังไฟฟ้าต่ำ จากนั้นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุดที่ความต้านทานที่มีค่าเท่ากับความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริก แล้วจากนั้นก็ลดลงอีกเรื่อย ๆ เมื่อค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.3

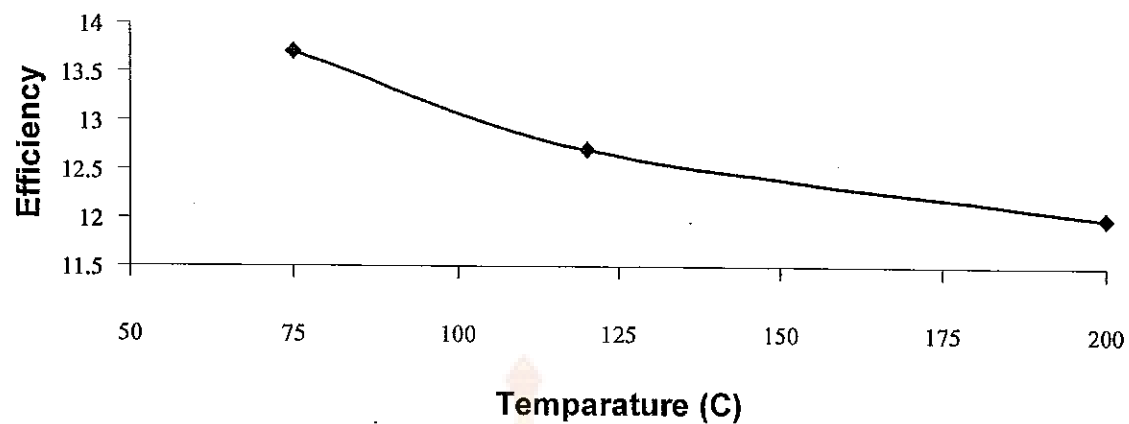


ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่ใช้และกำลังไฟฟ้า
ที่ได้เมื่อปรับอุณหภูมิที่ 75 °C 120 °C และ 200 °C

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก กำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น และ
จะได้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.4 ในอัตราส่วนที่มากกว่าด้วย ดังนั้นจึงทำให้
ประสิทธิภาพลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกกับความร้อน



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกกับประสิทธิภาพของระบบ



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ในการวิจัยการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกครั้งนี้ได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนอุณหภูมิที่ให้กับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกคือ 75°C 120°C และ 200°C และทำการปรับเปลี่ยนความต้านทานภายนอกของวงจรต่าง ๆ จำนวน 14 ค่า ($0.5 - 1\text{k Ohm}$) พบว่าเมื่อใช้ความต้านทานต่ำจะทำให้ได้กระแสไฟฟ้ามาก ความต่างศักย์น้อย แต่ถ้าใช้ความต้านทานมากจะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าน้อยแต่ความต่างศักย์มาก ดังนั้นการใช้ความต้านทานต่ำกว่าความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกจะได้กำลังไฟฟ้าต่ำจากนั้นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุดที่ความต้านทานมีค่าเท่ากับความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริก แล้วจากนั้นจะลดลงอีกเรื่อย ๆ เมื่อค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นไปตามสมการ $P = IV$ ซึ่งระบบจะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 4.5 W ที่ความต้านทานภายใน 6.3 Ohm ความร้อนที่ให้กับ Hot Pate เท่ากับ 200°C ประสิทธิภาพ 11.9% การให้ความร้อนกับเทอร์โมอิเล็กทริกมากขึ้นจะทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นแต่ประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากการสูญเสียในเทอมของ Jule Heating นอกจากนี้ยังได้ทดสอบประสิทธิภาพของเตาเศรษฐกิจพบว่าการผลิตไฟฟ้าความร้อนทั้งจากเตาเศรษฐกิจด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพการใช้งาน 23.20% และเมื่อรวมพลังงานจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก จะมีประสิทธิภาพ 23.39%

