

การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบระบายความร้อนของ
เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสำหรับยานยนต์
FESIBILITY STUDY OF COOLING SYSTEM BY
THERMOELECTRIC MODULES FOR AUTOMOTIVE
APPLICATION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอสงวนสิทธิ์ใน
เนื้อหาและข้อมูล ไม่สามารถนำออกจากรายการได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะปีการศึกษา 2559 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FESIBILITY STUDY OF COOLING SYSTEM BY
THERMOELECTRIC MODULES FOR AUTOMOTIVE
APPLICATION



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2016

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบระบายความร้อนของ
เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสำหรับยานยนต์

ชื่อนักศึกษา นางสาวพุกษา เสงมุล รหัสนักศึกษา 56051175
นางสาววรรณกานต์ สุวรรณโคตร รหัสนักศึกษา 56051205
นายอนุชิต อินนา รหัสนักศึกษา 56051238

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2559
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ ประธานกรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	
ดร.กาญจน์ปัญญา สุวรรณสุโข กรรมการ	
ผศ.ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของคณะวิทยาศาสตร์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังฯ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบระบายความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสำหรับยานยนต์	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพุกษา เองมูล	รหัสนักศึกษา 56051175
	นางสาววรรณกานต์ สุวรรณโคตร	รหัสนักศึกษา 56051205
	นายอนุชิต อินนา	รหัสนักศึกษา 56051238
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2559	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก	

บทคัดย่อ

โครงการเล่มนี้จะกล่าวถึง ความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกมาเป็นระบบการทำความเย็นให้กับรถยนต์ขณะจอดอยู่กลางแจ้ง เพื่อที่จะต้องการลดอุณหภูมิภายในห้องผู้โดยสาร ให้ผู้โดยสารสัมผัสถึงความรู้สึกแรกที่ไม่ร้อนเกินไป เมื่อเข้าไปนั่งภายในรถยนต์ จึงได้ทำการจำลองและออกแบบชุดการทดลองที่มีขนาดเล็กก่อน แล้วจึงนำไปคิดเปรียบเทียบเท่ากับรถยนต์จริงในภายหลังโดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย เทอร์โมอิเล็กทริก, Heat Sink, พัดลม, กล่องกันความร้อนและแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ฯลฯ โดยกล่องทดลองที่ออกแบบมี 2 ชั้น ชั้นแรกจะเป็นเนื้อไม้อัด และชั้นที่สองเป็นเนื้อโฟมที่มีความหนา 2.5 นิ้ว เพื่อให้การถ่ายโอนความร้อนมีค่าน้อยที่สุด ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิภายในกล่องลดลงไป 2 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกลดลงไปได้ถึง 4 องศาเซลเซียส ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอากาศภายในกล่องไม่มีการหมุนเวียนเมื่อนำมาคิดงบประมาณเพื่อใช้ในการลงทุนทั้งหมดแล้ว ต้องใช้งบประมาณ 388,422 บาท ต่อรถยนต์ 1 คัน

คำสำคัญ : การทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Fesibility Study of Cooling System by Thermoelectric Modules for Automotive Application	
Students	Miss. Pharueksa Hengmun	Student ID56051175
	Miss.Wannakan Suwannakot	Student ID56051205
	Mr. Anuchit Inna	Student ID56051238
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2559	
Advisor	Dr.Aparporn Sakulkalavek	

Abstract

This project mentioned to cooling system in a car while park in the parking lot for it will make passengers feel no overheat temperature. The project was designed the experimental module to small box. And then compare it with the volume of real car later. Main components include thermoelectric, heatsink, cooling fan, insulated box and power supply. The wall box was designed to 2 sheets by first sheet was made from Plywood material and second sheet was made form Polystyrene foam for decrease as well as heat transfer late from outside to inside. The results of experiment are the temperature air inside a box decrease down two degree Celsius gap from 30 degree Celsius to 28 degree Celsius while temperature at cold side decreases to four degree Celsius. That because the air in a box have low flow. When we took cost calculations about 388,422 Baht per a car.

Keywords : Thermoelectric cooling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากการสนับสนุนความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.อาภาภรณ์ สกฤตกระแวก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้คำปรึกษา แนวทาง รวมถึงเทคนิคต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงการพิเศษเล่มนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ต่างๆ และตลอดจนทุนสนับสนุนในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และชี้แนะปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงคนในครอบครัว ที่คอยสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด ทั้งให้คำปรึกษา และเป็นกำลังสำคัญที่ช่วยผลักดันทางการศึกษาและการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้จนสำเร็จ



พฤษภา เสงมุล

วรรณกานต์ สุวรรณโคตร

อนุชิต อินนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	4
2.1.1 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก	5
2.1.2 การทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	5
2.1.3 การทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	7
2.2 แผงระบายความร้อน	7
2.3 เทอร์โมคัปเปิล	9
2.3.1 หลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล	10
2.3.2 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	11
2.4 คู่มือการใช้โปรแกรมSolidWorksขั้นพื้นฐาน	13
2.4.1 ความหมายของแอสเซมบลีทูลบาร์	13
2.4.2 คำสั่งการประกอบชิ้นงานเข้าด้วยกัน	14
2.4.3 คำสั่งการสร้างภาพระเบิดโดยคำสั่ง	15
2.4.4 คำสั่งการสร้างภาพเคลื่อนไหว	16
2.4.5 คำสั่งการสร้าง Simulation	17
2.4.6 การตรวจสอบการซ้อนทับกันของชิ้นงาน	18
2.4.7 การสร้างภาพเขียนแบบ 2 มิติ	19
2.4.8 การเลือกใช้วัสดุ (Material) ในการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
3.1 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิของรถยนต์ขณะจอดกลางแจ้ง	26
3.2 การหาปริมาตรรถยนต์ ปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	27

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 คำนวณและการออกแบบโมเดลการทดลอง	28
3.4 วิธีการต่อวงจรของชุดการทดลอง	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	33
4.1 การหาความร้อนภายในรถยนต์ทางทฤษฎี	33
4.2 การทดสอบการทำความเย็น	40
4.3 การคำนวณหาค่าพลังงานและกำลัง	44
4.4 การคำนวณมูลค่าตัวต้นแบบ	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
2.1 ความหมายและการใช้งานแอสเซมบลีทูลบาร์	13
2.2 ความหมายตัวเลือกหลักจากหน้าต่างกล่องโต้ตอบได้ Mate	15
2.3 ความหมายชนิดของการ Assembly ในคำสั่ง Standard Mates	15
2.4 ความหมายในคำสั่ง Explode view	16
2.5 ความหมายของ Drawing Tools	19
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอนุกรมกรณีย์ใช้พัดลม	40
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอนุกรมกรณีย์ไม่ใช่พัดลม	42
4.3 แสดงค่ากำลังความร้อน	44
4.4 แสดงกำลังไฟฟ้า	44
4.5 แสดงค่ากำลังความร้อน	45
4.6 แสดงจำนวนเท่าของตัวตั้งต้นเทียบกับรถยนต์จริง	45
4.7 แสดงการคำนวณมูลค่าชุดตัวตั้งต้นไม่รวมแผงโซลาร์เซลล์	45
4.8 แสดงการคำนวณมูลค่าราคาสำหรับรถยนต์	46
4.9 แสดงราคาแผงโซลาร์เซลล์ทั้งหมด	46
4.10 แสดงราคารวมทั้งหมดของราคาตัวตั้งต้นรวมกับราคาโซลาร์เซลล์	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย จัดทำในปี 2554	1
2.1 การทดลองของ Thomas Johann Seebeck	4
2.2 ปรากฏการณ์ Peltier effect จากการเคลื่อนที่ของประจุในโลหะต่างชนิด	5
2.3 Thermoelectric cooling	6
2.4 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์	7
2.5 แสดงลักษณะของHeat Sink	9
2.6 วงจรที่ใช้อธิบายผลของซีแบ็ค	9
2.7 การรักษา Reference Junction ด้วยน้ำแข็งบริสุทธิ์	10
2.8 การรักษา Reference Junction ด้วยวงจรไฟฟ้าแบบ Bridge	11
2.9 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	12
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและแรงดันซีแบ็คที่เกิดขึ้นนั้นไม่เป็นเชิงเส้น แต่เป็นแบบพาราโบลา	12
2.11 เมนูคำสั่ง	13
2.12 ทูลบาร์Mate	14
2.13 การใช้คำสั่ง Explode view	15
2.14 ไอคอนConfigurationManager	16
2.15 หน้าต่างโต้ตอบ Animation controller	16
2.16 หน้าต่างของ Rotary motor	17
2.17 หน้าต่างของ Animation Controller	17
2.18 หน้าต่างของ Interference Detection	18
2.19 แสดงผลในช่องของ Results	18
2.20 ภาพชิ้นงาน 3D ที่วาดจาก Solid Works	20
2.21 ภาพชิ้นงาน 3D ที่วาดจาก Solid Works โดยใช้วัสดุที่ต่างชนิดกัน	20
2.22 ตัวอย่างวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย	21
2.23 ตัวอย่างของวัสดุชนิด Copper	21
2.24 ตัวอย่างของวัสดุชนิด Stainless Steel	22
2.25 ตัวอย่างของวัสดุชนิด Aluminum	22
2.26 ภาพชิ้นงาน 3D ที่ Simulationแล้วโดยใช้วัสดุชนิดสแตนเลส	22
2.27 ภาพชิ้นงาน 3D ที่ Simulation แล้วโดยใช้วัสดุชนิดทองแดงหรือ ทองเหลือง	23
2.28 ภาพชิ้นงาน 3D ที่ Simulation แล้วโดยใช้วัสดุชนิดอะลูมิเนียม	23
2.29 ภาพ 3D ที่ Simulation ใช้วัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมทองแดง และสแตนเลส	24
3.1 ภาพถ่ายรถยนต์จากกล้องวัดอุณหภูมิขณะจอดกลางแจ้ง	26
3.2 โครงสร้างรถยนต์	27
3.3 การออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid work เพื่อหาปริมาตรภายในรถยนต์	27
3.4 กล้องไม้บรรทัดที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	29
3.5 กล้องโฟโต้มิเตอร์ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 กล้องใส่อีทซิงค์	30
3.7 อีทซิงค์	30
3.8 แผ่นประกบอีทซิงค์	31
3.9 ภาพรวมชุดการทดลอง	31
3.10 การต่อวงจรของชุดการทดลอง	32
4.1 โมเดลรถยนต์ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Solidworks 2016	33
4.2 โมเดลกล่องที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Solidworks 2016	34
4.3 การกำหนดค่า Temperature บริเวณตัวรถยนต์	34
4.4 การกำหนดค่า Temperature บริเวณกระจกรถยนต์	35
4.5 การกำหนดค่า Convection ของอากาศภายนอกรถยนต์	35
4.6 การกำหนดระยะเวลาที่ต้องการเก็บค่า	36
4.7 การกำหนดค่าเริ่มต้นภายนอกรถยนต์	36
4.8 การกำหนดค่าเริ่มต้นของอากาศภายในรถยนต์	37
4.9 โปรแกรมทำการคำนวณในเชิงเรขาคณิต	37
4.10 โปรแกรมทำการวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล	38
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา	38
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ (กรณีใช้พัดลมระบายความร้อน)	41
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ (กรณีไม่ใช้พัดลมระบายความร้อน)	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

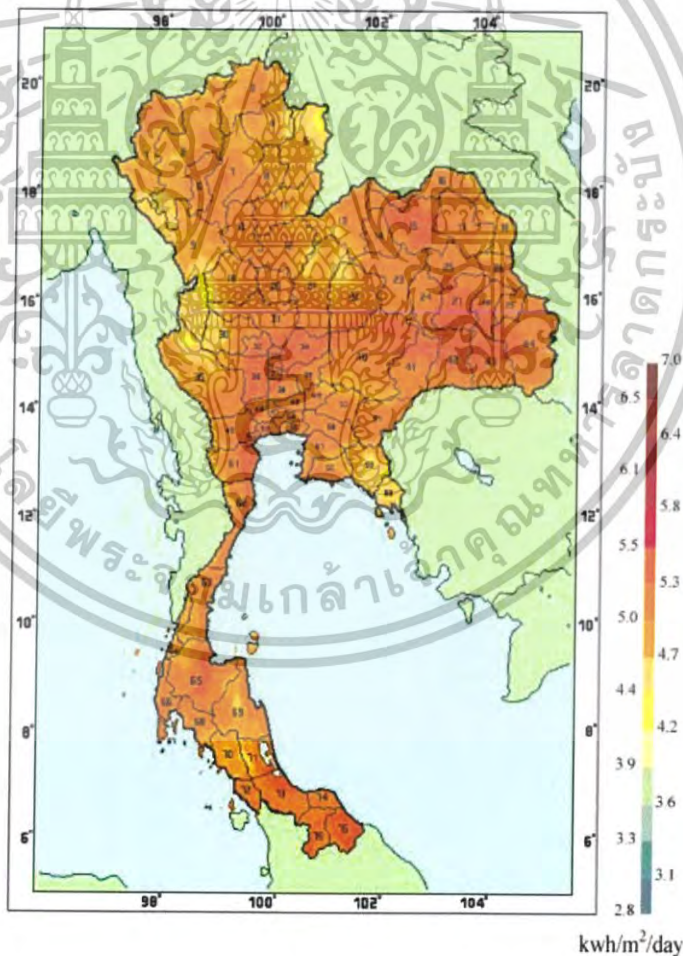
คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Z	ค่าบ่งชี้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ
α	สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค
σ	สภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ
γ	สภาพการนำความร้อนของวัสดุ
T	ค่าบ่งชี้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ
ZT	คุณสมบัติการเปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุด
q_x	อัตราการนำความร้อนต่อพื้นที่
k	สภาพนำความร้อนของตัวกลาง
$\frac{dT}{dx}$	อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในทิศทาง x
q''	อัตราการพาความร้อนต่อพื้นที่
T_s	อุณหภูมิของพื้นที่ยึดกัน
T_∞	อุณหภูมิของตัวกลางในการพาความร้อน
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
P	กำลังไฟฟ้า
I	กระแสไฟฟ้า
V	แรงดันไฟฟ้า
m^3	ลูกบาศก์เมตร
Q	ปริมาณความร้อน
m	มวล
c	ความจุความร้อนจำเพาะ
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิ
p	ความหนาแน่นอากาศ
t	เวลา
cm	เซนติเมตร
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส
K	เคลวิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศของโลกที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์สูงอันดับต้นๆ เนื่องจากเหตุผลทางภูมิศาสตร์และสภาวะเรือนกระจกที่เกิดจากพฤติกรรมของมนุษย์ รูปที่ 1 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปี ในแต่ละเดือนนั้นการกระจายของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ของประเทศไทยได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับแสงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคมโดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.54 ถึง 6.65 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วันและจากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 5.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย จัดทำในปี 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในวงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเหตุผลข้างต้นจึงเป็นข้อได้เปรียบของประเทศไทย คือความเข้มของแสงอาทิตย์ที่สูงเอื้อต่อการที่จะเป็นแหล่งพลังงานให้กับประเทศ โดยการสามารถดึงพลังงานไฟฟ้ามาใช้ได้โดยตรงผ่านเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์คิดค้นครั้งแรกในปี ค.ศ.1954 โดย แชปปีน (Chapin) ฟลูเลอร์ (Fluler) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เลโฟน (Bell Telephon) โดยทั้ง 3 ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ พี - เอ็น (P-N)แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์ชิ้นแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6 % เท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพมากกว่า 15 % ^[1]

อย่างไรก็ตามข้อเสียของการมีความเข้มของแสงอาทิตย์ที่สูง จึงส่งผลให้ของประเทศไทยมีอากาศร้อน และเป็นเหตุให้มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2559 ทำให้มียอดขายของเครื่องปรับอากาศมากประมาณ 1.81-1.83 ล้านเครื่อง ^[2] ซึ่งเครื่องปรับอากาศเป็นเทคโนโลยีการทำความเย็นแบบอัดไอ ^[3] ซึ่งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง โดยความร้อนจะถูกส่งผ่านสารทำความเย็นไปยังอากาศภายนอก สารทำความเย็นเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยกระบวนการอัดสารทำความเย็นให้เป็นไอ เครื่องปรับอากาศชนิดนี้มีข้อเสียคือใช้พลังงานไฟฟ้าสูง มีราคาแพง และไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ยังมีอีกเทคโนโลยีการทำความเย็นอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจคือ เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งต้องการเพียงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดัน และกระแสไฟฟ้าพร้อมทั้งระบบระบายความร้อนที่เหมาะสมกับการสูบปริมาณความร้อนของเซลล์ออกจากบริเวณที่ต้องการในการทำความเย็น โดยอาศัยการดูดกลืนความร้อนของกลุ่มอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่จากรอยต่อด้านเย็นผ่านเทอร์โมอิเล็กทริก และนำไปปลดปล่อยที่รอยต่อด้านร้อนทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิโดยมีผลทำให้รอยต่อด้านเย็นมีอุณหภูมิต่ำลงซึ่งความเย็นขึ้นกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและการระบายความร้อนที่รอยต่อด้านร้อนออก

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการทำความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก และมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในการใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก ในการนำเทคโนโลยีทั้งสองมาใช้ร่วมกันนั้น เป็นแนวคิดเบื้องต้นเพื่อต้องการแก้ปัญหาสภาพอากาศภายในรถยนต์ขณะจอดทิ้งไว้กลางแจ้งแดด โดยเป็นการลดหรือควบคุมอุณหภูมิของห้องผู้โดยสารให้มีอุณหภูมิประมาณอุณหภูมิห้อง หรือไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิร่างกายของมนุษย์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1). เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในใช้เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกลดอุณหภูมิภายในรถยนต์
- 2). เพื่อต้องการใช้พลังงานสะอาดในการปรับอุณหภูมิแทนพลังงานไฟฟ้า
- 3). เพื่อออกแบบระบบการทำความเย็นให้สามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1). ออกแบบกล่องให้มีปริมาตรตามขนาดที่ต้องการ
- 2). ศึกษาการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยมูลนิธิเพื่อประโยชน์ของสังคมไทย โดยมูลนิธิฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมด ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมูลนิธิฯ ได้ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อมูลนิธิฯ โทร. 02-254-1111 หรือ 02-254-1112

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1). ทำให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์
- 2). สามารถนำเทคโนโลยีทั้งสามไปพัฒนาต่อในอุตสาหกรรมได้

1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้มีระยะเวลาในการจัดทำ รวมทั้งสิ้น 10 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งมีการดำเนินการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินการ	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล										
2.เตรียมอุปกรณ์										
3.เก็บข้อมูลจาก การทดลอง										
4.วิเคราะห์ข้อมูล										
5.สรุปผล										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

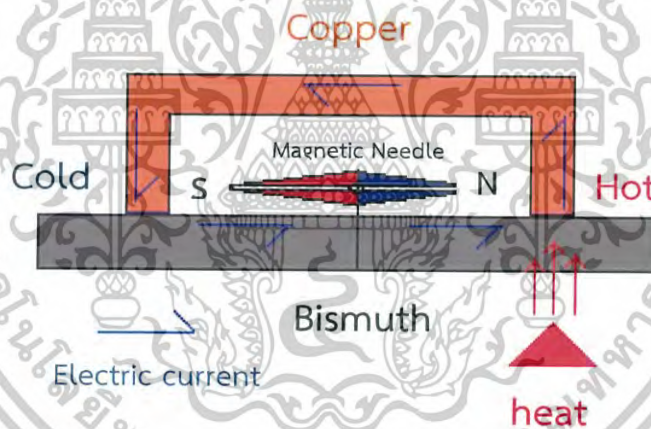
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้เกี่ยวกับนวัตกรรมการทำความเย็นด้วยเทคโนโลยีสะอาด ในการศึกษาครั้งนี้จะต้องอาศัยความรู้และทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเทอร์โมอิเล็กทริก การระบายความร้อน ทฤษฎีเทอร์โมคัปเปิ้ล การใช้โปรแกรม SolidWorks ขึ้นพื้นฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

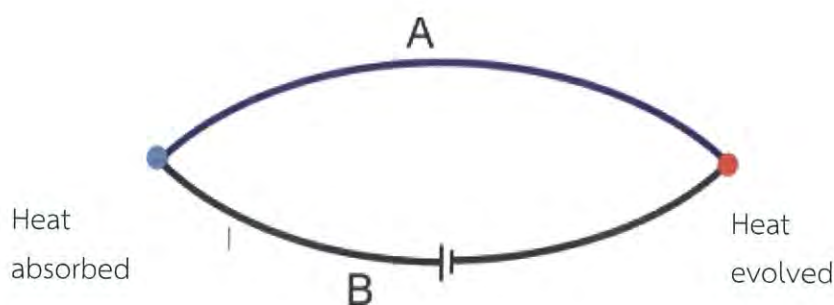
ในปีค.ศ. 1821 นักฟิสิกส์ชื่อ Thomas Johann Seebeck ได้ค้นพบโดยบังเอิญว่าถ้าให้ความร้อนที่รอยต่อของโลหะ 2 ชนิดจะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายโลหะทั้งสองเนื่องจากกลุ่มอิเล็กตรอนในโลหะด้านร้อนจะมีพลังงานจลน์สูงกว่าโลหะด้านเย็นและเคลื่อนที่เร็วกว่า ดังรูปที่ 2.2.1 จึงทำให้เกิดความแตกต่างปริมาณของอิเล็กตรอนที่ปลายโลหะดังกล่าว Seebeck ได้สรุปว่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในโลหะจึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Seebeck effect



รูปที่ 2.1 การทดลองของ Thomas Johann Seebeck

ต่อมา Jean Peltier ได้ทำการทดลองในปีค.ศ. 1834 ได้ทำการทดลองผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในโลหะทองแดงและบิสมัทที่เชื่อมต่อกันผลที่เกิดขึ้นคือรอยต่อระหว่างทองแดงและบิสมัทข้างหนึ่งจะร้อนขึ้นส่วนอีกข้างหนึ่งจะเย็นลงเป็นผลจากคุณสมบัติของโลหะแต่ละชนิดโดยกลุ่มอิเล็กตรอนเคลื่อนผ่านโลหะด้านหนึ่งจะปลดปล่อยความร้อนออกมา (Heat evolved) แต่อีกด้านหนึ่งจะดูดกลืนความร้อน (Heat absorbed) ทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิดังรูปที่ 2.2 เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Peltier effect และ Peltier ยังได้ใช้รอยต่อของทองแดงและบิสมัททำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งจากกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์เห็นได้ว่าปรากฏการณ์ทั้งสองเป็นกระบวนการที่สามารถกำเนิดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานย้อนกลับกระบวนการกันได้ (Reverse operation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์ Peltier effect จากการเคลื่อนที่ของประจุในโลหะต่างชนิด

2.1.1 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติ 3 ประการดังนี้

1. สามารถให้สภาพนำไฟฟ้าสูงแต่เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อย (ความร้อนเกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า)
2. สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นความเย็นได้มาก
3. มีสภาพการนำความร้อนต่ำเพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ

คุณสมบัติทั้ง 3 ประการมีความสัมพันธ์กันด้วยหลักการทางฟิสิกส์ตามสมการที่ 1 ใช้สำหรับบ่งชี้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ Z

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\gamma} \quad (1)$$

โดยที่ α คือสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Volt/Kelvin)
 σ คือสภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ (Ampere/Volt·meter)
 γ คือสภาพนำความร้อนของวัสดุ (Watt/meter·Kelvin)