5.2 วิเคราะห์ผลการวิจัย

5.2.1 ปัจจุบันเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ยังมีการนำมาใช้ในวงจำกัด จึงมีราคาแพง มีผลให้ต้นทุนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีราคาสูงกว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีอื่น แต่การผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีนี้เป็นการคืนกลับพลังงานความร้อนเหลือทิ้งมาใช้ได้ง่าย

5.2.2 การผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนจากเตาเศรษฐกิจครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าในชนบทที่ห่างไกลสำหรับในครัวเรือนขนาดเล็ก โดยอาศัยความร้อนจากเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น แกลบ ฟางข้าว ไม้ ชานอ้อย เป็นต้น เพื่อใช้เป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากการเผาไหม้ของเตาเศรษฐกิจสามารถให้ความร้อนได้มากกว่านี้แต่ด้วยข้อจำกัดของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกในการศึกษา หากมีการศึกษาเพิ่มเติมความเลือกเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้

5.3.2 การผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นมาก หากมีการศึกษาเพิ่มเติม ควรเลือกครีความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้ อย่างเช่น ครีที่ผลิตจากทองแดง

5.3.3 การผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจหากมีการศึกษาเพิ่มเติม จากใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น ๆ ได้อีก เช่น ความร้อนจากแอร์ เตาอบขนม เป็นต้น



บรรณานุกรม

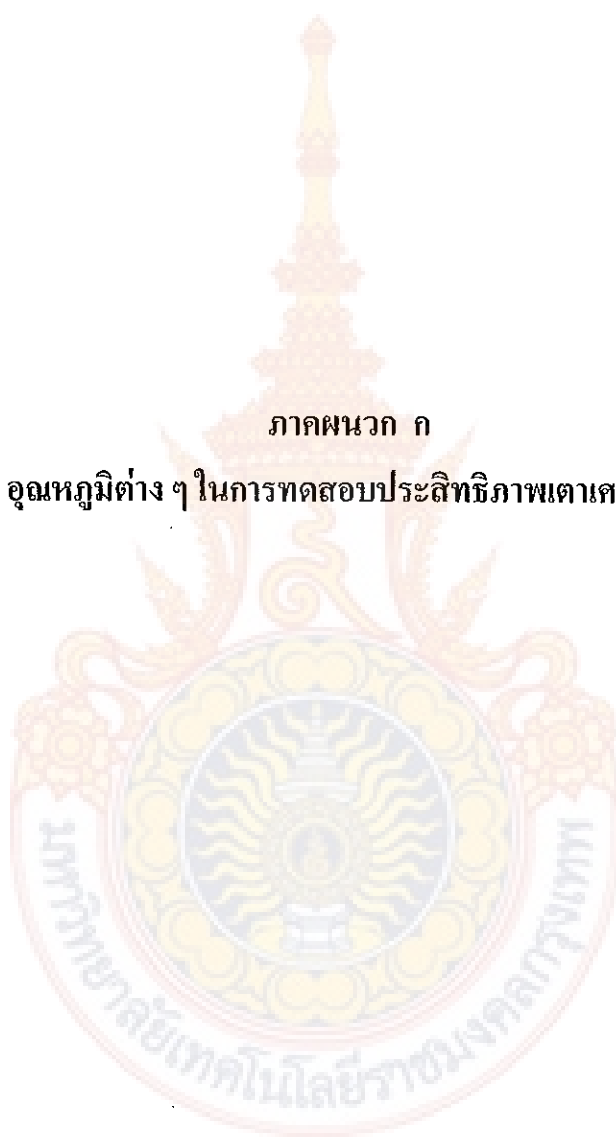
- [1] Park T.J., Choi Y.C., Choi B.J., Hong J.C., Park J.S. and Rowe D.M. Research on the Waste Heat Recovery Technology using Thermoelectric Generation. 19th International Conference on Thermoelectrics, Cardiff, UK 313-316, 2000
- [2] Rowe D.M. Thermoelectrics, An Environmentally-Friendly Source of Electric Power, Renewable Energy, Vol. 16, 1251-1256, 1999
- [3] Rowe D.M., Min G., Aoune A., Matsuura K., Kuznetsov V.L. and Fu L.W. Thermoelectric Recovery of Waste Heat – Case Studies, 16th International Conference on Thermoelectrics, USA, 1075-1079, 1996
- [4] Mozharivskyj, Yuriy. Thermoelectric phases. Canada: McMaster University.
- [5] Steve J. Noll. Peltier Photos, Drawing & Animation[online]. Available from:
<http://www.peltier-info.com/photos.html>
- [6] Understanding Thermoelectric Cooling[online]. Available from:
- [7] Toshiba Giga Topaz thermoelectric module[online]. Available from:
<http://museum.toshiba.co.jp/06energy/newtech141.html>
- [8] Model 8550 Thermoelectric generator[online]. Available from:
http://www.globalte.com/pdf/teg_8550_spec.pdf
- [9] Chen K. and Gwilliam S.B. An analysis of heat transfer rate and efficiency of TE (thermoelectric) cooling systems, International Journal of Energy Research, Vol. 20, 399-417, 1996
- [10] Chen L., Gong J, Sun F. and Wu C., Effect of heat transfer on the performance of thermoelectric generators, International Journal of Thermal Science, Vol. 41, 95-99, 2001
- [11] นิยม จันทรเทพา และธีระ มนัสธรรม. คู่มือการผลิตและใช้เตาทุ้งต้มประสิทธิภาพสูง : สำนักงานพลังงานธรรมชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงาน, 2527
- [12] Hagelstein, Peter. L. Thermal to electric energy conversion. Research Laboratory of Electronics, MIT, USA.
- [13] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และคณะ. รายงานฉบับสมบูรณ์ งานศึกษาวิเคราะห์ศักยภาพทางเทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยความร้อนเหลือทิ้งขนาด 100 วัตต์. ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ธันวาคม 2549.
- [14] The Research Institute for Ubiquitous Energy Devices. Electric Power Generated from Waste Heat. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan, 2005.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

อุณหภูมิต่าง ๆ ในการทดสอบประสิทธิภาพเตาเศรษฐกิจ



ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิต่าง ๆ ในการทดสอบประสิทธิภาพเตา

เวลา (นาที)	ในเตา (°C)	แผ่นเหล็ก (°C)	ครีบน้ำร้อน (°C)	อากาศที่ครีบน้ำ (°C)	น้ำ (°C)	สิ่งแวดล้อม (°C)
0	32.9	30.4	30.3	31.3	29.5	32.1
3	66.5	32.3	31.3	31.8	32.4	32.2
6	173.1	38.7	32.5	32.5	47	32.3
9	247.3	60.2	35.9	34.4	62	32.2
12	517.8	99.2	43.4	37.6	78.2	32.3
15	318.6	143	55	44.1	92.3	32.4
18	389.1	187.8	69.8	52.9	99.7	32.3
21	413.7	229.1	85.4	61.4	99.7	32.3
24	400	256	98.8	64.3	99.7	32.3
27	398.7	268.7	108.5	77.6	99.7	32.6
30	392.1	271.8	114.4	79.6	99.8	32.6
33	386.9	270.2	118	85.3	99.8	32.4
36	371.6	267	120	84.6	99.7	32.4
39	366.9	261.4	119.1	84.5	99.7	32.3
42	354.2	255.1	119	84.2	99.7	32.2
45	347.3	248.2	117.6	87.7	99.6	32.2
48	318.9	241.2	115.7	80.8	99.5	32.2
51	323.7	233.1	113.1	82.7	99.6	32.1
54	310.5	225.5	110.2	81	99.5	32.1
57	305.1	218.5	107.3	77.8	99.1	32
60	296.1	211.4	105	79.7	99.2	32
63	281.9	204.4	103.1	76.2	98.5	31.9
66	271.4	197.7	100.8	74.9	98.2	31.8
69	261.3	191	98.9	75.2	97.3	31.8
72	251.9	184.1	96.3	72.9	96.1	31.8