เนื่องจาก Z มีหน่วยต่ออุณหภูมิแต่ในทางปฏิบัติค่าบ่งชี้ที่เปรียบเทียบกันได้ง่ายควรจะไม่มีการเรียกว่าค่า figure-of-merit ดังนั้นจึงมีการคูณสมการ 1 ด้วย T ได้สมการใหม่เป็น ZT โดยที่ T คืออุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำงานค่า ZT จึงเป็นค่า figure-of-merit ที่ใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติการเปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและคุณสมบัติการทำความเย็นสูงสุดของวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนองค์ประกอบ (Thermo- element) ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

2.1.2 การทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ปัจจุบันวิวัฒนาการของปรากฏการณ์ Seebeck effect และ Peltier effect ได้มีการพัฒนาเป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานตามกระบวนการอุณหพลศาสตร์ใน 2 รูปแบบคือจักรกลความร้อน (Heat engine) และจักรกลสูบความร้อน (Heat pump) โดยมีการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์แบ่งแยกชนิดตามหน้าที่ในการทำงานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากความร้อน (ตามปรากฏการณ์ Seebeck effect) เรียกว่า Thermoelectric Generator (TEG)

ข. อุปกรณ์ทำความเย็น (ตามปรากฏการณ์ Peltier effect) เรียกว่า Thermoelectric-Cooler (TEC) หรือ Peltier cooler

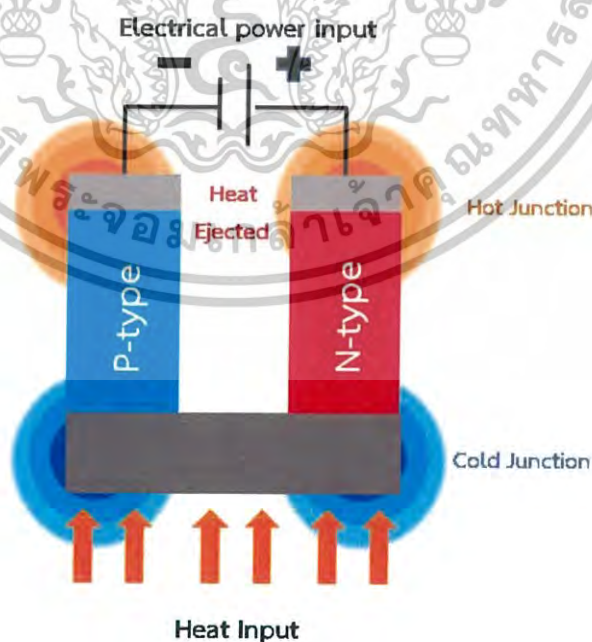
ก. เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (Thermoelectric Generator)

การกำเนิดไฟฟ้าด้วยความร้อนจากพฤติกรรมรอยต่อโอห์มมิก (Ohmic junction) ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์อาศัยความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างรอยต่อด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริคมีผลให้ทำให้อิเล็กตรอนในวัสดุด้านร้อนมีพลังงานจลน์สูงกว่าวัสดุด้านเย็นและเคลื่อนที่เร็วกว่าเกิดความต่างปริมาณของประจุไฟฟ้าและกำเนิดไฟฟ้าขึ้นที่ปลายขั้วต่อของอุปกรณ์พร้อมจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลด (Load) ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และเนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ผลิตไฟฟ้าจากความร้อนบางครั้งจึงเรียกว่าเซลล์ความร้อน (Thermoelectric cell)

ในการทำโครงการพิเศษนี้จะอาศัยปรากฏการณ์ Peltier effect ซึ่งเรียกว่า Thermoelectric-Cooler (TEC) หรือ Peltier cooler

ข. เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (Thermoelectric Cooler)

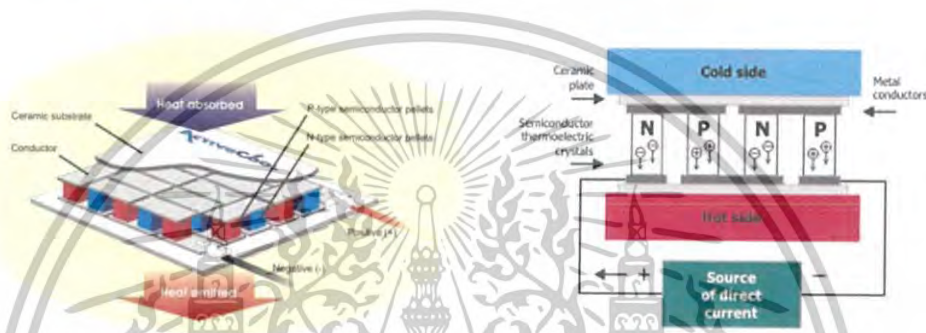
คือการทำทำความเย็นด้วยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านบริเวณรอยต่อโอห์มมิกของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (TEC) อาศัยการดูดกลืนความร้อนของกลุ่มอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่จากรอยต่อด้านเย็นผ่านเทอร์โมอิเล็กทริคและนำไปปลดปล่อยที่รอยต่อด้านร้อนทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิโดยมีผลทำให้รอยต่อด้านเย็นมีอุณหภูมิต่ำลงซึ่งความเย็นขึ้นกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและการระบายความร้อนที่รอยต่อด้านร้อนออกดังแสดงในรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.3 Thermoelectric cooling
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ระบบทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจะแตกต่างจากระบบทำความเย็นแบบอัดไอเคมี (Compression) ที่ใช้กันทั่วไปตรงที่ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวและไม่ต้องการสารทำความเย็น ไม่มีเสียงรบกวนการทำงานทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกต้องการเพียงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันและกระแสไฟฟ้าพร้อมทั้งระบบระบายความร้อนที่เหมาะสมกับการสูบน้ำวนความร้อนของเซลล์ออกจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็นโดยจัดวางจรรยาตามแผนภาพรูปที่ 2.4 การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกทำให้เกิดกลุ่มพาหะประจุรับความร้อนจากผนังด้านเย็นเคลื่อนไปปล่อยที่ผนังด้านร้อนที่อยู่ตรงกันข้ามทำให้ผนังด้านเย็นมีอุณหภูมิที่ต่ำลงต่อเนื่องจนมีเกล็ดน้ำแข็ง ซึ่งเกิดจากความชื้นในอากาศจับตัวรอบเท่าที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าป้อนให้ระบบและระบายความร้อนออกจากผนังด้านร้อนของระบบ



รูปที่ 2.4 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์

2.2 แผงระบายความร้อน (Heat Sink)

Heat Sink คือตัวรับความร้อนจากแหล่งความร้อนสูงไปปล่อยที่แหล่งความร้อนต่ำโดยการนำความร้อน หรือทำหน้าที่ลดอุณหภูมิขณะทำงานของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยเพิ่มพื้นที่สัมผัสอากาศ ทำให้การพาความร้อนจากตัวอุปกรณ์สู่อากาศโดยรอบทำได้เร็วขึ้นมากขึ้น ซึ่งปกติจะติดตั้งแผงระบายความร้อนกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความร้อนสูง เช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง, ไดโอดเปล่งแสงบางชนิด, หลอดเลเซอร์ และในคอมพิวเตอร์ มักจะมีการติดตั้งแผงระบายความร้อนที่หน่วยประมวลผลกลางกับที่หน่วยประมวลผลกราฟิกส์

ในปัจจุบันวัสดุที่นิยมนำมาทำแผงระบายความร้อนจะมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบคือ อะลูมิเนียม, ทองแดง และทองแดง+อะลูมิเนียม ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป

1. อะลูมิเนียม คุณสมบัติโดยทั่วไปของอะลูมิเนียมจะนำความร้อนได้ไม่ดีเท่าทองแดงมีน้ำหนักเบา, มีราคาถูกกว่าและขั้นตอนการผลิตง่ายกว่าจึงทำให้เป็นที่นิยมมากกว่าทองแดง
2. ทองแดง จะมีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดีกว่าอะลูมิเนียม แต่ขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยาก การประกอบจำเป็นต้องใช้การเชื่อม มีน้ำหนักมากและราคาแพงจึงทำให้ไม่เป็นที่นิยมหรือเป็นที่นิยมเฉพาะกลุ่มบุคคลที่ชื่นชอบการโอเวอร์คล็อกซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนมากกว่าปกติและต้องการการระบายความร้อนที่รวดเร็ว ซึ่งฮีตซิงก์ทองแดงทำหน้าที่ได้ดีกว่า
3. ทองแดง+อะลูมิเนียม โครงสร้างส่วนใหญ่มักจะมีแกนกลางที่สัมผัสผิวหน้าของซีพียูทำจากทองแดงและครีปทำจากอะลูมิเนียม ซึ่งผิวสัมผัสระหว่างทองแดงและอะลูมิเนียมจะมีสาร

เอกสารนี้เป็น... ช่วยนำความร้อนอยู่เพื่อให้ผิวสัมผัสแนบสนิทและถ่ายเทความร้อนได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพ

โดยรวมดีกว่าแบบอะลูมิเนียมทั้งชิ้น, ราคาประหยัด และน้ำหนักเบากว่าแบบทองแดงทั้งชิ้น จึงทำให้เป็นที่นิยม

ในการระบายความจจะอาศัยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยหลักการพาความร้อนและการนำความร้อน ซึ่งจะมีหลักการต่อไปนี้

การนำความร้อน คือการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางที่ไม่เคลื่อนที่ เช่น ความร้อนจากกาแฟในถ้วยไหลผ่านชั้นโลหะทำมือที่จับที่ด้ามช้อนรู้สึกร้อน เป็นต้น การนำความร้อนเป็นปรากฏการณ์ระดับอนุภาคของสสาร เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสั่นและส่งต่อพลังงานกัน การนำความร้อนจึงเกิดขึ้นได้ในสสารทุกสถานะทั้งของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ความสามารถในการนำความร้อนของสสารแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายความสามารถการนำความร้อนเรียกว่า ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity: k) วัสดุที่มีค่า k สูงจะนำความร้อนได้ดี ส่วนวัสดุที่มีค่า k ต่ำจะนำความร้อนได้น้อยนิยมนำมาใช้ทำฉนวนกันความร้อน เป็นต้น การนำความร้อนจะอธิบายได้ด้วย กฎการนำความร้อนของฟูริเยร์ (Fourier law of heat conduction) ที่ว่า “อัตราการถ่ายนำความร้อนแปรผันตรงกับเกรเดียนต์ของอุณหภูมิและพื้นที่” ซึ่งมีสมการดังนี้

$$q = -kA_c \frac{dt}{dx} \quad (2)$$

ดังนั้น หากต้องการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำให้ได้มาก ทำได้โดยเลือกวัสดุตัวกลางที่มีค่าสภาพการนำความร้อนสูงๆ หรือเพิ่มพื้นที่หน้าสัมผัสของการนำความร้อนให้มากขึ้น

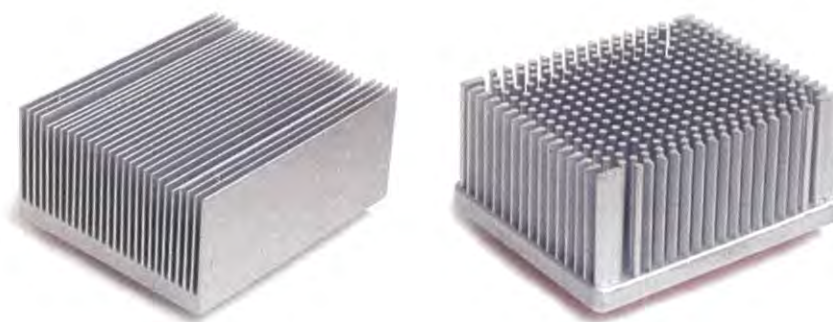
การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยที่ตัวกลางเคลื่อนที่หรือไหลไปด้วยจะเกิดขึ้นเฉพาะกับของเหลวหรือก๊าซเท่านั้นความสามารถในการพาความร้อนขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection heat transfer coefficient: h) ค่าอุณหภูมิแวดล้อม และขนาดพื้นที่ผิวของวัตถุที่มีการพาความร้อน โดยทั่วไปค่า h ขึ้นอยู่กับหลายพารามิเตอร์ อาทิ เร็วและสมบัติของตัวกลาง ซึ่งมักได้จากการทดลองเป็นรายกรณี ค่า h มากหมายถึงการพาความร้อนได้ดี ในทางกลับกันค่า h น้อยหมายถึงพาความร้อนได้ไม่ดี พื้นฐานของการพาความร้อนอธิบายด้วย Newton's cooling law ดังนี้

$$q = hA_s (T - T_\infty) \quad (3)$$

ดังนั้น หากต้องการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาให้ได้มาก ทำได้โดยเพิ่มค่า h อาจด้วยการติดตั้งพัดลมช่วยเป่า หรือเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับวัตถุที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน

Heat Sink มีความสำคัญมากในการระบายความร้อนให้กับพวกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถ้าหากอุปกรณ์เหล่านี้มีความร้อนสูงมากเกินไป อาจจะทำให้มีอาการผิดปกติ หรืออาจจะพังเลยก็ได้ และอีกทั้งยังลดอายุการใช้งานของอุปกรณ์อีกถ้ามี Heat Sink ในการช่วยระบายความร้อน อันตรรกะก็จะไม่เกิดกับพวกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลักษณะของ Heat Sink มีรูปร่างที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.5

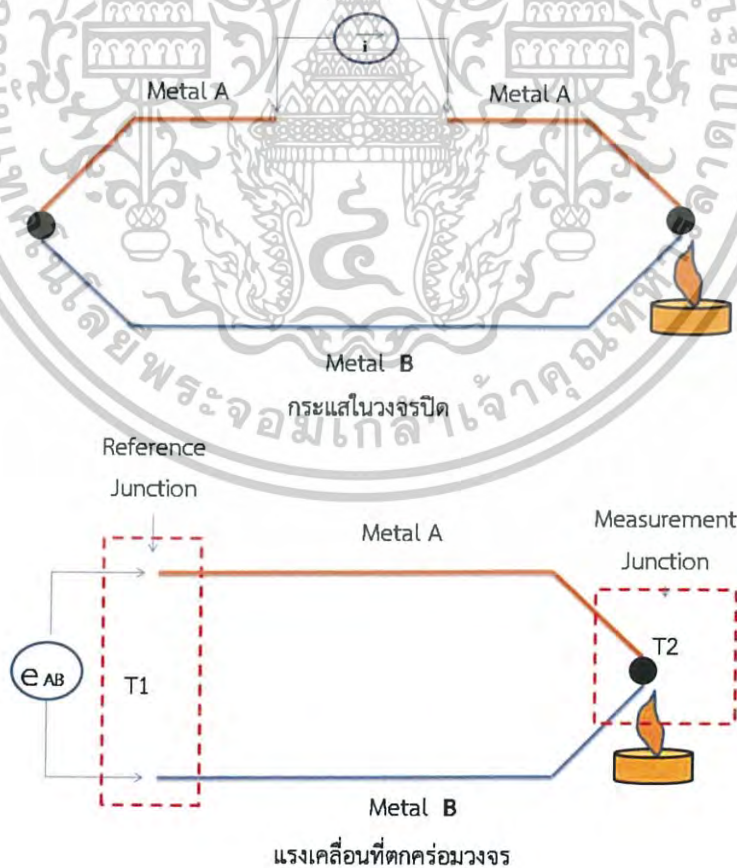
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของ Heat Sink

2.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด K

เทอร์โมคัปเปิลคืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่งเรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เรียกว่าจุดอ้างอิงหากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกัน ก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้างปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomus Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน



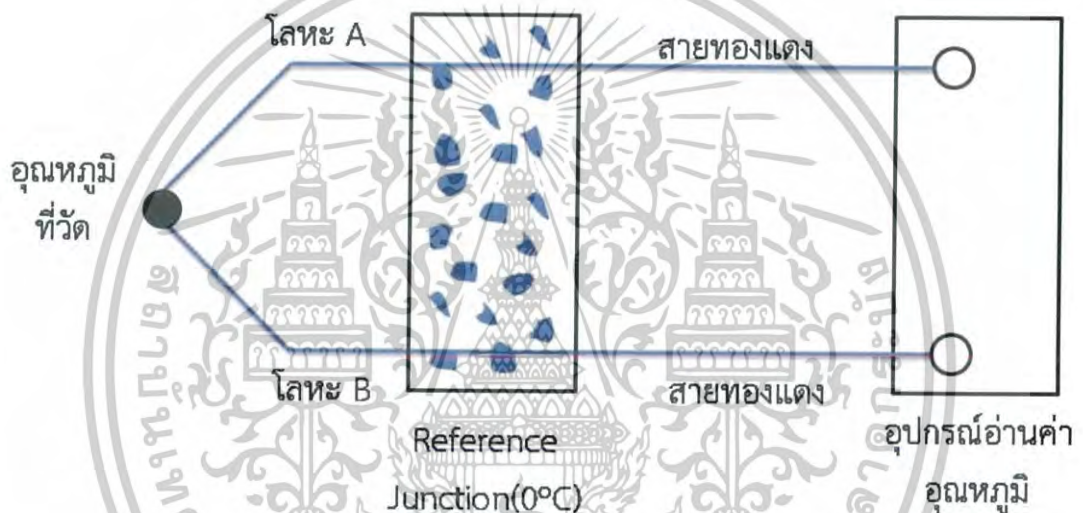
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 วงจรที่ใช้อธิบายผลของซีเบ็ค

2.3.1 หลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล

อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิในการสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นการที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าค่าหนึ่งจะอ้างอิงเป็นอุณหภูมิค่าหนึ่งได้แสดงว่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นนั้นจะต้องอ้างอิงกับอุณหภูมิค่าคงที่ค่าหนึ่งเสมอโดยเรียกอุณหภูมิตั้งที่ใช้อ้างอิงนี้ว่า Reference Junction และได้มีการกำหนด Reference Junction ให้เป็น $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ เพื่อให้การวัดอุณหภูมิเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เป็นมาตรฐานเดียวกันและกำหนดเป็นตารางมาตรฐานแสดงค่าอุณหภูมิเทียบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ แต่โดยทั่วไปเทอร์โมคัปเปิลจะทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง (เช่น $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) นั่นคือไม่ได้เทียบกับ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ แสดงว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ยังไม่ถูกต้องหากนำไปอ่านค่าอุณหภูมิจากตารางมาตรฐานจะผิดพลาดจึงจำเป็นต้องมีการรักษา Reference Junction เพื่อให้การวัดอุณหภูมิเทียบกับ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตลอดเวลา

การรักษา Reference Junction ด้วยน้ำแข็งบริสุทธิ์

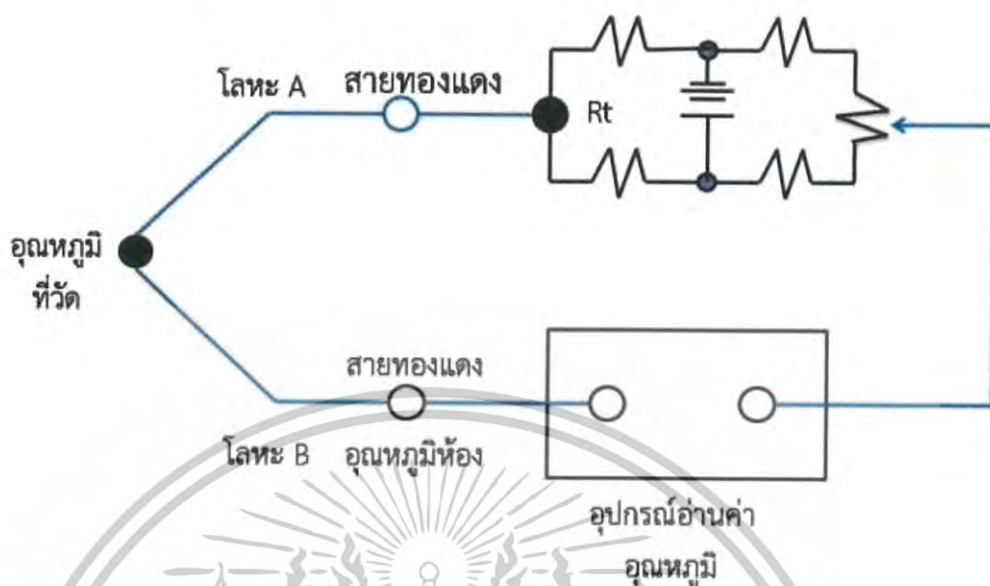


รูปที่ 2.7 การรักษา Reference Junction ด้วยน้ำแข็งบริสุทธิ์

นำจุดต่อจุ่มลงในน้ำแข็งก่อนนำเข้าอุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิเพื่อให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการวัดอุณหภูมิเทียบกับ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ จริงๆ แต่วิธีนี้เหมาะสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการควรถ่ายน้ำออกเป็นระยะๆ และเติมน้ำแข็งไปด้วยไม่สามารถใช้ในงานอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากการวัดอุณหภูมิในอุตสาหกรรมเป็นการวัดที่ต่อเนื่องตลอดเวลา และวิธีนี้ไม่สามารถทำให้มั่นใจได้ว่าอุณหภูมิจุดต่อเป็น $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ จริงๆ ได้ตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรักษา Reference Junction ด้วยวงจรไฟฟ้าแบบ Bridge



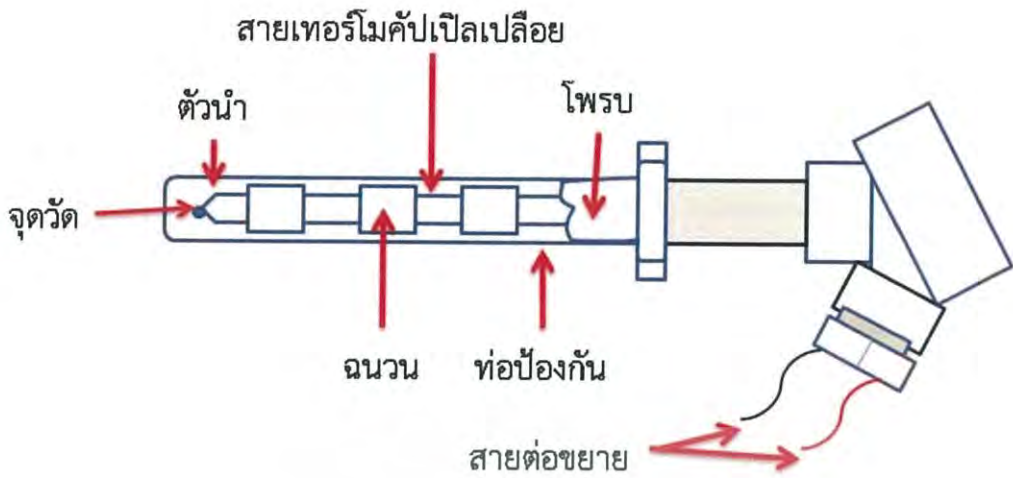
รูปที่ 2.8 การรักษา Reference Junction ด้วยวงจรไฟฟ้าแบบ Bridge

วิธีนี้ใช้ความต้านทานที่เปลี่ยนค่าตามอุณหภูมิ (Temperature Sensitive Resistor) R_t เช่น RTD หรือ Thermistor ต่อไว้ในวงจร Bridge เป็นตัวชดเชยอุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนไปค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิได้รับจะมาจาก 2 ส่วนรวมกัน คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิลที่เกิดจากผลต่างอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่จะวัดกับอุณหภูมิห้อง และแรงเคลื่อนไฟฟ้าชดเชยอุณหภูมิห้องจาก R_t ซึ่งเสมือนกับเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากผลต่างอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิห้องกับ 0°C นั่นคือแรงเคลื่อนไฟฟารวมจะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่จะวัดเทียบกับ 0°C นั่นเอง