เวลา (นาทีก)	ในเตา (°C)	แผ่นเหล็ก (°C)	ครีบน้ำร้อน (°C)	อากาศที่ครีบน้ำ (°C)	น้ำ (°C)	สิ่งแวดล้อม (°C)
75	243.5	177.2	93.8	73.2	94.1	31.7
78	232.9	170.7	91.8	70.7	90.9	31.6
81	222.4	164.7	89.3	67.9	89.4	31.5
84	219.8	159	87.5	71.9	88.6	31.5
87	212.4	149.8	87.4	68.5	87.8	31.5
90	199.2	144.8	87.4	64.8	86.5	31.4
93	194.4	139.5	87.4	65.3	86.5	31.4
96	186.3	135	80.6	61.5	85.6	31.4
99	177.2	129.7	79.4	64.2	83.1	31.3



ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณทางไฟฟ้า



ตัวอย่างการคำนวณ

การทดลองเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด พบว่าที่อุณหภูมิ 200°C จะให้กำลังไฟฟ้าได้สูงสุด ซึ่งจะเกิดเมื่อทำการลัดวงจร (Short Circuit) ไม่ต่อตัวต้านทาน เพื่อหาค่า กระแสไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.84 A และวัดแรงดันไฟฟ้า เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด โดยการเปิดวงจร (Open Circuit) ไม่ต่อตัวต้านทาน พบว่าความต่างศักย์สูงสุดมีค่าเท่ากับ 5.35 V

1.	$V = IR$			
	V	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่อไม่ผ่านความต้านทานภายนอก	=	5.35 V
	I	กระแสเมื่อไม่ผ่านความต้านทานภายนอก	=	0.84 A
$\therefore$	R	ความต้านทานภายใน	=	6.3 Ohm
2.	$P = IV$			
	V	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่อไม่ผ่านความต้านทานภายนอก	=	5.35 V
	I	กระแสเมื่อไม่ผ่านความต้านทานภายนอก	=	0.84 A
$\therefore$	P	กำลังไฟฟ้า	=	4.5 W

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการทดสอบเตาเศรษฐกิจ



ตัวอย่างการทดสอบเตาเศรษฐกิจ

ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหุงต้ม คือปริมาณความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิปกติกลายเป็นไอน้ำ ต่อปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงสามารถคำนวณ แสดงดังสมการ (2.6)

$$HU = \frac{MC_p(T_2 - T_1) + (M - M_1)L}{M_f H} \times 100$$

HU	ประสิทธิภาพ (Heat Utilization Efficiency)		
M	น้ำหนักน้ำ	3	kg
M ₁	น้ำหนักน้ำที่เหลืออยู่	1.974	kg
M _f	น้ำหนักเชื้อเพลิง ถ่าน 0.5 kg	ไม้จุกไฟที่ใช้	0.035 kg
C _p	ความร้อนจำเพาะของน้ำ เท่ากับ	4.184	kJ/kg°C
T ₁	อุณหภูมิน้ำก่อนตั้งไฟ	29.5	°C
T ₂	อุณหภูมิของน้ำเดือด	100	°C
H	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงถ่าน	26,378	kJ/kg
L	ค่าความร้อนแฝงของน้ำ	2,261	kJ/kg