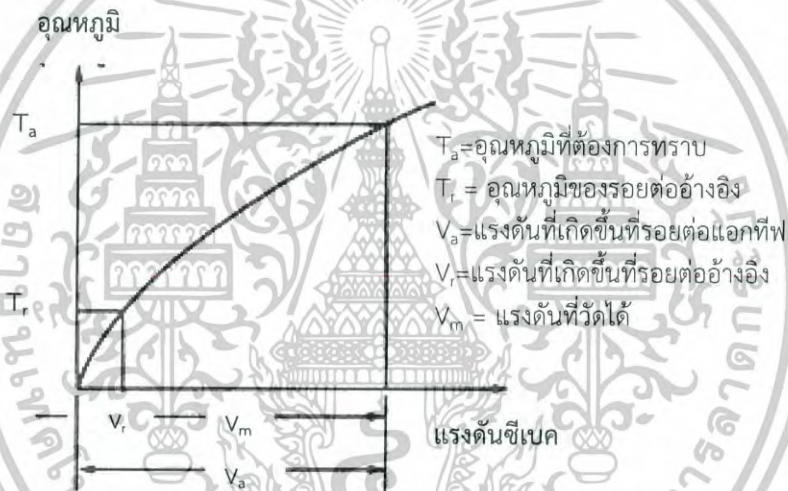
2.3.2 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples)

1. ความไว (Sensitivity) จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้งานวงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง
2. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสาย และวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล
3. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมาก จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและแรงดันซีเบคที่เกิดขึ้นนั้นไม่เป็นเชิงเส้นแต่เป็นแบบพาราโบลา

เทอร์โมคัปเปิลแบบ K มาตรฐานหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้าง คือนิกเกิลเทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิตขั้นหนึ่ง จะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วย อะลูมิเนียม ส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะว่าใน ปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลอบบริสุทธิ์ได้ จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่างๆในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าว เพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษา และสอบเทียบด้วยเหตุนี้ เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสมแต่โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของแบบ K

- 1) เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
- 2) สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้นๆจะวัดได้จาก -1800°C ถึงประมาณ 13,500°C
- 3) สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสภาวะแบบเฉื่อย(inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น
- 4) สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
- 5) ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่นๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

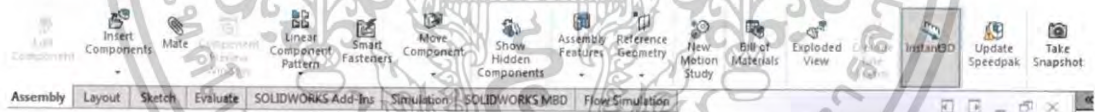
ข้อเสียของแบบ K

- 1) ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิง และออกซิไดซิงโดยตรง
- 2) ไม่เหมาะกับการงานที่มีไอของซัลเฟอร์
- 3) ไม่เหมาะกับการงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ)
- 4) หลังการใช้งานไป 30 ปีทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

2.4 คู่มือการใช้โปรแกรม SolidWorks ขั้นพื้นฐาน

ในการทำโครงงานพิเศษนี้ได้ใช้โปรแกรมSolid Works ในการออกแบบเพื่อหาปริมาตรภายใน รอยนต์ และการ Simulation เพื่อหาความร้อนที่ไหลเข้าไปภายในรอยนต์ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้การการใช้โปรแกรม Solid Works ขั้นพื้นฐาน โดยการทำความเข้าใจการทำงาน และความหมายของไอคอน หรือคำสั่งที่อยู่ในโปรแกรม Solid Works ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 ความหมายของแอสเซมบลีทูลบาร์ (Assembly Toolbar)



รูปที่ 2.11 เมนูคำสั่ง

ตารางที่ 2.1 ความหมายและการใช้งานแอสเซมบลีทูลบาร์

ไอคอน	คำสั่ง	ความหมายและการใช้งาน
	Insert Component	ใช้นำเข้าไฟล์ชิ้นส่วนเข้ามาวางในไฟล์แอสเซมบลี
	New Component	ใช้สร้างไฟล์ชิ้นส่วนใหม่ในไฟล์แอสเซมบลี
	Mate	เป็นชุดคำสั่งที่ใช้ประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน
	Move Component	ใช้เคลื่อนย้ายชิ้นส่วนไปยังตำแหน่งที่ต้องการโดยจะเคลื่อนย้ายได้เพียงชิ้นส่วนเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1(ต่อ) ความหมายและการใช้งานแอสเซมบลีทูลบาร์

	Rotate Component	ใช้เคลื่อนหมุนชิ้นส่วนตามมุมมองที่ต้องการโดยจะหมุนได้เพียงชิ้นส่วนเดียวเท่านั้น
	Smart Fasteners	เป็นคำสั่งที่ใช้ประกอบชิ้นส่วนนิตและสกรูเข้ามาประกอบกับชิ้นส่วนโดยอัตโนมัติ
	Exploded View	ใช้เคลื่อนย้ายหรือหมุนชิ้นส่วนให้เป็นภาพระเบิดตามทิศทางที่ต้องการ
	Explode Line Sketch	ใช้สร้างเส้นเชื่อมต่อชิ้นส่วนที่ระเบิด
	Interference detection	ใช้ตรวจสอบจุดทับซ้อนกันของชิ้นงาน
	Hide/Show Component	ใช้แสดงหรือซ่อนชิ้นส่วน
	Edit Component	ใช้เชื่อมต่อสลับระหว่างโหมดการแก้ไขชิ้นส่วนกับโหมดแอสเซมบลี

2.4.2 คำสั่งการประกอบชิ้นงานเข้าด้วยกัน

เครื่องมือที่ใช้ในการประกอบชิ้นงานเข้าด้วยกัน คือ Mate เมื่อทำการคลิกที่คำสั่ง Mate จะปรากฏหน้าต่างกล่องโต้ตอบ Mate ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งมีความหมายและการใช้งานดังตารางต่อไปนี้



รูปที่ 2.12 ทูลบาร์ Mate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้








จากหน้าต่างกล่องตอบโต้ Mate จะประกอบไปด้วยตัวเลือกหลัก ซึ่งใช้กำหนดความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน มีความหมายดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ความหมายตัวเลือกหลักจากหน้าต่างกล่องตอบโต้ Mate

คำสั่ง	ความหมาย
Mate Selections	เป็นช่องที่แสดงตำแหน่งต่างๆบนชิ้นงานที่เราต้องการจะนำมาประกอบเข้าด้วยกันไม่ว่าจะเป็นพื้นผิวเส้นขอบหรือจุดบนชิ้นส่วนต่างๆจะแสดงในช่องนี้หลังจากที่เราใช้เมาส์คลิกเลือก
Standard Mates	เป็นส่วนที่ให้เลือกชนิดของการ Assembly มีหลายแบบด้วยกัน

Standard Mates มีให้เลือกชนิดของการ Assembly ซึ่งหลายแบบด้วยกันดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ความหมายชนิดของการ Assembly ในคำสั่ง Standard Mates

ไอคอน	การใช้งาน
 Coincident	เป็นการประกอบแบบประกบกันหรือเสมอกัน
 Parallel	เป็นการประกอบกันแบบขนานกัน
 Perpendicular	เป็นการประกอบกันแบบทำมุมกันตามองศาที่กำหนด
 Tangent	เป็นการประกอบกันแบบสัมผัสกัน (Tangent) เช่นส่วนโค้งสัมผัสกับส่วนโค้ง
 Concentric	เป็นการประกอบกันแบบรวมศูนย์
 1.00mm	Distance เป็นช่องสำหรับกรอกกำหนดค่าระยะเยื้องที่ต้องการ
 30.00deg	Angle เป็นช่องสำหรับกรอกค่าองศาที่ต้องการ

2.4.3 คำสั่งการสร้างภาพระเบิดโดยคำสั่ง Explode View

การสร้างภาพระเบิดในโปรแกรม Solid works จะใช้คำสั่ง Explode View บนทูลบาร์มาตรฐานเมื่อคลิกคำสั่งนี้จะปรากฏหน้าต่าง Explode ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งมีความหมายดังตารางต่อไปนี้



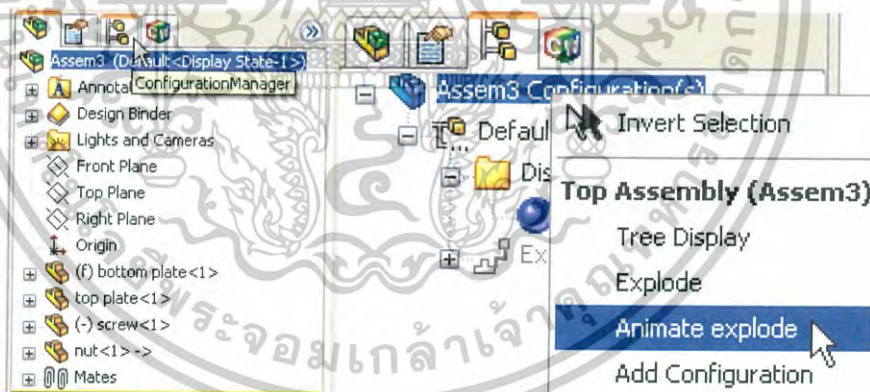
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่เอกสารใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ความหมายในคำสั่ง Explode view

คำสั่ง	ความหมาย
Explode Steps	เป็นช่องที่ใช้แสดงประวัติลำดับของการระเบิดของชิ้นงานที่ได้ทำการระเบิดออกสามารถลบหรือแก้ไขลำดับของการระเบิดได้โดยการคลิกเลือกลำดับการระเบิดที่ต้องการลบหรือแก้ไข
Settings	เป็นช่องที่ใช้สำหรับแสดงชิ้นส่วนที่ต้องการจะให้ระเบิดออกไปโดยการคลิกเลือกชิ้นส่วนบนกราฟิกวินโดว์หรือเลือกที่ชื่อของชิ้นส่วนบนบราวเซอร์บาร์ชื่อของชิ้นงานที่ถูกเลือกจะปรากฏในช่องนี้
Explode Directions	ใช้สำหรับกำหนดทิศทางของการระเบิดเมื่อคลิกเลือกชิ้นงานแล้วจะเกิดแกน X, Y และ Z บนจุดที่เลือกให้คลิกเลือกทิศทางที่ต้องการจะให้ระเบิดออกไปทิศทางที่ถูกเลือกจะปรากฏในช่องนี้
Explode Distance	ใช้สำหรับกำหนดระยะที่ต้องการจะระเบิดออก

2.4.4 คำสั่งการสร้างภาพเคลื่อนไหว (Animation)

เราสามารถสร้างภาพเคลื่อนไหวของการประกอบเข้าและระเบิดออกของชิ้นส่วนต่างๆ โดยการคลิกไอคอน Configuration Manager แล้วคลิกขวาบนไอคอนชื่อไฟล์แอสเซมบลีเลือก Animate explode จากเมนูดังรูปที่ 2.14 จะปรากฏหน้าต่างโต้ตอบ Animation controller ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 ไอคอน Configuration Manager



รูปที่ 2.15 หน้าต่างโต้ตอบ Animation controller

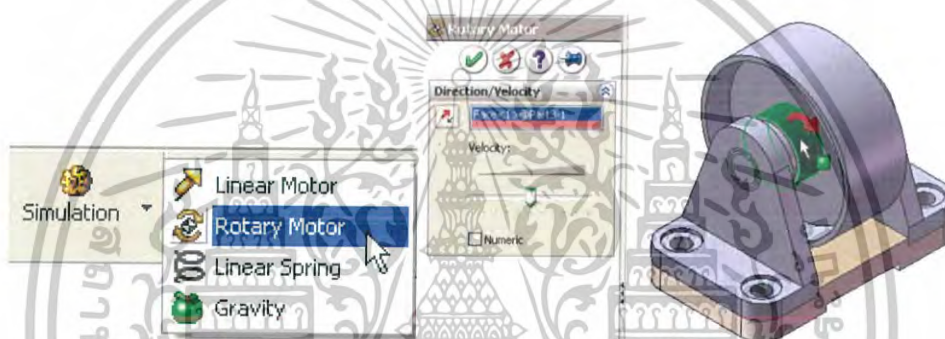
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 คำสั่งการสร้าง Simulation

คำสั่งการสร้าง Simulation เป็นการจำลองเหตุการณ์ เช่นการจำลองการหมุนของล้อ หรือการจำลองในด้านของของไหล เช่นความร้อน หรือของเหลว

ตัวอย่างการสร้าง Simulation โดยการจำลองการหมุนของล้อ

1. การจำลองการหมุนของล้อทำได้โดยคลิกเลือก Rotary motor ที่อยู่ในคำสั่ง Simulation จะปรากฏหน้าต่างของ Rotary motor ขึ้นมาดังรูปที่ 2.16 ให้ลากเมาส์ไปคลิกที่ผิวของโค้งของชั้นที่3 กำหนดความเร็วในการหมุน (Velocity) ที่ต้องการ แล้วคลิกปุ่ม ✓
2. คลิกเลือก Calculate Simulation ที่อยู่ในคำสั่ง Simulation เพื่อให้โปรแกรมคำนวณและเป็นการบันทึกการจำลองการหมุนของล้อซึ่งขึ้นงานที่ 3 จะหมุนไปอย่างต่อเนื่องเมื่อต้องการหยุดให้คลิก Stop Record Playback ที่อยู่ในคำสั่ง Simulation



รูปที่ 2.16 หน้าต่างของ Rotary motor

3. การแสดงการจำลองการหมุนของล้อทำได้โดยคลิกเลือก Replay Simulation ที่อยู่ในคำสั่ง Simulation จะปรากฏหน้าต่างของ Animation Controller ขึ้นมาดังรูปที่ 2.17 ซึ่งชั้นที่ 3 จะหมุนรอบตัวเองไปเรื่อยๆ นักศึกษาสามารถทดลองใช้ทุลต่างๆ ของ Animation Controller เพื่อดูการเคลื่อนที่ของล้อได้ตามความต้องการ



รูปที่ 2.17 หน้าต่างของ Animation Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

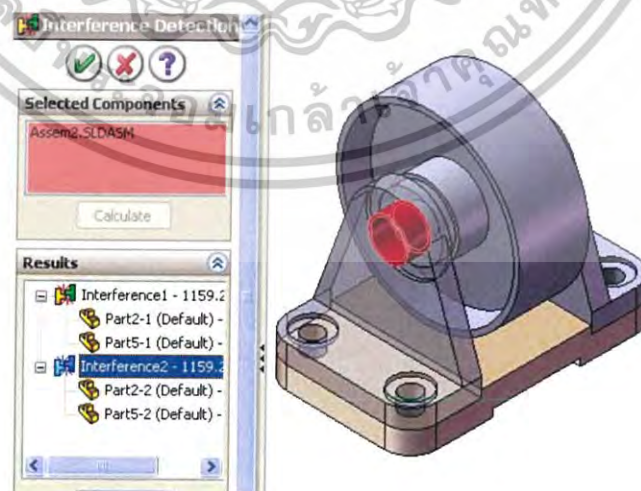
2.4.6 การตรวจสอบการซ้อนทับกันของชิ้นงาน

การตรวจสอบการซ้อนทับกันของชิ้นงานมีขั้นตอนการตรวจสอบดังต่อไปนี้

1. การตรวจสอบการซ้อนทับกันของชิ้นงานที่นำมาประกอบกันทำได้โดยใช้คำสั่ง Interference Detection เมื่อคลิกเลือกจะปรากฏหน้าต่างของ Interference Detection ขึ้นมาดังรูปที่ 2.18
2. ในช่อง Selected Components ให้คลิกเลือกชิ้นส่วนที่ต้องการจะตรวจสอบการซ้อนทับกันหรือเลือกชิ้นส่วนทั้งหมดเมื่อเลือกเสร็จให้กดปุ่ม Calculate เพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาการซ้อนทับกันของชิ้นงาน
3. เมื่อโปรแกรมตรวจพบการทับซ้อนกันของชิ้นส่วนจะแสดงผลในช่องของ Results ดังรูปที่ 2.19 (เนื้อของชิ้นงานที่ทับซ้อนกันจะถูกแสดงเป็นสีแดง) ซึ่งสามารถตรวจสอบและทำการแก้ไขให้ถูกต้องได้



รูปที่ 2.18 หน้าต่างของ Interference Detection



รูปที่ 2.19 แสดงผลในช่องของ Results

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 การสร้างภาพเขียนแบบ 2 มิติ (Drawing)

หลังจากที่สร้างชิ้นส่วน 3 มิติไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนเดี่ยว (Part) หรือชิ้นส่วนประกอบ (Assembly) เสร็จเรียบร้อยแล้วนั้นขั้นตอนต่อไปคือการนำงานเหล่านั้นมาสร้างเป็นภาพเขียนแบบ 2 มิติ (Drawing) และกำหนดรายละเอียดของงานไม่ว่าจะเป็นขนาดพิกัดความเผื่อคุณภาพผิววัสดุที่ใช้ในการผลิตและสัญลักษณ์ในการเขียนแบบต่างๆที่จำเป็นในการการสร้างภาพเขียนแบบ 2 มิติ จำเป็นจะต้องทราบความหมายของ Drawing Tools และหน้าที่ ซึ่งแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 ความหมายของ Drawing Tools

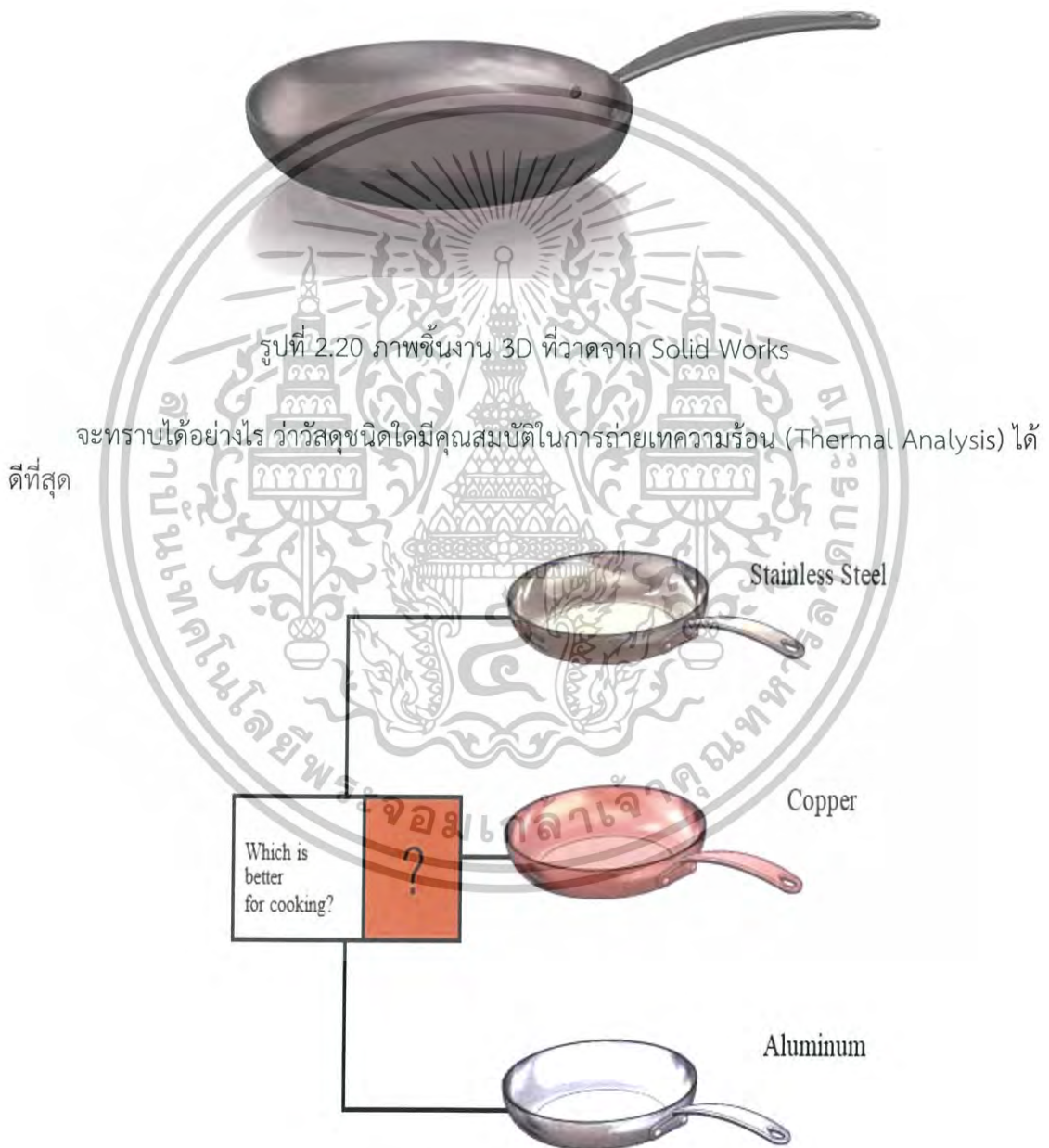
ไอคอน	คำสั่ง	หน้าที่
 Model View	Model View	ใช้วางภาพเขียนแบบ 2 มิติภาพแรกลงในไฟล์ Drawing สามารถเลือกมุมมองของการเขียนแบบได้ตามความต้องการ
 Projected View	Projected View	ใช้สร้างภาพฉายด้านอื่นๆหรือสร้างภาพไอโซเมตริกจากภาพที่ได้จาก Model View
 Auxiliary View	Auxiliary View	ใช้สร้างภาพฉายช่วยโดยภาพที่ฉายจะตั้งฉากกับเส้นขอบที่เราเลือก
 Section View	Section View	ใช้สร้างภาพตัดเพื่อให้เห็นส่วนประกอบภายในโดยใช้เส้นตัดตรง
 Aligned Section ..	Section View	ใช้สร้างภาพตัดเพื่อให้เห็นส่วนประกอบภายในโดยใช้สองเส้นตัดทำมุมกัน
 Detail View	Detail View	ใช้สร้างภาพขยายรายละเอียดของภาพอื่นๆในส่วนที่ต้องการให้เห็นรายละเอียดเพิ่มเติม
 Break	Broken View	ใช้สร้างภาพ Broken (ภาพที่ตัดส่วนตรงกลางออกเหลือแต่ส่วนปลายของทั้งสองด้านทำให้ประหยัดเนื้อที่ในกระดาษเขียนแบบ)
 Standard 3 View	Standard 3 View	ใช้สร้างภาพฉายทั้ง 3 ด้านโดยอัตโนมัติ

2.4.8 การเลือกใช้วัสดุ (Material) ในการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน^[19]

ปฏิเสธไม่ได้เลยว่าวิวัฒนาการในการออกแบบในปัจจุบันมีความทันสมัยมาก จะเห็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ถูกผลิตออกมามีรูปลักษณะที่น่าหยิบใช้และมีความสวยงาม นอกจากรูปลักษณะที่แปลกใหม่แล้ว วัสดุที่ถูกนำมาผลิตนั้นก็หลากหลายด้วยเช่นกัน ในการเลือกใช้วัสดุเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้นจำเป็นต้องศึกษา หรือพิจารณาจากคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ ให้ตรงกับงานที่จะออกแบบ หรือการนำวัสดุต่างๆ ที่มีความสามารถในแต่ละด้านมาพัฒนาให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการใช้ งานมากที่สุด ซึ่งการที่จะทราบถึงความเหมาะสมกับการใช้งานได้นั้น อาจจะต้องมีการวิเคราะห์จากโปรแกรมหรือการทดสอบชิ้นงานจริงจากศูนย์ทดสอบ ซึ่งในปัจจุบันถือว่าเป็นเรื่องเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

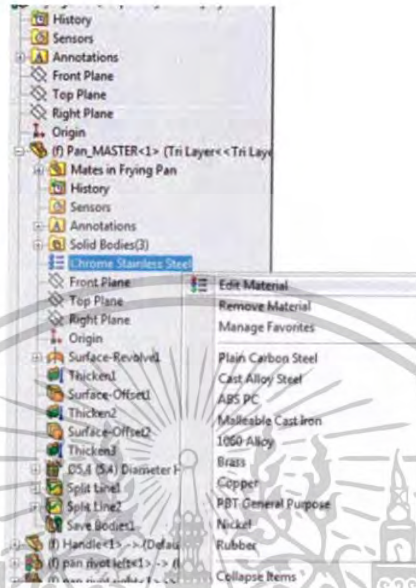
ง่ายที่จะเข้าถึง โดยเฉพาะกับการทดสอบหรือวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม ซึ่งโปรแกรม Solid Works Simulation เป็นทางเลือกที่นิยมใช้กันมากที่สุด

การเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้นมีความสำคัญมาก ไม่แปลกที่จะเห็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นแบบเดียวกัน แต่ใช้วัสดุต่างชนิดกันในการผลิต เช่น กระทะ ไม่ว่าจะเป็น กระทะอะลูมิเนียม กระทะสแตนเลส และกระทะทองเหลือง หลายคนอาจสงสัยว่า “แล้วจะเลือกใช้กระทะแบบใดให้ตรงกับลักษณะการใช้งาน” ซึ่งโปรแกรม Solid Works Simulation สามารถตอบโจทย์เหล่านี้ได้อย่างง่ายดาย



รูปที่ 2.21 ภาพชิ้นงาน 3D ที่วาดจาก Solid Works โดยใช้วัสดุที่ต่างชนิดกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

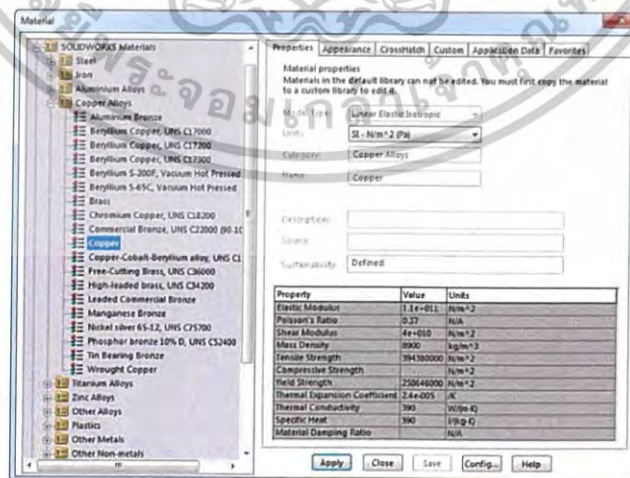
ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ สิ่งสำคัญที่ขาดไม่ได้เลย ก็คือการกำหนดวัสดุ (Material) ของชิ้นงานนั้น ให้ตรงเสียก่อน ส่วนการกำหนดวัสดุ (Material) ใน Solid Works นั้นง่ายมาก เพียงแค่เลือกชนิดของวัสดุ ซึ่งในแต่ละวัสดุใน Solid Works จะมีค่า Property ต่างๆ ที่จะนำไปใช้ในงานวิเคราะห์อย่างครบถ้วนแล้ว



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย

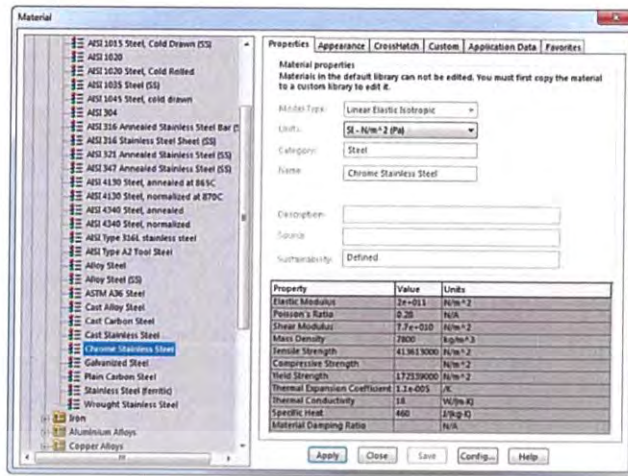
ตัวอย่างวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. Copper
2. Stainless Steel
3. Aluminum

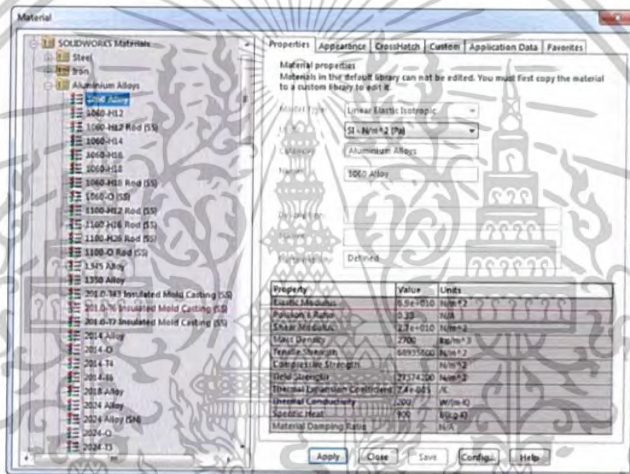


รูปที่ 2.23 ตัวอย่างของวัสดุชนิด Copper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

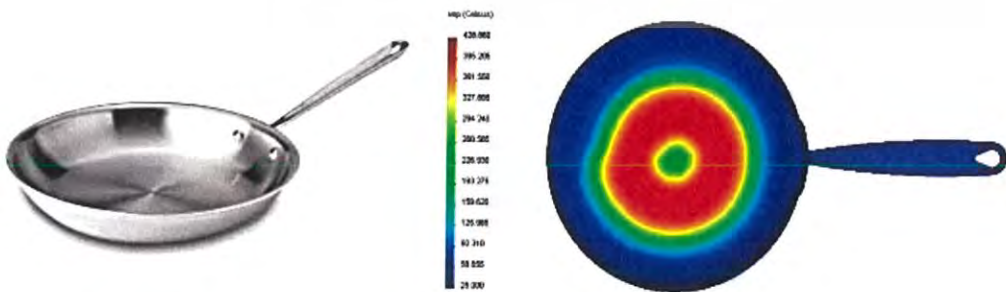


รูปที่ 2.24 ตัวอย่างของวัสดุชนิด Stainless Steel



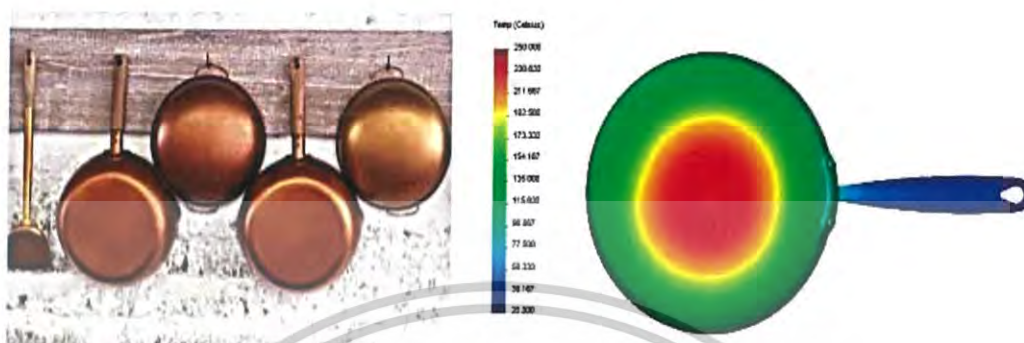
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างของวัสดุชนิด Aluminum

หากลองนำโปรแกรม Solid Works Simulationมาช่วยในการวิเคราะห์โดยเริ่มจาก “กระทะสแตนเลส”



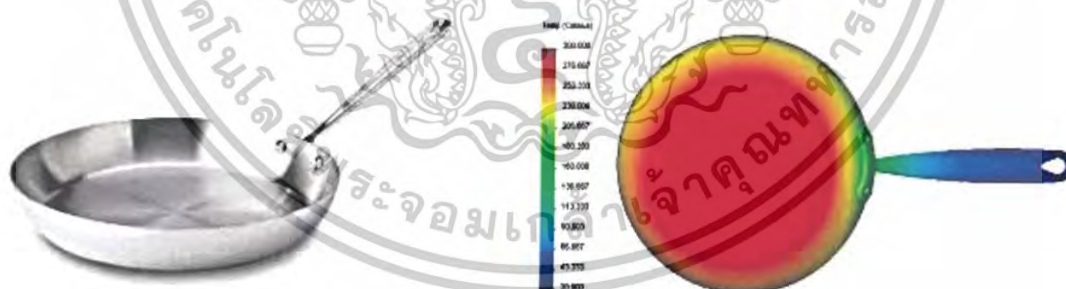
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 2.26 ภาพชิ้นงาน 3D ที่ Simulation แล้วโดยใช้วัสดุชนิดสแตนเลสซึ่งมีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า การกระจายตัวของความร้อนจะอยู่บริเวณตรงกลาง ส่วนบริเวณรอบๆ ของกระทะนั้นมีอุณหภูมิที่เย็น ส่งผลให้การปรุงอาหารสุกไม่เท่ากัน ข้อดีของภาชนะสเตนเลสคือ มีความแข็งแรงทนทาน ด้ามจับไม่ร้อน แต่ก็มีข้อเสียคือกระทะร้อนช้า และไม่เก็บกักความร้อน ต่อด้วยการนำ “ภาชนะทองแดง หรือ ทองเหลือง” มาทำการวิเคราะห์



รูปที่ 2.27 ภาพชิ้นงาน 3D ที่ Simulation แล้วโดยใช้วัสดุชนิดทองแดงหรือ ทองเหลือง

ผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ความร้อนมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวภาชนะ ส่งผลให้การปรุงอาหารนั้นสุกเท่ากัน และความร้อนของภาชนะส่งผลให้ด้ามจับของภาชนะร้อนไปด้วย ข้อดีของภาชนะทองแดง หรือ ทองเหลืองคือเปลี่ยนอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว จึงสามารถควบคุมความสุกของอาหารได้อย่างแม่นยำ แต่ข้อเสียคือ ทองแดง หรือ ทองเหลืองเป็นโลหะที่ละลายง่ายเมื่อถูกนำมาเป็นภาชนะสำหรับการปรุงอาหาร จึงมีความเป็นไปได้สูงที่ทองแดงจะปะปนมากับอาหารและเมื่อนำ “ภาชนะอะลูมิเนียม” มาทำการวิเคราะห์

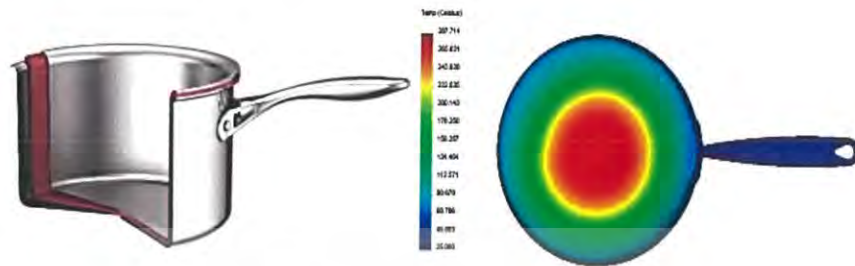


รูปที่ 2.28 ภาพชิ้นงาน 3D ที่ Simulation แล้วโดยใช้วัสดุชนิดอะลูมิเนียม

จะเห็นว่า ความร้อนมีการกระจายตัวอย่างรวดเร็วมากกว่าผิวทั้งหมดของภาชนะ ทำให้ด้ามจับร้อน สำหรับการปรุงอาหารนั้นส่งผลให้อาหารสุกอย่างสม่ำเสมอ ข้อดีของภาชนะอะลูมิเนียมคือ ร้อนเร็ว แต่ข้อเสียคือไม่แข็งแรงเท่ากับวัสดุชนิดอื่นเป็นเหตุให้เกิดรอยขีดข่วนหรือบิดเบี้ยวได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการใช้โปรแกรม Solid Works Simulation เป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่าวัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานที่ต่างกัน เป็นไปได้หรือไม่ หากนำวัสดุทั้ง 3 ชั้นนั้นมารวมกันแล้วผลิตเป็นกระทะ จะมีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อน (Thermal Analysis) อย่างไร



รูปที่ 2.29 ภาพ 3D ที่ Simulation แล้วโดยใช้วัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมทองแดง และสแตนเลส

เมื่อนำทองแดง อะลูมิเนียม และสแตนเลสมาวิเคราะห์รวมกัน จะเห็นได้ว่าความร้อนมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ไม่พบปัญหาในเรื่องของความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณด้ามจับ ภาชนะมีความแข็งแรง คงทน ซึ่งมีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด

บทบาทของการออกแบบผลิตภัณฑ์ การเลือกใช้วัสดุมีความสำคัญมาก วัสดุต่างๆ มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการถ่ายเทความร้อน ความแข็งแรง ความต้านทานทางไฟฟ้า ความยืดหยุ่นฯ ซึ่งโปรแกรม Solid Works มีวัสดุ (Material) ที่หลากหลายและเป็นมาตรฐานตอบสนองทุกการออกแบบ อีกทั้งยังมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างมาก ช่วยลดข้อผิดพลาดของการออกแบบ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ และยังสามารถต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้นำมาเป็นแนวทางในการทำโครงงานพิเศษมี 3 เรื่อง ซึ่งได้แก่

1. การออกแบบและตรวจสอบการทดลองของตู้เย็นระบบเทอร์โมอิเล็กทริกเล็กพลังงานแสงอาทิตย์ (Design and Experimental Investigation of Portable Solar Thermoelectric Refrigerator)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของการทำวิจัยครั้งนี้เพื่อต้องการออกแบบและสร้างตู้เย็นระบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่ราคาไม่แพงสำหรับคน Beduin ที่อาศัยอยู่พื้นที่ห่างไกลในประเทศโอมาน และระบบไฟฟ้าเข้าไม่ถึงตู้เย็นเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกที่สามารถเก็บอาหารเพื่อไม่ให้เน่าเปื่อยได้ง่าย การออกแบบของตู้เย็นระบบโซลาร์เทอร์โมอิเล็กทริกตั้งอยู่บนฐานความรู้ในหลักการของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (ปรากฏการณ์เพียลเทียร์) เพื่อสร้างด้านร้อนและด้านเย็น ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสามารถที่จะใช้เป็นแหล่งความเย็นตามวัตถุประสงค์หลักได้ ส่วนอีกด้านหนึ่งความร้อนจากด้านร้อนของโมดูลถูกออกแบบให้อยู่กับระบบระบายความร้อนโดยฮีตซิงค์ และพัดลม ผลการที่ได้ชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิของ

ตู้เย็นโดยรวมลดลงจาก 27 องศาเซลเซียส เป็น 5 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 44 นาที และค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ (COP_R) เท่ากับ 0.16

เอกสาคณะวิศวกรรมศาสตร์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผู้จัดทำเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้าไม่วางารณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะสิ่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตรวจสอบประสิทธิภาพทางการทดลองของท่อน้ำเลี้ยงที่ระบายความร้อนตู้เย็นระบบเทอร์โมอิเล็กทริก
(Experimental performance investigation of minichannel water cooled thermoelectric refrigerator)

บทคัดย่อ

ระบบการทำความเย็นประกอบไปด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกสองโมดูลที่ทำงานกับท่อน้ำเลี้ยงระบายความร้อนทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก และเครื่องกระจายความร้อนด้านเย็น การทดลองดำเนินการภายใต้การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันและอัตราการไหลของอากาศที่ระบายความร้อนในท่อน้ำเลี้ยงที่แตกต่างกันผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในของน้ำที่ระบายอยู่ที่ประมาณ 2 องศาเซลเซียสที่อัตราการไหลของกระแส 0.8 ลิตรต่อนาทีและเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงน้ำจะมีอุณหภูมิประมาณ -0.1 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของกระแส 1.5 ลิตรต่อนาที ค่า COP ของตู้เย็นระบบเทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ที่ 0.23 ที่อัตราการไหลของกระแส 1.5 ลิตรต่อนาทีและเป็น 0.19 ที่อัตราการไหลของกระแส 0.8 ลิตรต่อนาที ที่เวลา 25 นาที และเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงขึ้นเป็น 8 โวลต์ค่า COP จะอยู่ที่ 0.41 ที่เวลา 25 นาที และที่อัตราการไหลของกระแส 1.5 ลิตรต่อนาที

งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของท่อน้ำเลี้ยงระบายความร้อนมีคุณสมบัติได้ดีเมื่อเทียบกับระบบระบายความร้อนแบบน้ำแบบอื่นๆที่ใช้ในการระบายความร้อนทางด้านร้อนของโมดูล

3. การพิจารณาเทคโนโลยีการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอาคารประหยัดพลังงาน
(Review of solar thermoelectric cooling technologies for use zero energy buildings)

บทคัดย่อ

วิกฤติพลังงานและสภาวะโลกร้อนเริ่มมีความตึงเครียดเพิ่มมากขึ้นในสังคม จึงมีการออกแบบอาคารที่ต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานของอาคารไปจนถึงการปลดปล่อยคาร์บอนสู่สิ่งแวดล้อม เป็นเหตุให้มีการเร่งลดการใช้พลังงานในอาคาร หรือใช้พลังงานให้น้อยที่สุดที่เป็นไปได้สำหรับอาคารนั้นๆ ผ่านการตรวจวัดประสิทธิภาพของพลังงานและการหันไปใช้พลังงานทดแทน อาคารประหยัดพลังงานที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานทดแทนอื่นๆเท่านั้น ที่ถูกพิจารณาให้เป็นทางออกสำหรับปัญหาและได้รับความสนใจมากขึ้นในไม่กี่ปีที่ผ่านมา

เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะเป็นแหล่งจ่ายโดยตรง ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และเติมเต็มความต้องการพลังงานได้ งานวิจัยนี้มีข้อเสนอที่จะให้เทคโนโลยีการทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกพลังงานแสงอาทิตย์ มีการใช้งานในอาคารประหยัดพลังงาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบนี้สามารถที่จะลดความต้องการพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน และลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลในตัวอาคารได้

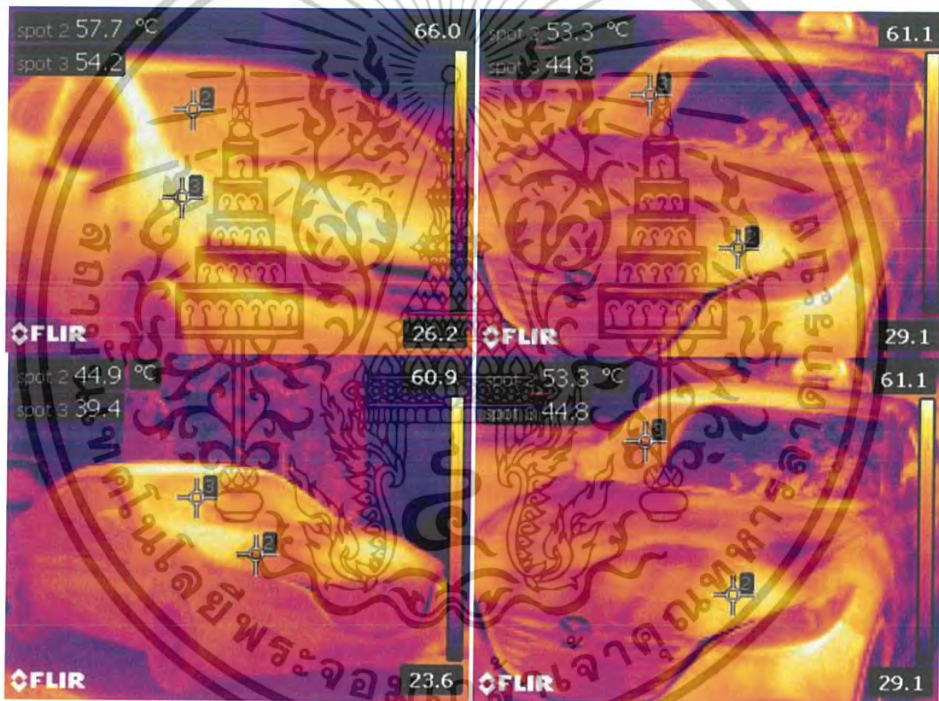
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานในการทดลองระบบการทำความเย็นโดยใช้เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิของรถยนต์ขณะจอดกลางแจ้ง
- ขั้นตอนที่ 2 การหาปริมาตรรถยนต์
- ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณและการออกแบบโมเดลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 4 การต่อวงจรของชุดการทดลอง

3.1 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิของรถยนต์ขณะจอดกลางแจ้ง



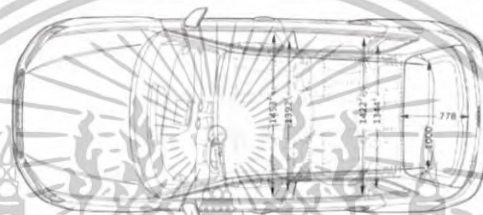
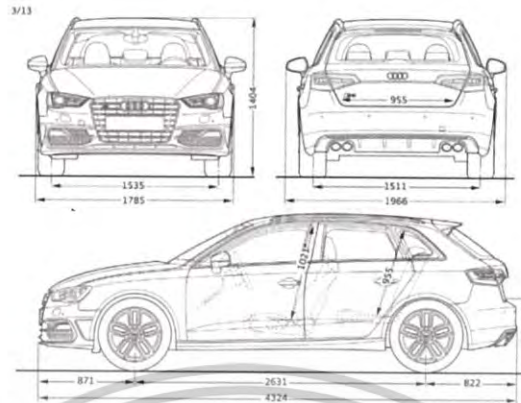
รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายรถยนต์จากกล้องวัดอุณหภูมิขณะจอดกลางแจ้ง

ทำการถ่ายภาพรถยนต์ 50 คัน เพื่อนำมาหาอุณหภูมิเฉลี่ย ซึ่งจากการคำนวณทำให้ทราบอุณหภูมิเฉลี่ยของรถยนต์ขณะจอดกลางแจ้งอยู่ที่ประมาณ 51°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

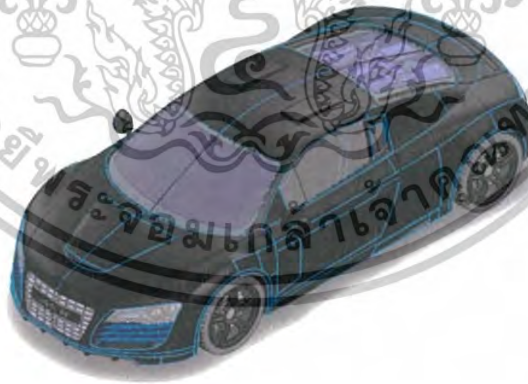
3.2 การหาปริมาตรรถยนต์

ในขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณหาปริมาตรโดยประมาณภายนอกของรถยนต์



รูปที่ 3.2 โครงสร้างรถยนต์

การออกหาปริมาตรภายในรถยนต์ใช้โดยใช้โปรแกรม Solid work



รูปที่ 3.3 การออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid work เพื่อหาปริมาตรภายในรถยนต์

การออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid work ทำให้ทราบปริมาตรของรถยนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 2.697 m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณและการออกแบบโมเดลการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณหาค่ากำลังการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก การออกแบบโมเดล การทดลอง และการเลือกจุดที่จะเก็บอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ซึ่งในการทำโครงการพิเศษนี้ไม่สามารถที่จะสร้างแบบจำลองให้มีขนาดเท่ากับปริมาตรของรถยนต์ได้ เนื่องจากมีปริมาตรที่มาก จึงได้ศึกษาที่ปริมาตร 1.485 cm^3

วิธีการคำนวณ

คำนวณหาพลังงานความร้อนแฝงในอากาศ

$$\text{จากสมการ} \quad Q_{cooling} = mc\Delta T$$

ตัวแปรที่ทราบค่า

1. ปริมาตรกล่องจำลอง (V) 1.485 cm^3

2. ความหนาแน่นของอากาศ (ρ) 1.225 kg/m^3

3. ความจุความร้อนของอากาศ (C) 1.02 kJ/kg.K

4. ผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) 25 K (จากการกำหนดอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นมีค่า $50 \text{ }^\circ\text{C}$, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ตามลำดับ)

5. กำหนดให้การระบายความร้อนในเวลา 25 นาที

คำนวณหามวล

$$\text{จากสมการ} \quad m = \rho V$$

$$m = (1.225 \text{ kg/m}^3)(0.001485 \text{ cm}^3)$$

$$m = 0.00182 \text{ kg}$$

คำนวณหาความร้อนแฝงในอากาศ

$$\text{จากสมการ} \quad Q_{cooling} = mc\Delta T$$

$$Q_{cooling} = (0.00182 \text{ kg})(1.02 \text{ kJ/kg.K})(25 \text{ K})$$

$$Q_{cooling} = 0.046 \text{ kJ}$$

คำนวณหาค่ากำลังการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

$$\text{จากสมการ} \quad P_{cooling} = \frac{Q_{cooling}}{t}$$

$$P_{cooling} = \frac{0.046 \text{ kJ}}{25}$$

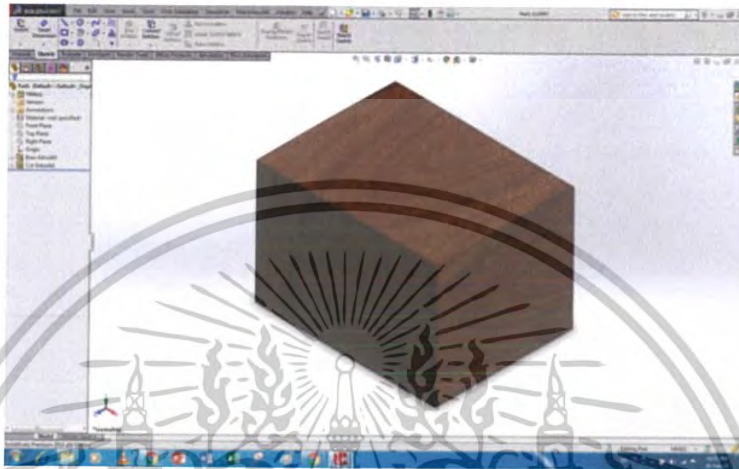
$$P_{cooling} = 0.038 \text{ W}$$

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่จะทำให้ปริมาตรที่มีขนาด 0.01348 m^3 ลดอุณหภูมิลงจาก $50 \text{ }^\circ\text{C}$ เหลือ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ภายในเวลา 20 นาที มีค่าประมาณ 0.35723 W เท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโมเดลการทดลอง

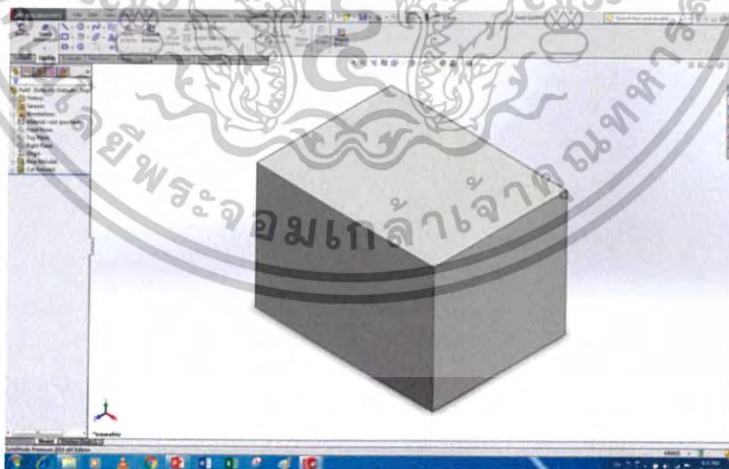
ในการออกแบบจะกำหนดให้กล่องมีปริมาตรเท่ากับ 0.013483m^3 มีขั้นตอนในการออกแบบดังต่อไปนี้

1. กล่องด้านนอกของชุดทดลองทำจากไม้อัด มีขนาดยาว 13.5 cm มีความกว้าง 11.5 cm มีความสูง 10 cm และไม้อัดมีความหนา 0.8 cm



รูปที่ 3.4 กล่องไม้

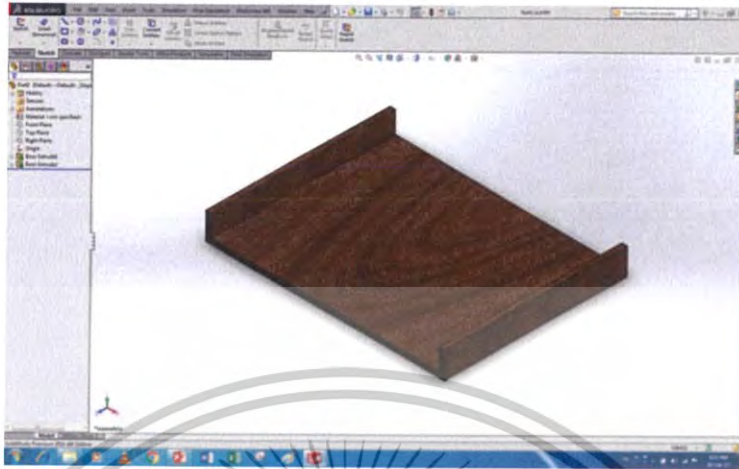
2. การออกแบบกล่องโฟมด้านใน กำหนดให้มีความกว้าง 11.12 cm ความยาว 13 cm ความสูง 10.2 cm และกำหนดให้โฟมหนา 2.3 cm



รูปที่ 3.5 กล่องโฟม

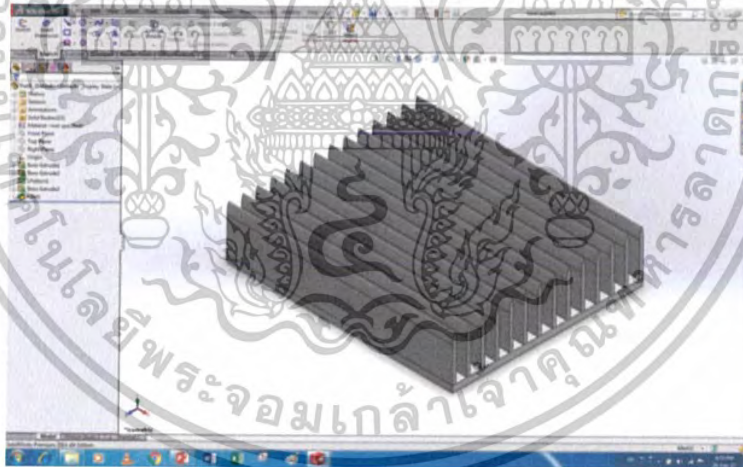
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การออกแบบกล่องใส่อีทชิงค์ ทำมาจากไม้อัด กำหนดให้ มีความกว้าง 11.5 cm ความยาว 13.5 cm ความสูง 4 cm และไม้อัดมีความหนา 0.8 cm



รูปที่ 3.6 กล่องใส่อีทชิงค์

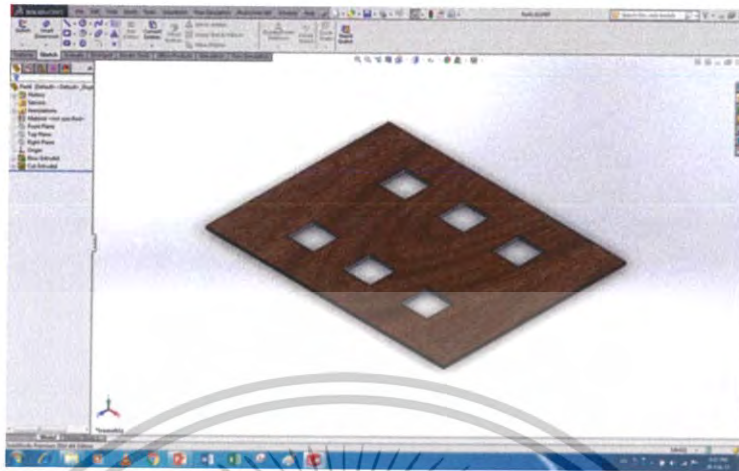
4. การออกแบบอีทชิงค์ ทำมาจากอะลูมิเนียม กำหนดให้ มีความกว้าง 11.3 cm ความยาว 13.5 cm ความสูง 4 cm และมีความสูง 3.1 cm



รูปที่ 3.7 อีทชิงค์

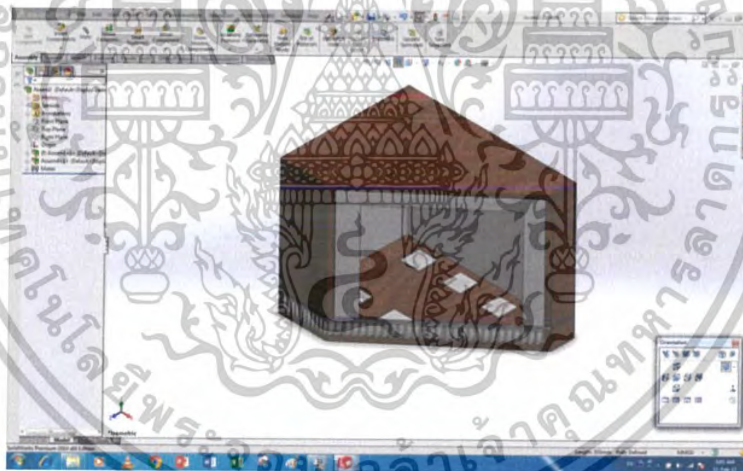
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การออกแบบแผ่นประกบฮิซิงค์ ทำมาจากไม้อัด กำหนดให้ มีความกว้าง 11.5 cm ความยาว 13.5 cm และไม้อัดมีความหนา 0.8 cm



รูปที่ 3.8 แผ่นประกบฮิซิงค์

6. การประกอบรวมกันของชุดการทดลอง



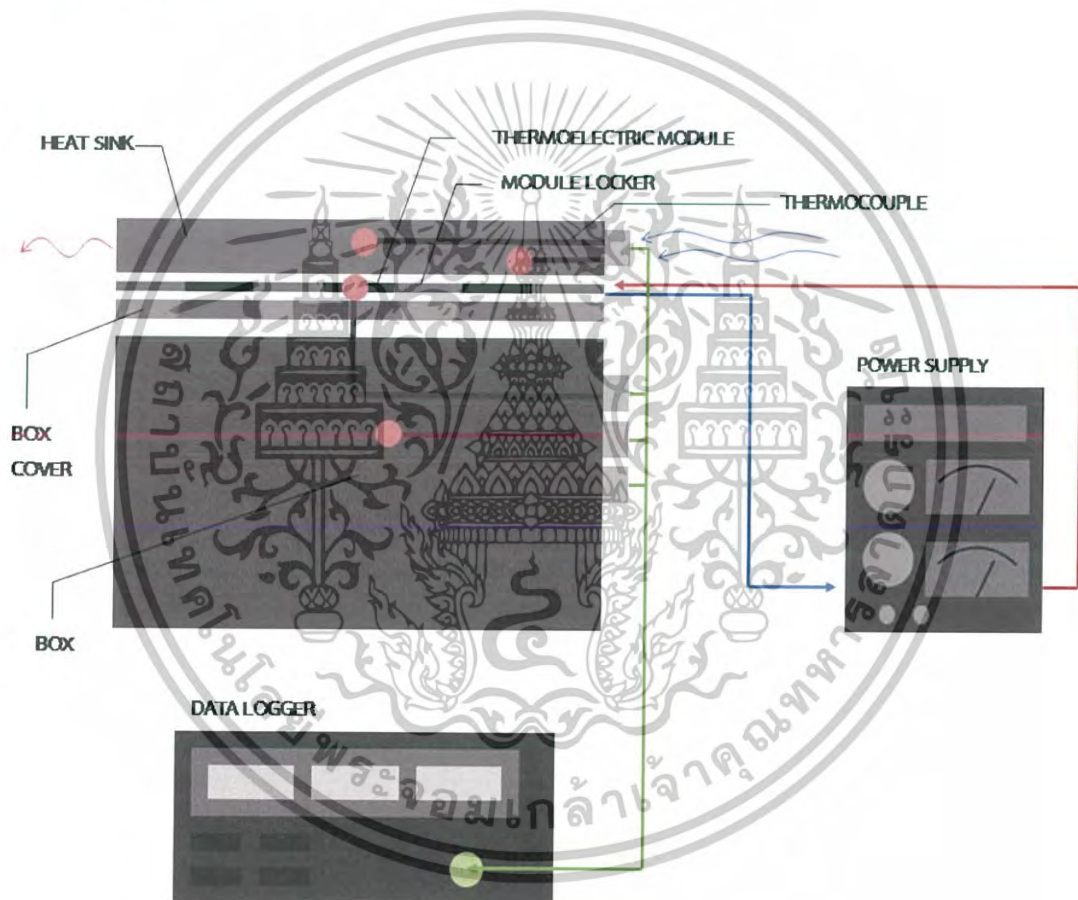
รูปที่ 3.9 ภาพรวมชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการต่อวงจรของชุดการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEHC1-01704
2. เครื่องจ่ายไฟกระแสตรง (DC supplied)
3. ตัวต้านทาน
4. เทอร์โมคอปเปิล(thermocouple)
5. Heat sink
6. กล่อง
7. Data logger
8. คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.10 การต่อวงจรของชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการทดสอบการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยจะทำการทดสอบกลางแจ้งเพื่อให้ อุณหภูมิภายในกล่องทดสอบมีอุณหภูมิประมาณ 30-40 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาความสามารถในการถ่ายโอนความร้อนออกจากกล่องโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก และความสามารถในการทำให้ อุณหภูมิภายในกล่องทดสอบมีอุณหภูมิลดลง ภายระยะเวลาในเวลา 2 ชั่วโมง ผลการทดลองมี รายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การหาความร้อนภายในรถยนต์ทางทฤษฎี

ได้ทำการออกแบบรถยนต์ซึ่งมีขนาดและปริมาตรเท่ากับรถยนต์จริงออกมา เพื่อใช้ทำการทำการ ทดลองทางทฤษฎี

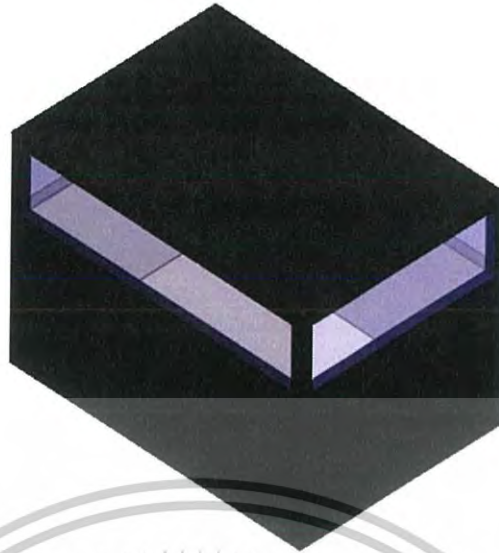


รูปที่ 4.1 โมเดลรถยนต์ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Solid works 2016

การออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid work ทำให้ทราบปริมาตรของรถยนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 2.697 m^3

แต่เนื่องจากไม่สามารถนำโมเดลรถยนต์ที่ออกแบบไป Simulation เพื่อคำนวณหาอุณหภูมิของอากาศภายในรถยนต์ได้ จึงได้เปลี่ยนมาทำการออกแบบกล่องซึ่งมีขนาดและปริมาตรเทียบเท่ากับรถยนต์ขึ้นมาแทน

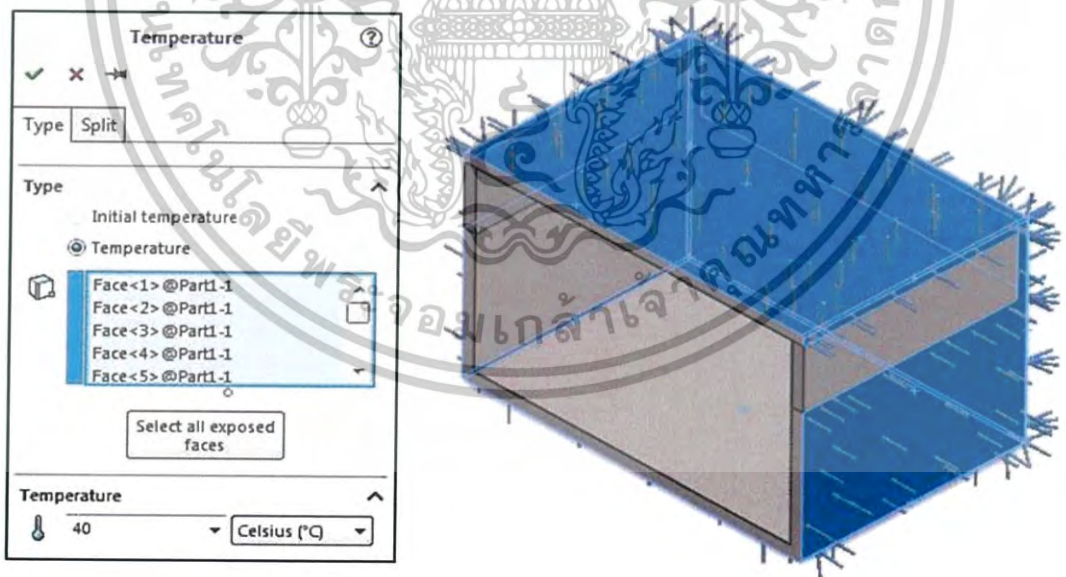
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 โมเดลกล่องที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Solid works 2016

เพื่อให้สามารถเห็นภาพความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปภายในระบบ จึงได้ใช้โปรแกรม Solid works ฟังก์ชัน Thermal เข้ามาช่วยออกแบบและประมวลผลในการทำงาน โดยได้มีการกำหนดค่าต่างๆ เพื่อผลลัพธ์ที่ต้องการจะศึกษา ซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการกำหนดค่าดังต่อไปนี้

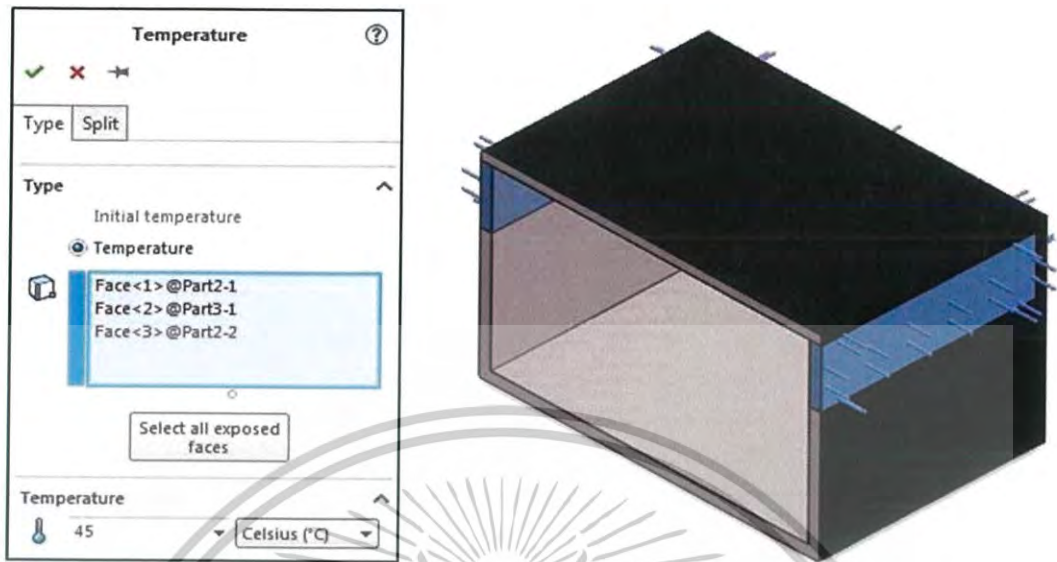
1. กำหนดค่า Temperature บริเวณส่วนที่แทนตัวรถยนต์ให้อยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 การกำหนดค่า Temperature บริเวณตัวรถยนต์

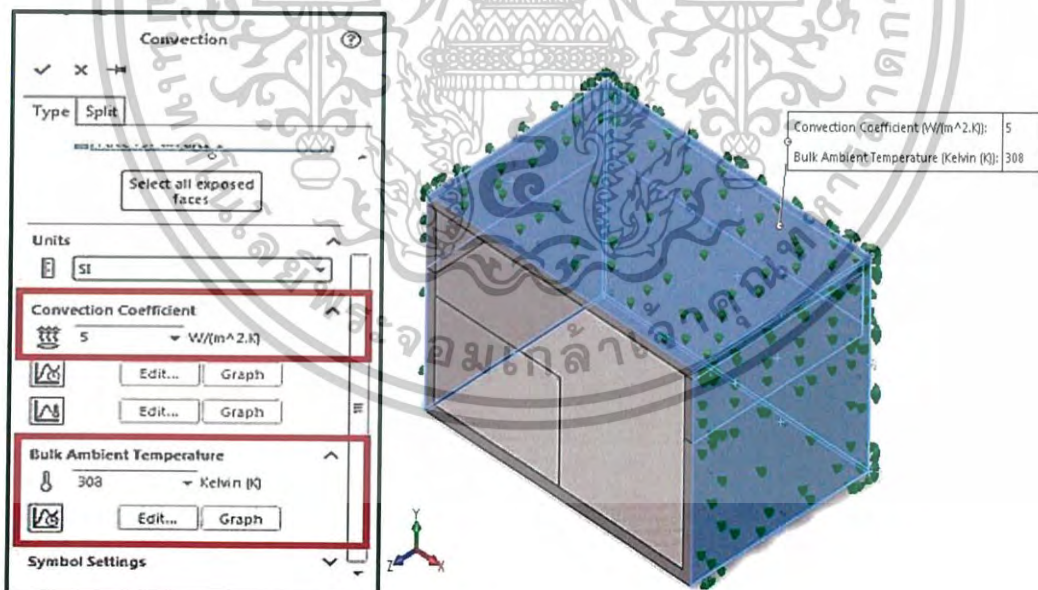
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำหนดค่า Temperature บริเวณส่วนที่แทนกระจกรถยนต์ให้อยู่ที่ 45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 การกำหนดค่า Temperature บริเวณกระจกรถยนต์