ค่าประสิทธิภาพการใช้งาน แทนค่าในสูตร

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3 \times 4.184(100 - 29.5) + (3 - 1.974) \times 2261}{(0.50 \times 26378) + (0.035 \times 17920)} \times 100 \\
 &= \frac{3204.702}{13816.2} \times 100 \\
 &= 23.20 \%
 \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพการใช้งานเมื่อรวมการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกในการทดสอบเตา 5,940 วินาที ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 4.5 W

$$= 6240 \times 4.5$$

$$= 26730$$

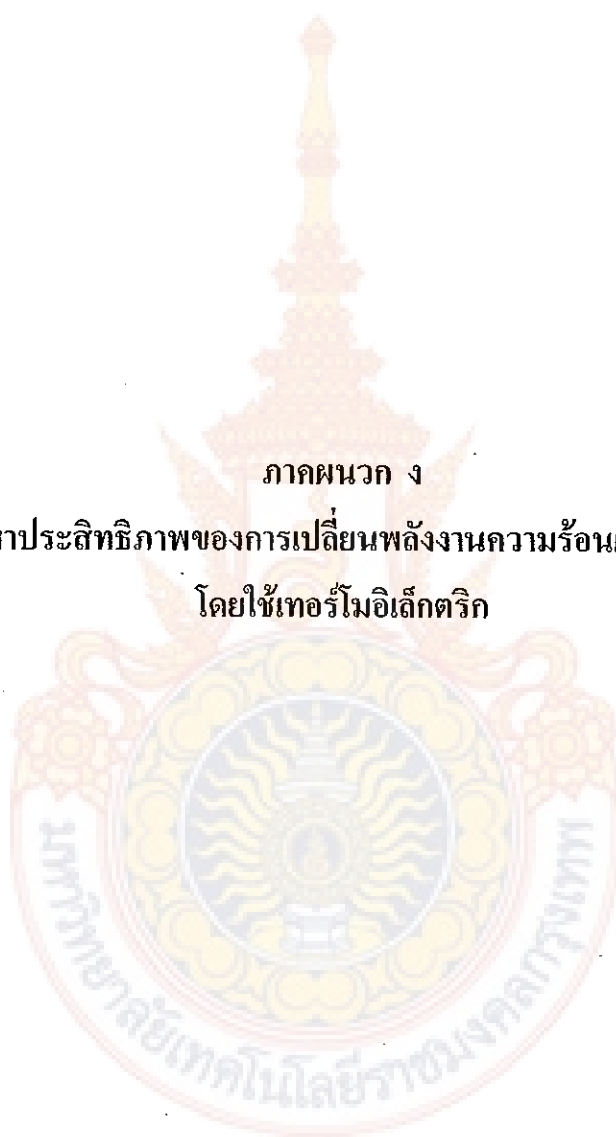
$$= 26.73 \text{ kJ}$$

$$= \frac{3204.702 + 26.73}{13816.2} \times 100$$

$$= 23.39 \%$$



ภาคผนวก ง
การคำนวณหาประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า
โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก



ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราความร้อนที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก (Q_H) อัตราความร้อนที่ระบายออกจากเทอร์โมอิเล็กทริก (Q_C) กำลังไฟฟ้าที่ได้ (P) และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η) สามารถหาได้ดังนี้

$$Q_H = n[\alpha T_H I - 0.5 I^2 R + K(T_H - T_C)]$$

$$Q_C = n[\alpha T_C I - 0.5 I^2 R + K(T_H - T_C)]$$

$$P = \alpha(T_H + T_C)I - I^2 R$$

$$\eta = \frac{P}{Q_H}$$

เมื่อ	I	กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก (A)
	V	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก (V)
	n	จำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกใน 1 โมดูล (126)
	K	ค่าการนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (2.8×10^{-3} W/K)
	P	กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
	R	ค่าความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก (6.508×10^{-3} Ω)
	Q_H	ความร้อนที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
	Q_C	ความร้อนที่ระบายออกจากเทอร์โมอิเล็กทริก (W)
	T_H	อุณหภูมิที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
	T_C	อุณหภูมิที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
	α	สัมประสิทธิ์ Seebeck (2.1266×10^{-4} V/K)
	η	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