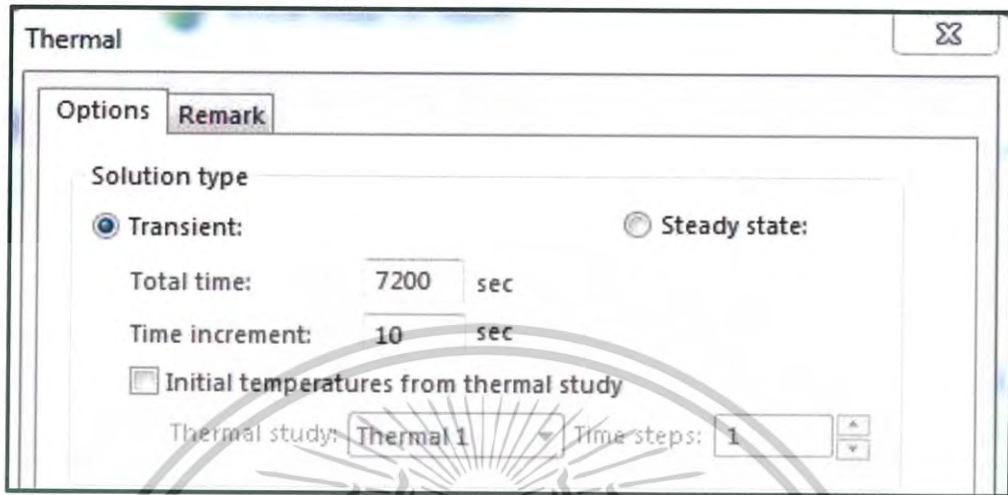
3. กำหนดค่า Convection Coefficient ให้มีค่าเท่ากับ 5 วัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวินและกำหนดค่า Bulk Ambient Temperature ให้มีค่าเท่ากับ 308 องศาเคลวิน



รูปที่ 4.5 การกำหนดค่า Convection ของอากาศภายนอกรถยนต์

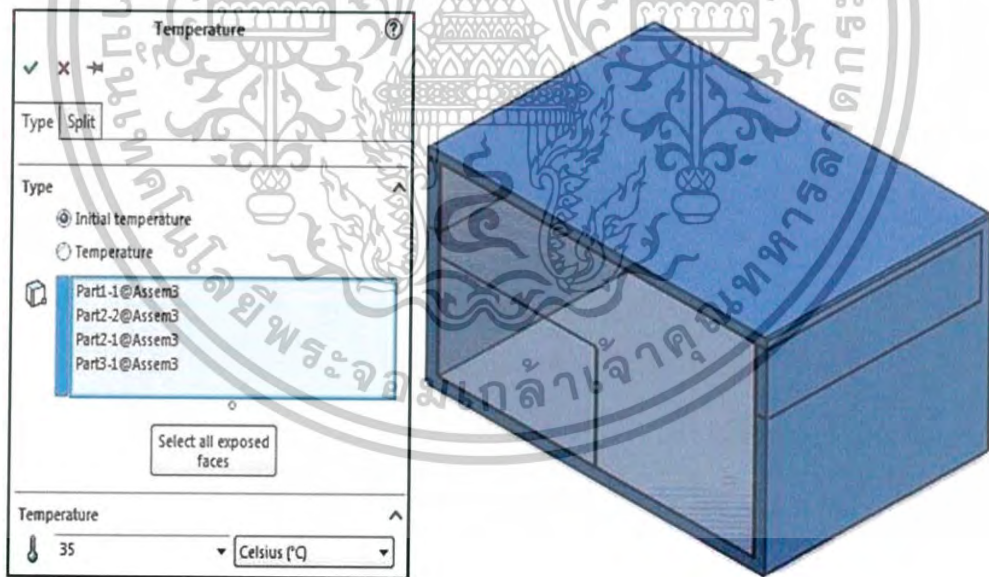
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กำหนด Total time ให้มีค่าเท่ากับ 7200 วินาที และกำหนดค่า Time increment ให้มีค่าเท่ากับ 10 วินาที



รูปที่ 4.6 การกำหนดระยะเวลาที่ต้องการเก็บค่า

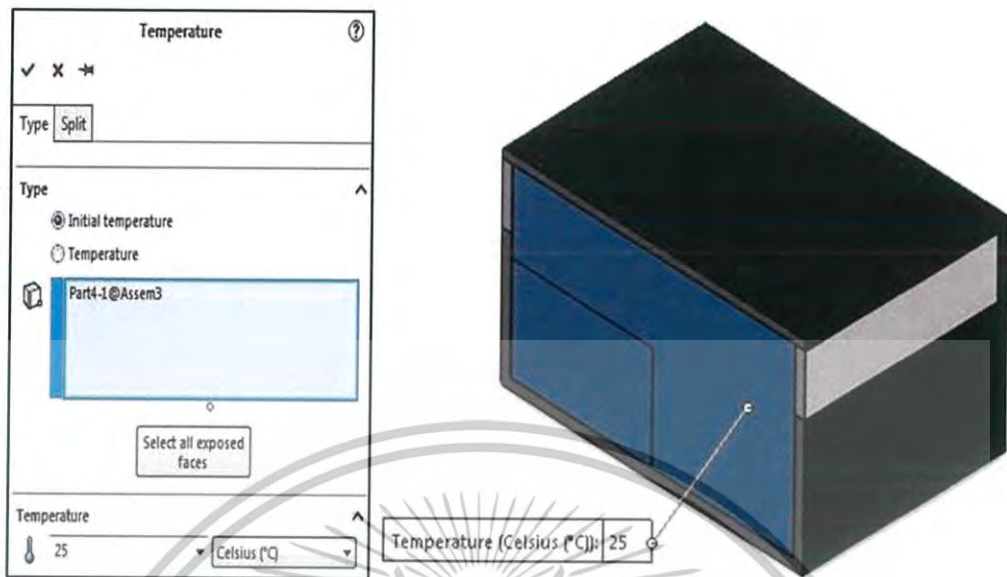
5. กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นบริเวณภายนอกตัวรถยนต์ ให้มีค่าเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 การกำหนดค่าเริ่มต้นภายนอกตัวรถยนต์

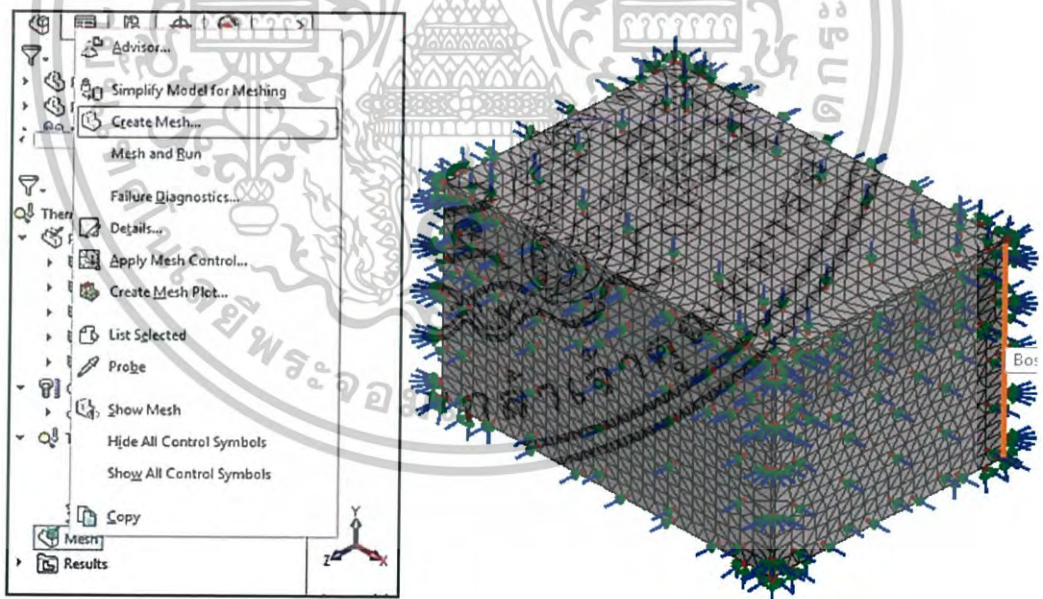
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศภายในรถยนต์ ให้มีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 การกำหนดค่าเริ่มต้นของอากาศภายในรถยนต์

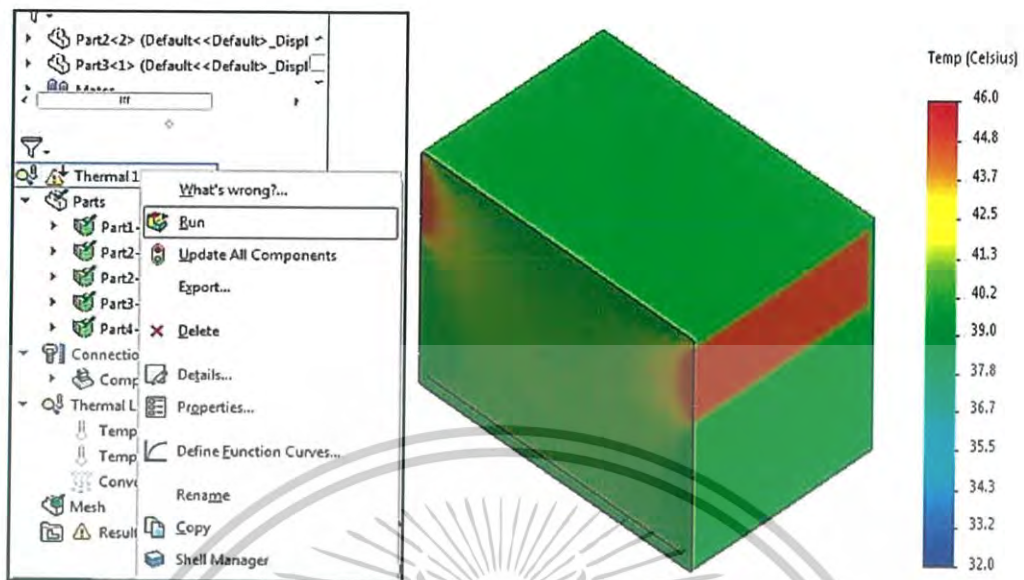
7. ทำการ Create Mesh



รูปที่ 4.9 โปรแกรมทำการคำนวณในเชิงเรขาคณิต

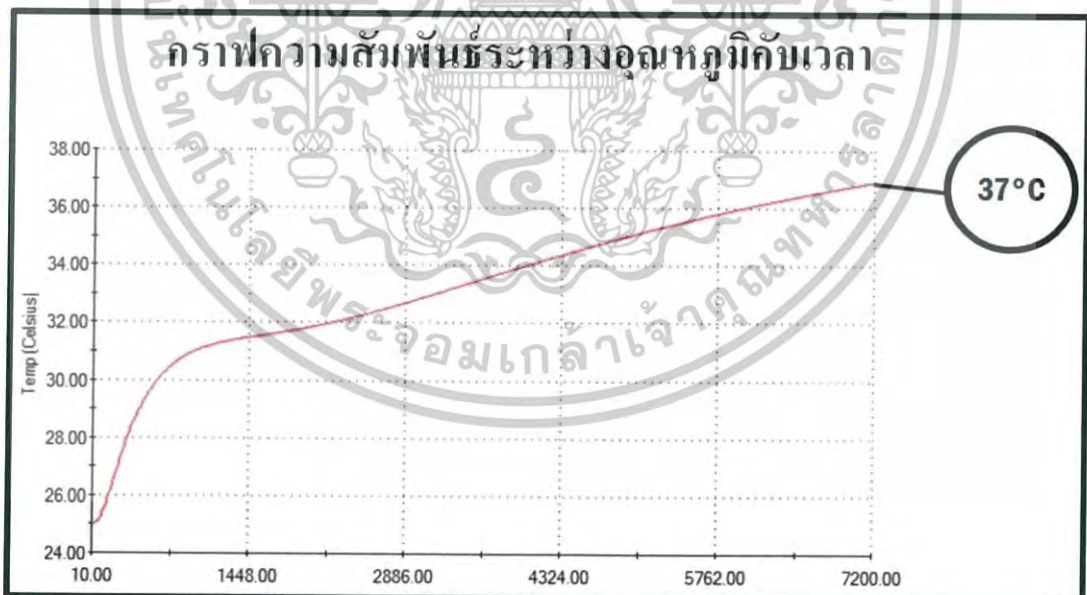
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การ RUN โปรแกรม



รูปที่ 4.10 โปรแกรมทำการวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล

จากรูปที่ 4.10 เมื่อใช้โปรแกรม Solid works 2016 วิเคราะห์ข้อมูลที่กำหนด แล้วให้แสดงออกมาเป็นกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

จากรูปที่ 4.11 ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิภายในรถยนต์แปรผันตรงกับระยะเวลาที่จอดรถตากแดดไว้ ในที่นี้กำหนดระยะเวลาในการศึกษาอยู่ที่ 2 ชั่วโมงทำให้ได้อุณหภูมิอยู่ที่ 37 องศาเซลเซียส จากนั้น นำไปคำนวณหาค่าความร้อนที่เข้าไปภายในรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากโรงเรียนฯ หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากโรงเรียนฯ จะถือว่าผิดกฎหมายและต้องรับผิดชอบต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง

วิธีการคำนวณ

คำนวณหาพลังงานความร้อนแฝงในอากาศ

จากสมการ a $Q_{cooling} = mc\Delta T$

ตัวแปรที่ทราบค่า

1. ปริมาตรกล่องจำลอง (V) 2.7 m^3
2. ความหนาแน่นของอากาศ (ρ) 1.225 kg/m^3
3. ความจุความร้อนของอากาศ (C) $1.02 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$
4. ผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) 10K (จากการกำหนดอุณหภูมิของความร้อนที่สะสมในรถยนต์ภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง และจากการกำหนดอุณหภูมิภายในรถยนต์ที่ต้องการให้มีซึ่งมีค่า 37°C , 27°C ตามลำดับ)
5. กำหนดให้มีการระบายความร้อนอยู่ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง

คำนวณหามวล

จากสมการ

$$m = \rho V$$

$$m = (3.3\text{kg})(1.02\text{kJ} / \text{kg}\cdot\text{K})(3\text{K})$$

$$m = 3.3\text{kg}$$

คำนวณหาความร้อนแฝงในอากาศ

จากสมการ

$$Q_{cooling} = mc\Delta T$$

$$Q_{cooling} = (3.3\text{kg})(1.02\text{kJ} / \text{kg}\cdot\text{K})(3\text{K})$$

$$Q_{cooling} = 10.098\text{kJ}$$

คำนวณหา กำลังการทำความเย็นที่ต้องการให้เทอร์โมอิเล็กทริกทำงาน

จากสมการ

$$P_{cooling} = \frac{Q_{cooling}}{t}$$

$$P_{cooling} = \frac{10098\text{J}}{2 \times 3600\text{s}}$$

$$P_{cooling} = 1.4025\text{W}$$

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่จะทำให้ปริมาตรที่มีขนาด 2.7 m^3 ลดอุณหภูมิลงจาก 37°C เหลือ 34°C ภายในเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าประมาณ 1.4025 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

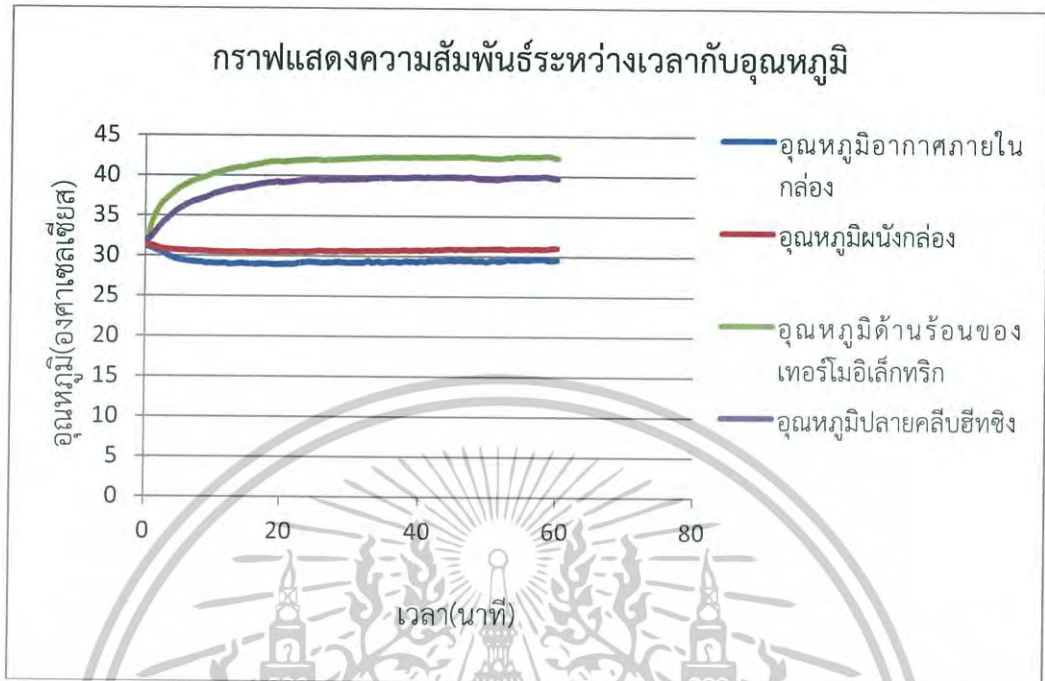
4.2 ผลการทดสอบการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี
และกำหนดกระแสไฟฟ้ามีขนาด 2.5 แอมแปร์แรงดันไฟฟ้า 21 โวลต์
1.กรณีใช้พัดลมระบายความร้อน ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ (กระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 21 โวลต์)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง(องศาเซลเซียส)
1	30.9129
2	30.5653
3	30.2087
4	29.7538
5	29.5255
6	29.3645
7	29.3345
8	29.2195
9	29.0391
10	29.0589
11	29.0800
12	29.0214
13	28.9918
14	29.0615
15	28.9849
16	28.9522
17	28.9903
18	28.9499
19	28.9243
20	28.9598

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ (กรณีใช้พัดลมระบายความร้อน) ได้ดังนี้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ (กรณีใช้พัดลมระบายความร้อน)

จากสมการ $P = \frac{Q}{t}$ (4)

หาค่ามวล จากสมการ $m = \rho V$ (5)

$$m = (1.225 \text{ kg} / \text{m}^3)(1485.12 \times 10^{-6} \text{ m}^3)$$

$$m = 0.0018 \text{ kg}$$

การคำนวณหาความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถนำไปทิ้งได้

เมื่อ $\Delta T = 3\text{K}$, $c = 1.02 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, $t=2$

จะได้
$$P = \frac{(0.0018 \text{ kg})(1.02 \text{ kJ} / \text{kg}\cdot\text{K})(3\text{K})}{20}$$

$$P = 0.013 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

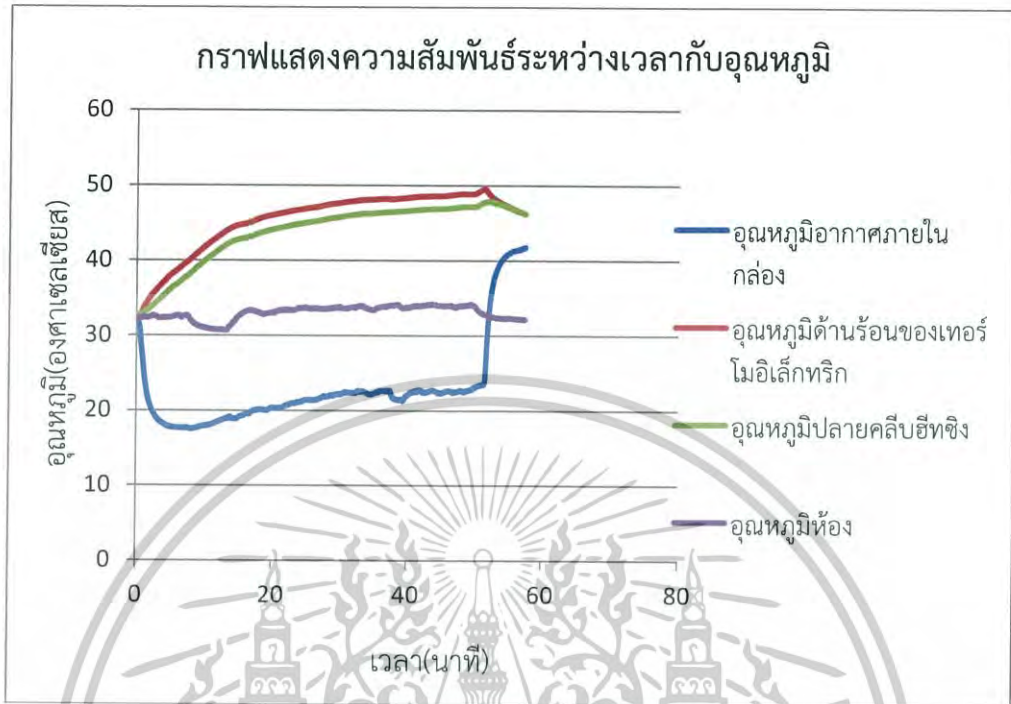
2.กรณีไม่ใช้พัดลมระบายความร้อน ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ (กระแสไฟฟ้า 2.5 แอมแปร์แรงดันไฟฟ้า 21 โวลต์)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิอากาศภายในกล่อง(องศาเซลเซียส)
1	25.8025
2	20.6139
3	18.9051
4	18.1940
5	17.7925
6	17.6956
7	17.6652
8	17.5512
9	17.7526
10	17.9623
11	18.1422
12	18.5236
13	18.8928
14	18.9511
15	19.1406
16	19.4910
17	19.8965
18	20.0692
19	20.0299
20	20.3691

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ (กรณีไม่ใช้พัดลมระบายความร้อน) ได้ดังนี้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ (กรณีไม่ใช้พัดลมระบายความร้อน)

อภิปรายผล

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าในกรณีใช้พัดลมระบายความร้อนอุณหภูมิภายในกล่องมีค่าประมาณ 31 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิก่อนเริ่มการทดลอง หลังจากเริ่มการทดลองจะพบว่าอุณหภูมิภายในกล่องลดลงมา 2 องศาเซลเซียสทำให้อุณหภูมิภายในกล่องมีค่าลดลงจาก 31 องศาเซลเซียส เป็น 29 องศาเซลเซียส

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าในกรณีไม่ใช้พัดลมระบายความร้อนอุณหภูมิภายในกล่องมีค่าประมาณ 31 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิก่อนเริ่มการทดลอง หลังจากเริ่มการทดลองจะพบว่าอุณหภูมิภายในกล่องมีค่าที่ไม่คงที่ซึ่งจะเห็นว่าที่ผ่านไปประมาณเวลา 50 นาที อุณหภูมิภายในกล่องเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการระบายความร้อนไม่เพียงพอ ซึ่งอาจทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกเกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การคำนวณหาค่าพลังงานและกำลัง

4.3.1 การคำนวณค่ากำลังเชิงความร้อน

กรณีความต่างระหว่างด้านเย็นกับอากาศภายในกล่อง

ค่าที่ทราบ $t = 475$ วินาที, $\Delta T = 2.03$ °C, $c = 1.02$ kJ/kg·K

$$m = \rho v$$

$$m = (1.225 \text{ kg} / \text{m}^3)(0.0015 \text{ m}^3)$$

$$m = 0.0018 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{box}} = mc\Delta T$$

$$Q_{\text{box}} = (0.0018 \text{ kg})(1.02 \text{ kJ} / \text{kg}\cdot\text{K})(2.03 \text{ K})$$

$$Q_{\text{box}} = 0.0037 \text{ kJ}$$

$$P_{\text{box}} = \frac{Q}{t}$$

$$P_{\text{box}} = \frac{3.766}{475}$$

$$P_{\text{box}} = 7.929 \text{ mW}$$

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังความร้อน

ปริมาตรกล่อง (cm ³)	ค่าพลังงานความร้อน (kJ)	ค่ากำลังความร้อน (W)
1,485.12 cm ³	0.0037	0.0079

4.3.2 การคำนวณค่ากำลังเชิงไฟฟ้า

ค่าที่ทราบ $V = 1.917$ V, $I = 2.89$ A

$$P = IV$$

$$P = (1.917)(2.89)$$

$$P = 5.54 \text{ W}$$

ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังไฟฟ้า

ปริมาตรกล่อง (cm ³)	ค่ากำลังไฟฟ้า (W)
1,485.12 cm ³	5.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การคำนวณค่ากำลังความร้อนของรถยนต์

$$\text{ค่าที่ทราบ } V = 3.70 \text{ m}^3, c = 1.02 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}, \Delta T = 3 \text{ K}$$

การคำนวณหามวลของรถยนต์

$$m = \rho V$$

$$m = (1.225 \text{ kg} / \text{m}^3)(2.7 \text{ m}^3)$$

$$m = 3.3 \text{ kg}$$

การคำนวณหาการถ่ายโอนความร้อน

$$Q_{car} = mc\Delta T$$

$$Q_{car} = (3.3 \text{ kg})(1.02 \text{ kJ} / \text{kg}\cdot\text{K})(3 \text{ K})$$

$$Q_{car} = 10.098 \text{ kJ}$$

การคำนวณหาลำกำลังความร้อน

$$P_{car} = \frac{Q_{car}}{t}$$

$$P_{car} = \frac{10098 \text{ J}}{3600 \text{ s}}$$

$$P_{car} = 2.805 \text{ W}$$

เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

$$P_{car} = \frac{Q_{car}}{t}$$

$$P_{car} = \frac{10098 \text{ J}}{2 \times 3600 \text{ s}}$$

$$P_{car} = 1.4025 \text{ W}$$

ตารางที่ 4.5 ค่ากำลังความร้อน

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กำลังความร้อน (วัตต์)
1	2.805
2	1.402

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การคำนวณหาจำนวนเท่าของตัวตั้งต้นเทียบกับรถยนต์จริง

$$X = \frac{P_{car}}{P_{box}}$$

$$X = \frac{2.805W}{0.008W}$$

$$X = 350.62items$$

ที่เวลา 2 ชั่วโมง

$$X = \frac{1.402W}{0.008W}$$

$$X = 175.31items$$

ตารางที่ 4.6 จำนวนเท่าของตัวตั้งต้นเทียบกับรถยนต์จริง

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	จำนวนเท่า (เท่า)
1	350.625
2	175.312

4.4 การคำนวณมูลค่าตัวต้นแบบ (Prototype Cost Calculations)

การคำนวณต่อไปนี้ต้องการพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายของเครื่องต้นแบบเพื่อพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนหรือความคุ้มค่าหากนำไปผลิตจริง

4.4.1 การคำนวณมูลค่าชุดตัวตั้งต้นไม่รวมแผงโซล่าเซลล์

ราคามูลค่าของชุดตัวตั้งต้นคำนวณได้จากการรวมราคาของเทอร์โมอิเล็กทริก ฮีทซิงค์ พัดลม แต่จะไม่รวมราคาของโซล่าเซลล์ เพราะโซล่าเซลล์จะต้องคำนึงถึงกำลังไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกและพัดลมต้องการ การนำราคาโซล่าเซลล์คิดรวมด้วย จะทำให้ราคาตัวตั้งต้นไม่ถูกต้องและมีราคาสูงเกินความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 การคำนวณมูลค่าชุดตัวตั้งต้นไม่รวมแผงโซลาร์เซลล์

รายการ	ราคา (บาทต่อหน่วย)	จำนวนชิ้น (หน่วย)	ราคารวม(บาท)
เทอร์โมอิเล็กทริก	370	2	740
อีทซิงค์	125	1	125
พัดลม	675	2	1,350
รวมทั้งหมด	715	19	2,215

ราคารวมของตัวต้นแบบโดยไม่รวมราคาโซลาร์เซลล์ 2215 บาทจำนวนเท่าของตัวต้นแบบกับตัวรถยนต์จริง 1756.25 เท่าดังนั้นราคาในส่วนนี้ จึงเท่ากับ $2215 \text{ บาท} \times 1756.25 \text{ เท่า}$ เท่าเท่ากับ 3,890,094 บาท

ตารางที่ 4.8 การคำนวณมูลค่าราคาสำหรัรถยนต์

กำลังความร้อนตัวตั้งต้น (วัตต์)	กำลังความร้อนรถยนต์ (วัตต์)	ระยะเวลาทำความเย็น (ชั่วโมง)	จำนวนเท่า (เท่า)	ราคาตัวตั้งต้น (บาท)	ราคาสำหรับรถยนต์ (บาท)
0.008	2.805	1	350.625	2,215	776,635
0.008	1.402	2	175.312	2,215	388,318

4.4.2 การคำนวณมูลค่าแผงโซลาร์เซลล์

- ราคาโซลาร์เซลล์ 32,245 บาทต่อหน่วย
- กำลังโซลาร์เซลล์ 1,000 วัตต์ต่อหน่วย
- กำลังความต้องการของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับชุดตั้งต้น 11.08 วัตต์
- กำลังความต้องการของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับรถยนต์ $11.08 \text{ วัตต์} \times 350.6 \text{ เท่า} = 3,885 \text{ วัตต์}$
- จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องใช้ $3,885 \text{ วัตต์} \div 1000 \text{ วัตต์} = 4$ ตัวราคาแผงโซลาร์เซลล์ทั้งหมด $4 \text{ ตัว} \times 32,245 \text{ บาท} = 128,980 \text{ บาท}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ราคาแผงโซล่าเซลล์ทั้งหมด

ราคา โซล่าเซลล์ (บาท)	กำลังไฟฟ้า โซล่าเซลล์ (วัตต์)	กำลังความ ต้องการของ เทอร์โมอิเล็กท ริกสำหรับชุด ตั้งต้น(วัตต์)	กำลังความ ต้องการของ เทอร์โมอิเล็ก ทริกสำหรับ รถยนต์ (วัตต์)	จำนวนแผง โซล่าเซลล์ (หน่วย)	ราคาแผง โซล่าเซลล์ ทั้งหมด (บาท)
32,245	1,000	11.08	3884.92	4	128,980
32,245	1,000	11.08	1942.46	2	64,490

4.4.3 ราคาทั้งหมดของราคาตัวตั้งต้นรวมกับราคาโซล่าเซลล์

ราคาทั้งหมด จึงคำนวณได้จากผลบวกของราคารถยนต์กับราคาแผงโซล่าเซลล์
ทั้งหมด

ตารางที่ 4.10 ราคาทั้งหมดของราคาตัวตั้งต้นรวมกับราคาโซล่าเซลล์

ระยะเวลาทำควา มเย็น (ชั่วโมง)	ราคาตัวตั้งต้น สำหรับรถยนต์ (บาท)	ราคาแผงโซล่าเซลล์ ทั้งหมด (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	776634.37	128,980	905,614
2	388317.18	64,490	452,807

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ความเป็นไปได้ของการระบายความร้อนในรถยนต์ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นยังถือได้ว่ามีโอกาส น้อย เมื่อพิจารณาถึงงบประมาณที่ใช้ในกานผลิตตัวต้นแบบ แต่อย่างไรก็ตามหากทำการผลิตใน ปริมาณมาก ๆ ก็สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยลงได้ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงความ เป็นไปได้ของการใช้แผงโซลาร์เซลล์กับรถยนต์ที่บางครั้งไม่ได้จอดรถยนต์ตากกลางแดดเสมอไป ซึ่งเป็น อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก และส่งผลให้อัตราการทำควมเย็นไม่ คงที่อีกประการหนึ่งที่สำคัญเรื่องของการระบายความร้อนจากผลการทดลองความร้อนมีผลต่อความ เสียหายของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ทำให้ประสิทธิภาพทำความเย็นลดลงดังนั้นจึงต้องพิจารณาระบบ ระบายความเป็นพิเศษ

อย่างไรก็ตามระบบการระบายความร้อนนี้ยังถือว่าไม่สมบูรณ์ เพราะยังขาดการพิจารณาถึง ปรากฎการณ์เรือนกระจกที่สะสมอุณหภูมิภายในรถยนต์ และขาดการพิจารณาถึงระบบควบคุม กำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่จำเป็นต้องคงที่ และไม่เกินสเปคของ เทอร์โมอิเล็กทริก

จึงสรุปได้ว่าตัวต้นแบบนี้ยังถือว่าไม่มีความเหมาะสมที่จะเป็นต้นแบบในการผลิตทั้งในเชิง คุณภาพและเชิงเศรษฐศาสตร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินการทดลองเกิดปัญหา คือการจ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงดันให้กับอุปกรณ์เทอร์โม อิเล็กทริกเกินความสามารถที่รับได้ จึงทำให้เสีย และในเรื่องของการระบายความร้อน หากไม่มีระบบ ระบายความร้อนที่เพียงพอให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการระบบระบายความร้อน อาจทำให้อุปกรณ์เหล่านั้น เกิดความเสียหายได้

ควรจะมีการสร้างโมเดลที่บอกว่าจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรงไหนในตัวรถยนต์

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2542. แผนที่พลังงานแสงอาทิตย์. [Online]. Available: <http://www4.dede.go.th/dede>
- [2] กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายแผนงานพัฒนาโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2548. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell). [Online]. Available: <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>
- [3] TRAFIC SHARING. 2559. ไตรมาสแรกปี 59 ยอดใช้ไฟฟ้าทุบสถิติสูงขึ้น 7.5% จากอากาศร้อนจัด. [Online]. Available: <http://www.traffic-sharing.com/news950.html>
- [4] WINTRONICS. 2560. ปรากฏการณ์ “เทอร์โมอิเล็กทริก”. [Online]. Available: <http://www.wintronics.co.th/article/topic-46975.html>
- [5] บริษัท ชายนัฐัน จำกัด. 2011. เพอเทีย (Peltier) คืออะไร. [Online]. Available: http://www.industry.in.th/dip/knowledge_detail.php?id=587&uid=38395
- [6] ศุภกฤต วงษ์ประการ และ สุปรีย์ พิณจสุบุตร. 2559. การเพิ่มประสิทธิภาพทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ BiCuSeO. [Online]. Available: http://scijournal.kku.ac.th/files/Vol_44_No_2_P_237-248.pdf
- [7] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2560. กลจักรความร้อน. [Online]. Available: <http://mte.kmutt.ac.th/elearning/themodanamic/web3/CHAP1/INTRODUCTI ON/three11-03.htm>
- [8] TRIPLE E ENERGY PLUS CO., LTD. 2560. ฮีทปั๊ม (Heat Pump). [Online]. Available: <http://www.eakaphatenergy.com/?ProductID=Product-110504155384068>
- [9] ยุทธนา ตันติวิวัฒน์. 2553. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก. [Online]. Available: http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=show&article_id=906
- [10] สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน. 2560. เทอร์โมอิเล็กทริกส์. [Online]. Available: <http://www.slri.or.th/th/slriresearch/3078-thermoelectrics.html>
- [11] Aemarine. 2012. ระบบทำความเย็น (Refrigerated System). [Online]. Available: <http://refrigerations.blogspot.com/2012/01/vapor-compression-system.html>
- [12] สารานุกรมเสรี. 2559. ฮีตซิงก์. [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/ฮีตซิงก์>
- [13] Total Materia. 2560. คุณสมบัติอลูมิเนียม. [Online]. Available: <http://apac.totalmateria.com/page.aspx?ID=AluminumProperties&LN=TH>
- [14] Total Meteira. 2560. คุณสมบัติทองแดง. [Online]. Available: <http://apac.totalmateria.com/page.aspx?ID=CopperProperties&LN=TH>
- [15] Chandra. 2560. ธาตุผสมหลักของอลูมิเนียม. [Online]. Available: <http://www.elecnec.chandra.ac.th/courses/ELEC2101/termwork/aluminum/p02.html>
- [16] สารานุกรมเสรี. 2559. การนำความร้อน. [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/การนำความร้อน>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [17] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2560. รูปแบบของการถ่ายเทความร้อน. [Online] Available: http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Internal%20Combustion%20Engine%20Part%20II/page_12_2.htm
- [18] SupremelinesCo.,Ltd. 2560. เทอร์โมคัปเปิล คืออะไร?. [Online]. Available: <http://www.เทอร์โมคัปเปิล.com/สาระความรู้---เทอร์โมคัปเปิล/เทอร์โมคัปเปิล---คืออะไร.html>
- [19] Solidworks authorized reseller in Thailand. 2560. การเลือกใช้วัสดุ. [Online]. available: <http://www.applicadthai.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Experimental performance investigation of minichannel water cooled-thermoelectric refrigerator



Murat Gökçek*, Fatih Şahin

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ömer Halisdemir University, Campus, 51100 Niğde, Turkey

ARTICLE INFO

Keywords:

Thermoelectric
Refrigeration
Minichannel heat sink
Coefficient-of-performance

ABSTRACT

An experimental performance analysis of minichannel water cooled-thermoelectric refrigerator in this study is presented. The cooling system of refrigerator is consists of two thermoelectric modules integrated with the minichannel heat-sinks in its hot side and the heat dissipaters in its cold side. The experiments carried out for different system voltages and different flow rates of cooling water in the minichannel. The results show that the inner temperature of water cooled-thermoelectric refrigerator is about 2 °C for 0.8 L/min flow rate while it is about -0.1 °C for 1.5 L/min flow rate at the end of 2-h experiment. COP value of thermoelectric refrigerator is 0.23 in the flow rate 1.5 L/min while COP is 0.19 in the flow rate 0.8 L/min at the end of 25 min cooling times. When it comes to 8 V system voltages, COP of the thermoelectric refrigerator is about 0.41 at the end of 25 min operating period for the flow rate 1.5 L/min. This study concludes that the performance of minichannel heat sink used in this study has as good as other liquid water cooled systems used to absorb heat from thermoelectric modules hot side.

1. Introduction

Refrigeration is an important process for many applications, ranging from fresh keeping the perishable food products to the wide variety of the temperature controllers used in electronics and other industrial fields [1,2]. In conventional domestic refrigerators are used the vapor-compression technology. The refrigerators based on vapor compression have a high coefficient of performance (COP) but the refrigerants used in such systems have detrimental effects on the global environmental. Thermoelectric refrigeration based on the Peltier effect has important advantages compared to conventional vapor technology in spite of the fact that its COP is not as high a vapor compression technology [3,4]. Some of these can be listed: free of refrigerant, the using of electrons as refrigerant, more compact system state, lower noise and vibrations, high quality temperature control and less maintenance requirements. In addition, they possess advantage it can be powered by direct current (DC) electric sources as photovoltaic cells [5,6].

Nowadays, the application areas of thermoelectric cooling include thermoelectric refrigeration, electronic and automobile cooling, thermoelectric air-conditioning, photovoltaic-thermoelectric hybrid system, active building envelope system and fresh water production etc. [5]. In the design of thermoelectric cooling systems, the cooling power and COP are two important performance indicators, and the COP of overall system effects significantly from the COP of the thermoelectric module used in the applications [5]. There are several methods foremost the enhancements of thermoelectric cooling system performance. It can be classified as thermoelectric module design (thermoelement length, number of thermocouples etc.), thermal design (heat sink geometry, allocation of heat transfer area, and more effective heat sinks etc.) and the refining of operational conditions of thermoelectric cooling system

Abbreviations: COP, coefficient of performance; CP, cooling-down period

* Corresponding author.

E-mail address: mgokcek@ohu.edu.tr (M. Gökçek).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2017.03.004>

Received 21 September 2016; Received in revised form 21 February 2017; Accepted 22 March 2017

Available online 23 March 2017

2214-157X/ © 2017 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

Nomenclature			
A	surface area, [m ²]	T_{int2}	temperature inside the refrigerated space, [K]
Cp	specific heat of the product, [kJ/kgK]	T_{pf}	final temperatures of product, [K]
hext	heat transfer coefficient at the outer surface, [W/m ² K]	T_{pi}	initial temperatures of product, [K]
hint	heat transfer coefficient at the inner surface, [W/m ² K]	U	overall heat transfer coefficients, [W/m ² K]
k	thermal conductivity, [W/mK]	W_e	power consumed by experimental system, [W]
L	thickness, [m]	W_{fan}	heat generated by the fan, [W]
m	mass of the food product, [kg]	X	variable, [-]
M	number of independent variables, [-]	<i>Greek symbols</i>	
Nu	Nusselt number, [-]	δR	uncertainties associated with dependent
Pr	Prandtl number, [-]	Δt	time interval
\dot{Q}_c	heat flow entering the cabinet of refrigerator, [W]	ΔT_{oi}	the inner/outer temperature difference of the thermoelectric refrigerator
\dot{Q}_{pl}	product load, [W]	δX	independent variable
\dot{Q}_T	total rate of heat gain of a refrigerated space, [W]	<i>Subscripts</i>	
Re	Reynolds number, [-]	i	specific parameter number
T_{amb}	outside air temperature, [K]		
T_{int1}	temperature on cold side heat dissipater, [K]		

(heat sink coolant, mass flow rate of coolant etc.) [5]. In the past years, various articles and reports have been presented on evaluating the performance of thermoelectric refrigerators. Min and Row [7] conducted experimental evaluation of prototype thermoelectric refrigerators and evaluated their cooling performances by considering COP values, cooling down rates. The COP was found around 0.3–0.5 for typical operating temperature at 5 °C with ambient at 25 °C. Results also show that its COP is possibly after enhancements in module contact resistances, thermal interfaces and effectiveness of heat exchangers. Astrain et al. [8], developed a computational model for thermoelectric refrigerator based on Peltiers effect and its application to a refrigerator with an inner volume of 0.055 m³ analyzed. They found that the accuracy of the model was acceptable and a maximum error for COP was ± 7% and maximum discrepancy for thermal drop 1.2 K. Dai et al. [9] conducted an experimental study for thermoelectric refrigerator driven by photovoltaic module with battery storage. Their results revealed that the refrigerator can maintain the temperature at 5–10 °C, and have a COP about 0.3. Abdul-Wahab et al. [10] designed a portable solar thermoelectric refrigerator for using rural areas. This refrigerator was experimentally tested for various operating parameters. They reported that the inner temperature of the refrigeration area was reduced from 27–5 °C in approximately 44 min. In their study, COP was calculated as about 0.16. Vián and Astrain [11] developed a thermoelectric refrigerator whose cooling system consisted of two thermoelectric modules and two-phase thermosiphons and capillary lift with a single compartment of 0.225 m³ for food preservation at 5 °C. Their results indicated that by using two phase-devices into the refrigerator was increased the COP by 66% compared with finned heat dissipater. Jugsujinda et. al. [12] analyzed performance of thermoelectric refrigerator with an inner volume of 0.022 m³ by considering time, current, temperature and COP. Results indicated that the cold side temperature of cooling unit in refrigerator was decreased from 30 °C to –4.2 °C for 1 h and the COP of refrigerator was calculated as 0.65. An experimental and simulation studies on development of a hybrid refrigerator with three compartments (refrigerator at 5 °C, super-conservation at 0 °C, and freezer at –20 °C) that combined thermoelectric and vapor compression technologies were performed by Vián and Astrain [13]. Thermoelectric system was used for the super-conservation compartment. They concluded that the temperature of super-conservation compartment was kept constant at 0 °C, even if the

Table 1
Performance summary of the several thermoelectric refrigerators reported in the literature.

Volume (m ³)	Module power (W) - number	ΔT_{oi} (°C) ^a	COP	CDP (min)	Hot side heat sink	Cold side heat sink	Ref.
0.013	9.5-10	22	0.16	50	Air source, forced	Air source, forced	[10]
0.225	50-1	11.2	0.39	–	Phase change thermosypon	Thermosypon porous media	[16]
		14.67	0.29		Phase change thermosypon	Finned heat sink	
0.115	52-1	10	0.3	120	Liquid heat exchanger	Finned heat sink	[7]
0.04	120-1	16	0.2	45	Liquid heat exchanger	Liquid heat exchanger	[7]
0.055	50-1	23.9	–	–	Air source, forced	Air source, forced	[8]
0.021	76-1	–	0.19	60	Air source, forced	Finned heat sink	[12]
8.3×10^{-5}	–	17.6	0.1	70	Air source, forced	Planar heat pipe	[15]
0.225	50-2	18.9	0.23	–	Thermosypon with two phase	Thermosypon with two phase and capillary lift and with cold extender	[11]

^a ΔT_{oi} is the inner/outer temperature difference of the thermoelectric refrigerator.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วาทกรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ambient temperature rises to 30 °C. Martínez et al. [14] investigated experimentally the effect of the described temperature control systems on both the electrical energy consumption and COP of a thermoelectric refrigerator. Their result proved that the controlling with idling voltage reduced the electricity consumption of the refrigerator by 32% and increased the COP by 64%. Ohara et al. [15] designed a portable thermoelectric vaccine refrigeration system of 0.083 L inner volume for using developing communities. For the designed system, their results show that the chamber of refrigerator was reached a minimum temperature of 3.4 °C at an ambient temperature of 21 °C after 70 min of operation. As mentioned above, the numerous papers presented on design of thermoelectric refrigerators by considering different aspects. Performance summary of the several thermoelectric refrigerators reported in the literature is listed in Table 1.

Thermoelectric modules used in thermoelectric refrigeration devices are contacted with cold and hot side heat received systems. Thus, design or selection of a heat sink for each side of thermoelectric module is crucial to the overall operation of a thermoelectric system [1]. Various heat transfer techniques, including air-cooled and liquid-cooled heat sinks and systems involving heat pipe, two phase thermosiphons and phase change materials have been used in the thermoelectric cooling systems [17,18]. On the other hand, mini-channel heat sinks can be used in a wide variety of applications, including previous passive cooling applications. Integration of the high efficient heat sinks such as mini-channel heat sinks to the heat side of the thermoelectric modules could be an alternative for enhancing the performance of the cooling system [19].

The main purpose of current study is to investigate the effect of mini-channel heat sink on the thermal performance of thermoelectric refrigerator. For this purpose, a series of experiments were carried out and for the different flow rates of cooling water used in mini-channel heat sink where integrated in hot side of thermoelectric module and for different system voltages, cooling performance of the thermoelectric refrigerator was determined.

2. Description of the experimental system

The experimental setup used in the present study is schematically presented in Fig. 1. The main components of the setup are a refrigerator, aluminum minichannel heat sink, thermoelectric modules, and the cold side heat dissipater for thermoelectric module, coolant storage tank, heat exchanger, pump, power supply, and coolant circulating pump. A commercial refrigerator with 0.063 m³ inner volume was used by deactivating its freezer compartment for experimental study.

The hot side of the thermoelectric modules is attached to the aluminum minichannel heat sink, whose details are listed in Table 2, to absorb the heat released by the thermoelectric modules. The heat dissipater in the cold side of thermoelectric module is made of aluminum alloy. The dimension of heat dissipater used in the cold side of thermoelectric modules was 90 mm × 70 mm × 35 mm with 23 fins.

Fig. 2 shows the thermoelectric cooling unit. High thermal conductance paste was used to reduce the contact thermal resistance in each surface of thermoelectric module. The type number of the thermoelectric module used in the present study is TEC1-12709.

Specifications of thermoelectric module are given in Table 3. For heat transfer between the cold side heat dissipater and its surroundings inside refrigerator cabinet was used a brushless fan (3 W). The measured parameters in the experiment are voltage of thermoelectric refrigerator, temperature of the cold side heat dissipater, ambient temperature, and inner volume temperature.