$$Q_c = n[\alpha T_c I - 0.5 I^2 R + K(T_H - T_c)]$$

$$Q_{75} = 126[2.1266 \times 10^{-4} \times 348 \times 0.55 - 0.5 \times 0.55^2 \times 6.058 \times 10^{-3} + 2.8 \times 10^{-3} (348 - 330)]$$

$$= 11.36 \text{ W}$$

$$Q_{120} = 126[2.1266 \times 10^{-4} \times 393 \times 0.7 - 0.5 \times 0.55^2 \times 6.058 \times 10^{-3} + 2.8 \times 10^{-3} (393 - 346)]$$

$$= 23.77 \text{ W}$$

$$Q_{200} = 126[2.1266 \times 10^{-4} \times 473 \times 0.55 - 0.5 \times 0.55^2 \times 6.058 \times 10^{-3} + 2.8 \times 10^{-3} (473 - 395)]$$

$$= 37.9 \text{ W}$$



ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า ที่ความต้านทานต่าง ๆ

10 Ohm

$$(0.615)/(11.36) = 0.054$$

$$(1.197)/(23.77) = 0.050$$

$$(1.32)/(37.9) = 0.035$$

20 Ohm

$$(0.587)/(11.36) = 0.052$$

$$(0.826)/(23.77) = 0.034$$

$$(0.93)/(37.9) = 0.025$$

50 Ohm

$$(0.33)/(11.36) = 0.029$$

$$(0.415)/(23.77) = 0.017$$

$$(0.491)/(37.9) = 0.013$$

100 Ohm

$$(0.192)/(11.36) = 0.017$$

$$(0.247)/(23.77) = 0.010$$

$$(0.281)/(37.9) = 0.007$$

150 Ohm

$$(0.164)/(11.36) = 0.014$$

$$(0.159)/(23.77) = 0.007$$

$$(0.169)/(37.9) = 0.004$$

1000 Ohm

$$(0.024)/(11.36) = 0.002$$

$$(0.017)/(23.77) = 0.0007$$

$$(0.013)/(37.9) = 0.0003$$

ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ไม่มีภาระ

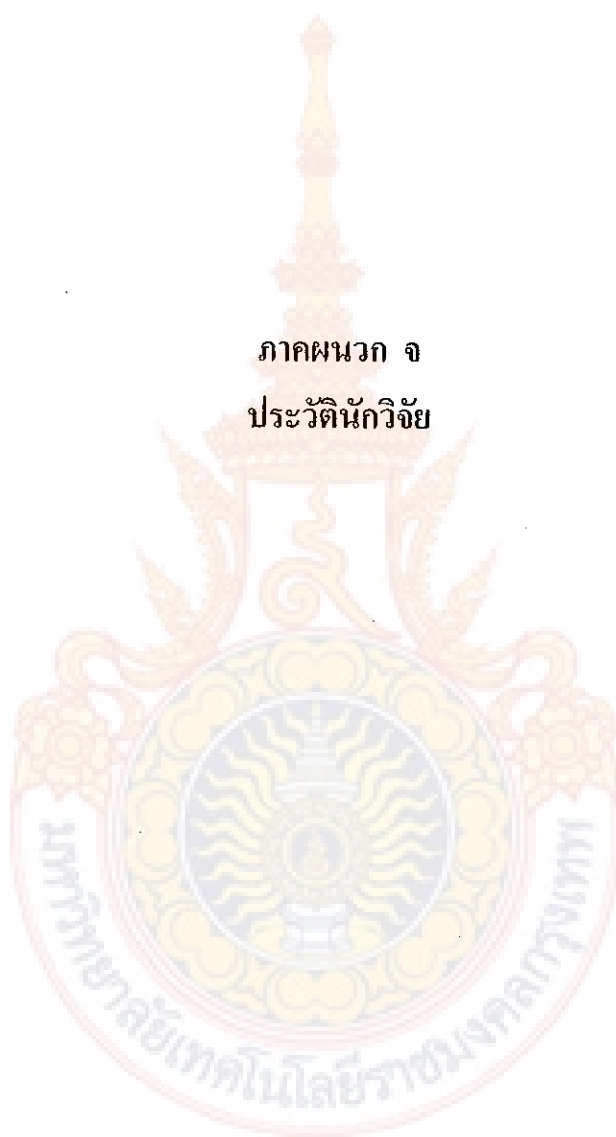
$$\text{ที่ } 75^{\circ}\text{C} \quad (1.57)/(11.36) = 0.138$$

$$\text{ที่ } 120^{\circ}\text{C} \quad (3.02)/(23.77) = 0.127$$

$$\text{ที่ } 200^{\circ}\text{C} \quad (4.50)/(37.9) = 0.119$$



ภาคผนวก จ
ประวัตินักวิจัย



1. ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ นาย ณรงค์ นามสกุล สังวาระนที

ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์ หน่วยงานที่สังกัด สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

หมายเลขโทรศัพท์ 02-287 9731 โทรสาร 02-287 9731

หมายเลขโทรศัพท์ 083-713 8138 E-mail: narong_5@hotmail.com , narong.s@rmutk.ac.th

2. ประวัติการศึกษา (ปริญญาตรี โท เอก)

วุฒิการศึกษา	ปีที่สำเร็จการศึกษา	สถานศึกษา
ปร.ค. (ฟิสิกส์ประยุกต์)	2552	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วท.ม.(ฟิสิกส์ประยุกต์)	2549	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วท.บ.(ฟิสิกส์)	2546	สถาบันราชภัฏเทพสตรี (ลพบุรี)

3.งานวิจัย

International Conference

- ❶ N.Sangwara and P.P. Yupapin, **High Capacity Tunable Wavelength Generation for Super Dense Wavelength Division Multiplexing Use**, I-SEEC2008
- ❷ N.Sangwaranatee, P.Chaizchate, S.Mitatha, P.P. Yupapin. **Molecule Transportation via Hybrid MUX/DEMUX Sytem**. PIERS Online, 2010.

International Journal

- ❶ N.sangwara , P.P. Yupapin and W. Khannam, **High Capacity Tunable Wavelength Generation and Filtering using a Nonlinear Micro Ring Resonator for DWDM Applications**, SPC2009.
- ❷ N. Sangwara, K. Sarapat, K. Srinuanjan and P.P. Yupapin, **A Novel Dark-Bright Optical Solitons Conversion System and Power Amplification**, Optical Engineering, Vol. 48(4), 2009.(Impact Factor:2008:0.757)
- ❸ N. Sangwara, C. Teeka, S. Pipatsart, and P.P. Yupapin, **An investigation of dark soliton behaviours within the nonlinear micro and nano ring resonators**, Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2009. (Impact Factor:2008:0.507)

- ④ P.P. Yupapin, N. Sangwara, N. Pornsuwancharoen, Generalized optical filters using a nonlinear micro ring resonator system, Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2009. (Impact Factor 2008: 0.507)
- ⑤ N. Pornsuwancharoen, P. Youplao, N. Sangwara, P.P. Yupapin, Multi-wavelength generation of an extremely narrow pulse using a ring resonator system for bio-cells microscopy. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2009. (Impact Factor 2008: 0.507)
- ⑥ N. Sangwara, N. Pornsuwancharoen, P.P. Yupapin. Soliton pulses generation and filtering using micro-ring resonators for DWDM-based soliton communication
Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2009. (Impact Factor 2008: 0.507)
- ⑦ N. Pornsuwancharoen, N. Sangwara, P.P. Yupapin. Generalized fast and slow lights using multi-state microring resonators for optical wireless links
Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2009. (Impact Factor 2008: 0.507)
- ⑧ N. Wattanasiripong, N. Sangwaranatee, C. Leenawong and P.P. Yupapin, High Capacity Photon/Atom Transportation using Hybrid Multiplexer via DWDM Link, Far East Journal of Mathematical Science, 2009. (Impact Factor:2008:0.816)