The temperatures in the experimental setup were measured by K type thermocouples with an uncertainty of ± 0.5 °C. A data acquisition system, USB-Temp Data Acquisition device from Measurement Computing Inc., is used to collect the related signals periodically. The monitoring and recording of the data is carried out by TracerDAQ software package. The cooling water in system is

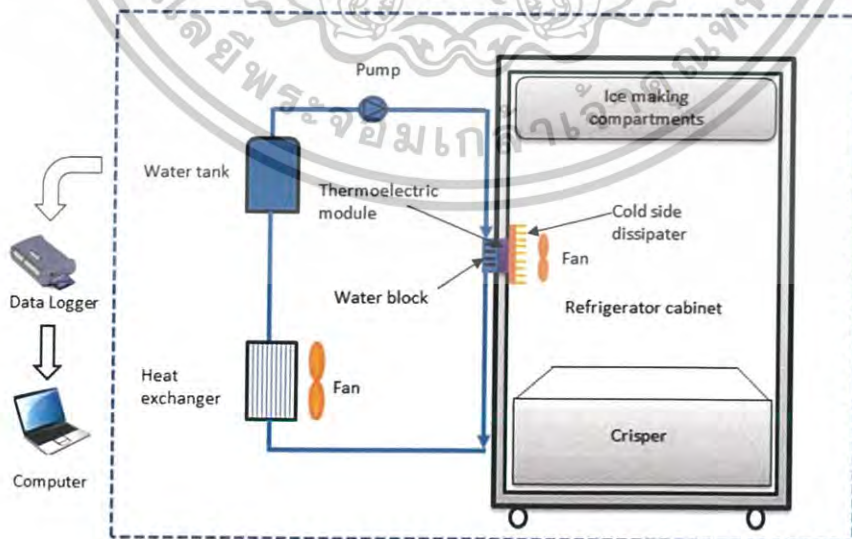


Fig. 1. Schematic description of an experimental thermoelectric refrigerator.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2
Specifications of the aluminum minichannel heat sink.

Specifications	Value
Dimensions (L × W × H) (mm)	40 × 40 × 12
Internal fin thickness (mm)	0.5
Spacing (mm)	1

circulated using a brushless DC pump (12 V-2.5 A). The flow rate of water was controlled by the input voltage of pump and it was measured using a simple “catch and time” method. Water exiting in the system was passed through a fan-cooled radiator (12 V-3 A) in order to dump the heat gained in the heat sink and maintain a constant temperature reservoir. A DC power supply was used to provide the required power for system.

3. Methodology of the experimental analysis

The main goal of the water cooled-thermoelectric refrigerator study was to investigate cooling performance. Inner temperatures and COP (coefficient-of-performance) for refrigerator are adopted as two performance indices. For evaluating of the cooling performance of refrigerator, effects of flow rate of water used to absorb the heat taken place on thermoelectric module hot side are investigated. The coefficient of performance (COP) is the ratio between the refrigeration load and electrical power consumption. The COP calculation of the refrigerator was based on the following expression [11].

$$COP = \frac{\dot{Q}_T}{\dot{W}_e} \tag{1}$$

where \dot{Q}_T (the refrigeration load) is the total rate of heat gain of a refrigerated space, and in this study it was based on the following expression.

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_c + \dot{Q}_{pl} + \dot{W}_{fan} \tag{2}$$

where \dot{Q}_c is the heat flow entering the cabinet of refrigerator, \dot{Q}_{pl} is product load, which is the heat removed from the products in the cabinet of refrigerator, \dot{W}_{fan} is the heat generated by the fan in the thermoelectric module cold side. The heat generation of the fan, \dot{W}_{fan} , was calculated using its rated electrical power consumption. The power consumed by experimental system (thermoelectric modules and auxiliary equipment such as pumps, fans) can be calculated as below:

$$\dot{W}_e = I_e \cdot V_e \tag{3}$$

where I_e is the current intensity, V_e is the electric voltage of refrigerator system [16].

The heat flow entering the cabinet of refrigerator can be calculated as

$$\dot{Q}_c = A \cdot U \cdot (T_{amb} - T_{int}) \tag{4}$$

where A is the surface area, U is the overall heat transfer coefficients, T_{amb} is the outside air temperature, and T_{int} is the temperature inside the refrigerated space [2,11].

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{ext}}} \tag{5}$$

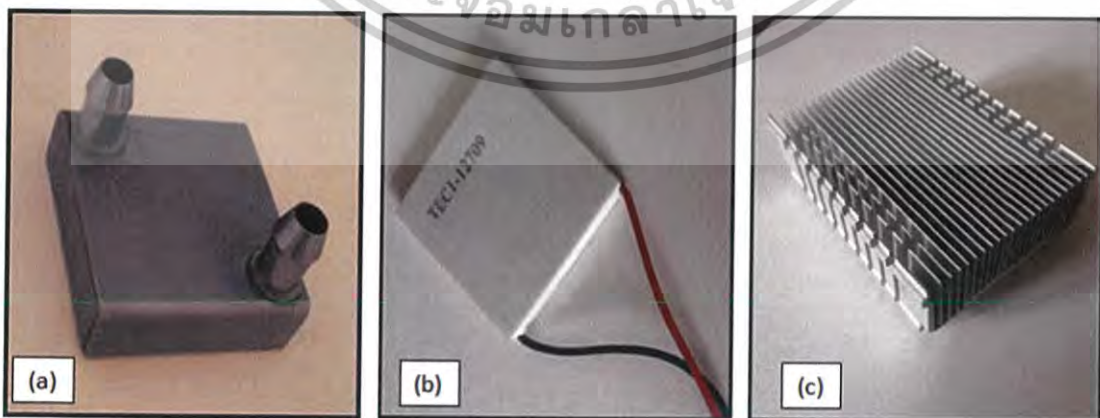


Fig. 2. Photographs: (a) water block (minichannel); (b) thermoelectric module; (c) cold side dissipater.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 57
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3
Specifications of the thermoelectric module (TEC1-12709).

Specifications	Value
Maximum current (A)	9
Maximum voltage (V)	15.2
Maximum power (W)	136.8
ΔT_{max} (°C)	60–67
Dimensions (LxWxH) (mm)	40 × 40 × 3.5
Number of couples	127

where h_{in} is the heat transfer coefficient at the inner surface of the refrigerator, h_{out} is heat transfer coefficient at the outer surface of the refrigerator and $\sum L/k$ is sum of the thickness-to-thermal-conductivity ratios of the layers in the refrigerator cabinet wall [2,11,13].

For the calculation of convective heat transfer coefficient, the correlation given by Parmelee and Huebscher for flat plate is used. This correlation is given as below [16]:

$$Nu = 0.664Pr^{1/3}Re_L^{1/2} \tag{6}$$

$$\left[\begin{array}{l} 0.6 \leq Pr \leq 50 \\ Re < Re_{x,c} \approx 5 \times 10^5 \end{array} \right]$$

The product load in the refrigerator cabinet can be calculated below:

$$\dot{Q}_{pl} = m \cdot C_p \cdot (T_{pi} - T_{pf}) / \Delta t \tag{7}$$

where m is the mass of the food product, C_p is the specific heat of the product, T_{pi} and T_{pf} are initial and final temperatures of product, respectively, Δt is time interval needed to cool a product from T_{pi} to T_{pf} [2]. In this study, 1000 mL water bottle was put into refrigerator as product material.

3.1. Uncertainty analysis

In order to determine the reliability of the experimental results, an uncertainty analysis was conducted. The uncertainty values for different measurement instruments used in experiment are given in Table 4. For estimating of errors associated with the experiments was used Eq. (8),

$$\delta R = \left[\sum_{i=1}^M \left(\frac{\partial R}{\partial X_i} \delta X_i \right)^2 \right]^{1/2} \tag{8}$$

where, i is the specific parameter number, M is the number of independent variables, δR is uncertainties associated with dependent, R , and δX_i is independent, X_i , variable [20,21]. In this study, the experimental uncertainty of the COP is calculated to be $\pm 6\%$.

4. Results and discussion

The present study was designed to evaluate the performance of water cooled-thermoelectric refrigerator. In study, inner temperatures and coefficient of performance (COP) for water cooled-thermoelectric refrigerator are selected as two performance indices. Each condition of the experimental study was performed at the lab room temperature of 24–26 °C in the period time of 120 min for the steady state condition. The cooling water in the heat exchanger used to absorb heat released thermoelectric module hot side was cooled by the ambient air. The voltage value for module is maintained at a constant level whose value is 12.0 V. The cooling down period (CDP) for a refrigerator can be defined as measure of its cooling speed [7].

Fig. 3 shows variations of cold side temperature of thermoelectric cooling unit, ambient temperature and refrigerator inner temperature versus time for 0.8 L/min flow rate with respect to flow rate of water used to absorb the heat in the thermoelectric module hot side. From Fig. 3, we can see that the cold side temperature of the thermoelectric cooling unit decreases quickly in the first 25 min then stays steadily below -2.2 °C after one and half hours. After 120 min, the inner temperature of refrigerator reaches

Table 4
Uncertainty of equipments used in the experiments.

Test equipments	Parameters
Thermocouple	Accuracy: ± 0.1 °C
Voltmeter	Accuracy: $\pm 0.5\%$
Ammeter	Accuracy: $\pm 0.5\%$

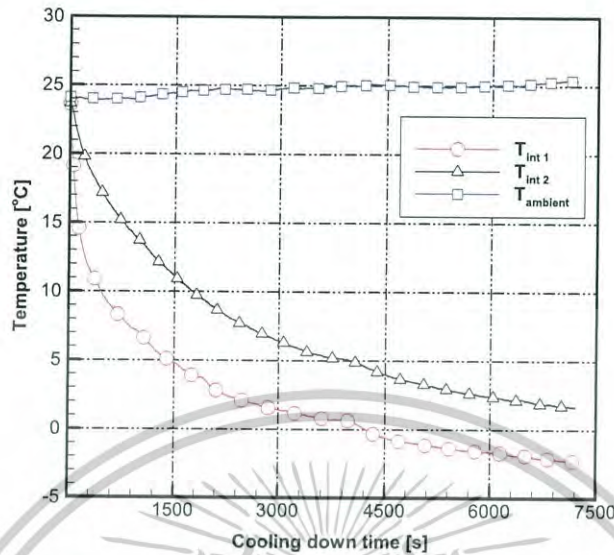


Fig. 3. Experimental data of the prototype for 0.8 L/min water flow rate.

about 2 °C. The inner temperature of refrigerator was decreased rate of 0.48 °C/min in the time interval 0–25 min. A variation of refrigerator temperatures with respect to 1 L/min flow rate for thermoelectric module hot side is shown in Fig. 4. As can be seen this figure, temperature on the dissipater decreases to 0 °C in the 70 min, while the inner temperature of refrigerator decreases to 5 °C. At the end of 120 min, the inner temperature of the refrigerator reaches about 1.5 °C. In this case, decrease rate of inner temperature is 0.55 °C/min for the first 20 min.

Fig. 5 illustrates the temperature variations of refrigerator for 1.5 L/min flow rate of water cooled the thermoelectric module hot side. We can see that the cold side temperature of the thermoelectric cooling unit decreases to 5 °C in the 10 min then drops subzero temperatures after 25 min. In the end of 120 min, the inner temperature of refrigerator reaches about -0.04 °C. The inner temperature of refrigerator was decreased rate of 0.6 °C/min in the time interval 0–25 min. As the flow rate of water that cools the hot side of thermoelectric module increases the inner temperature values of refrigerator decreases. Specifically the temperature drop increase up to 59% when the flow rate of water that cooled the thermoelectric module hot side is 1.5 L/min instead of 0.8 L/min. CDP of the refrigerator for the flow rate 1.5 L/min is shorter than other flow rates. When compared to Figs. 3–5, it can be seen that shortest time to reach 5 °C is for the flow rate 1.5 L/min. The elapsed time in this condition is 40 min. Variation of COP with time for different flow rates of water that cools the hot side of thermoelectric module is presented in Fig. 6. As shown in this figure, when the

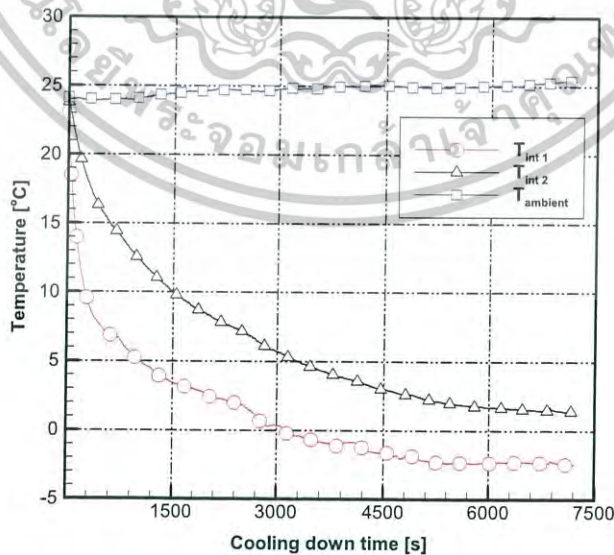


Fig. 4. Experimental data of the prototype for 1 L/min water flow rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

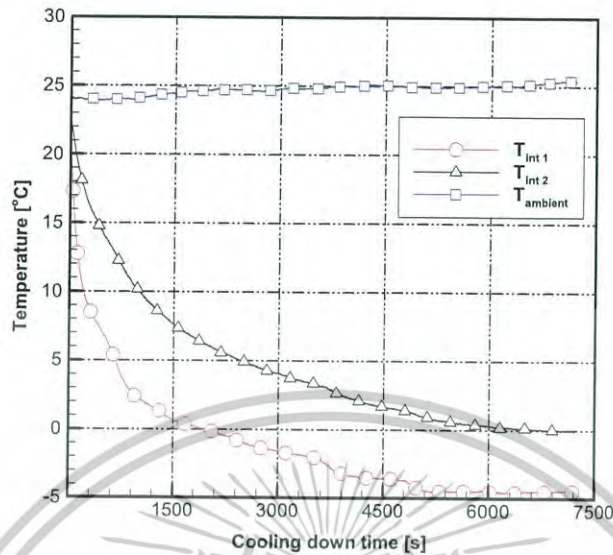


Fig. 5. Experimental data of the prototype for 1.5 L/min water flow rate.

flow rate of cooling water is 1.5 L/min, COP value of thermoelectric refrigerator is 0.23 while the flow rate of cooling water is 0.8 L/min COP value of thermoelectric refrigerator is 0.19 in the end of 25 min operating period. COP of the thermoelectric refrigerator decrease with time and inner temperature. For the 1.5 L/min flow rate, COP value decrease from 0.4 to 0.09. As the amount of heat that received from the thermoelectric module hot side increase COP value of thermoelectric refrigerator increases. As the water flow rate increases, the efficiency of thermoelectric module increases. Therefore, power consumption of the thermoelectric modules decreases. But, due to increased power consumption of the pumps, total COP of the refrigerator can be decrease. The present study makes it clear that the heat receiving from thermoelectric module hot side is very important for the performance of thermoelectric refrigerator.

Fig. 7 depicts COP values of thermoelectric refrigerator for different systems voltages. The maximal COP is about 0.41 for 8 V in the end of 25 min operating period. When the voltage of system is set 12 V, COP is about 0.23 in the end of 25 min operating period.

The cooling performance of the thermoelectric refrigerator investigated in this study is listed in Table 5. It can be seen in this table that the performance of minichannel heat sink used in the study has good as other system systems used to absorb heat from hot side of thermoelectric modules compared to data presented in Table 1.

Table 6 listed the calculated values of the tests for the water-cooled thermoelectric refrigerator at steady state when the flow rate of cooling water is 1.5 L/min. As can be read form this table, the higher difference between ambient and inner temperature the more

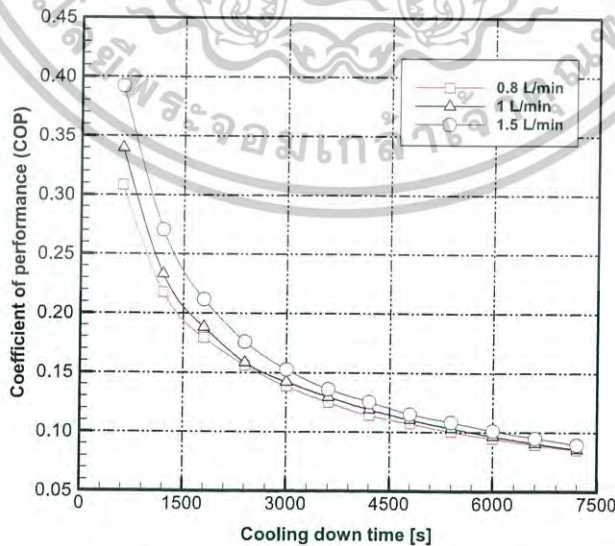


Fig. 6. COP variations of the prototype for different water flow rates.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

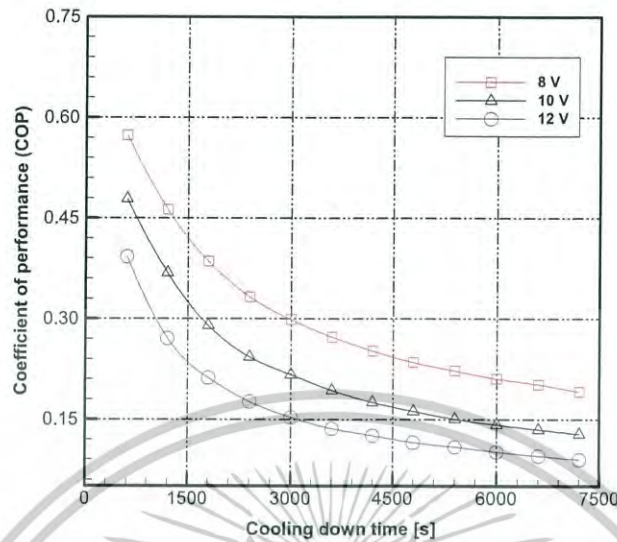


Fig. 7. COP variations of the prototype for different voltage values.

Table 5
Cooling performance summary of the refrigerator considered in this study.

Volume (m ³)	Module power (W) - number	ΔT_{oi} (°C) ^a	COP	CDP (min)	Hot side heat sink	Cold side heat sink
0.063	136.8-2	19.5	0.18	40	Minichannel heat sink	Air source, forced

^a ΔT_{oi} is the inner/outer temperature difference of the thermoelectric refrigerator.

Table 6
The calculated values of the tests for the water-cooled thermoelectric refrigerator at steady state.

V_e	T_{amb} (°C)	T_{int} (°C)	$T_{amb} - T_{int2}$	W_e (W)	Q_r (W)	COP
8	25.4	5.9	19.5	96	18.37	0.19
10	25.1	2.9	22.2	160	20.46	0.13
12	25.0	-0.1	25.1	240	21.56	0.09

the electrical energy consumption of the thermoelectric refrigerator. The maximal temperature difference is 25 °C at the 12 V level. COP of the thermoelectric refrigerator increase when the voltage supplied to system decrease. This is due to the fact that the less energy consumption. From these calculated values, it can be conclude that for operating state at an ambient temperature of about 25 °C and about 6 °C inner temperature of thermoelectric refrigerator, the total electrical energy consumption is 2.3 kWh/day and COP is 0.19.

5. Conclusions

In this study, the effect of mini-channel heat sink on the thermal performance of thermoelectric refrigerator was experimentally investigated. The minichannel heat sink was used to absorb heat from the hot side of thermoelectric module. Experiments were conducted for different system voltages and different flow rates of cooling water. At the end of 2-h experiment, inner temperature of water cooled-thermoelectric refrigerator is about 2 °C for 0.8 L/min flow rate while it is about -0.04 °C for 1.5 L/min flow rate. The inner temperature of thermoelectric refrigerator decreases as the water flow rate used in the mini-channel heat sink increases. For the 25 min cooling times, COP value of thermoelectric refrigerator is 0.23 in the flow rate 1.5 L/min while COP is 0.19 in the flow rate 0.8 L/min. The maximal COP of the thermoelectric refrigerator is about 0.41 for 8 V in the end of 25 min operating period for the flow rate 1.5 L/min. COP of the thermoelectric refrigerator increase when the voltage supplied to system decrease. When the temperature difference between ambient and inside of refrigerator is 19 °C, the total electrical energy consumption of system is 2.3 kWh/day and COP is 0.19. This study shown that it is possible to achieve high COP values for thermoelectric refrigerator when the suitable heat sink is used. The electrical energy consumption of thermoelectric refrigerator investigated in this study is much greater than the conventional cooling systems. However, due to the advantages in its accurate temperature control and compact

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

structure, the thermoelectric refrigerators can be preferred in specific applications. On the other hand, the thermoelectric refrigerators can be powered by direct current (DC) electric sources as photovoltaic cells. Thus, especially for portable applications, these systems are promising as non-refrigerant systems.

Acknowledgment

The authors are grateful to the Scientific Research Projects Coordination Unit of Omer Halisdemir University (project no.: FEB 2013/25) for providing financial support as a research project. This work was carried out as a part of the MSc thesis prepared by Fatih Şahin, completed under the supervision of Dr. Murat Gökçek.

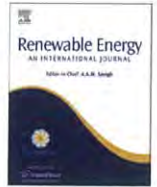
References

- [1] S.B. Riffat, S.A. Omer, X. Ma, A novel thermoelectric refrigeration system employing heat pipes and a phase change material: an experimental investigation, *Renew. Energy* 23 (2001) 313–323.
- [2] Y. Cengel, A. Ghajar, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, 5th ed., McGraw-Hill Education, New York, 2015.
- [3] D. Astrain, et al., A., Improvement of a thermoelectric and vapour compression hybrid refrigerator, *Appl. Therm. Eng.* 39 (2012) 140–150.
- [4] L. Chen, et al., Effect of heat transfer on the performance of thermoelectric generator-driven thermoelectric refrigerator system, *Cryogenics* 52 (2012) 58–65.
- [5] D. Zhao, G. Tan, A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications, *Appl. Therm. Eng.* 66 (2014) 15–24.
- [6] D. Zhao, G. Tan, Experimental evaluation of a prototype thermoelectric system integrated with PCM (phase change material) for space cooling, *Energy* 68 (2014) 658–666.
- [7] G. Min, D.M. Rowe, Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators, *Appl. Energy* 83 (2006) 133–152.
- [8] D. Astrain, et al., Computational model for refrigerators based on Peltier effect application, *Appl. Therm. Eng.* 25 (2005) 3149–3162.
- [9] Y.J. Dai, et al., Experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 77 (2003) 377–391.
- [10] Abdul-Wahab, et al., Design and experimental investigation of portable solar thermoelectric refrigerator, *Renew. Energy* 34 (2009) 30–34.
- [11] J.G. Vián, D. Astrain, Development of a thermoelectric refrigerator with two-phase thermosyphons and capillary lift, *Appl. Therm. Eng.* 29 (2009) 1935–1940.
- [12] S. Jugsujinda, et al., Analyzing of thermoelectric refrigerator performance, *Procedia Eng.* 8 (2011) 154–159.
- [13] J.G. Vián, D. Astrain, Development of a hybrid refrigerator combining thermoelectric and vapor compression technologies, *Appl. Therm. Eng.* 29 (2009) 3319–3327.
- [14] A. Martínez, et al., reduction in the electric power consumption of a thermoelectric refrigerator by experimental optimization of the temperature controller, *J. Electron. Mater.* 42 (2013) 1499–1503.
- [15] B. Ohara, et al., Optimization strategies for a portable thermoelectric vaccine refrigeration system in developing communities, *J. Electron. Mater.* 44 (2015) 1614–1626.
- [16] J.G. Vián, D. Astrain, Development of a heat exchanger for the cold side of a thermoelectric module, *Appl. Therm. Eng.* 28 (2008) 1514–1521.
- [17] S.A. Tassou, et al., A review of emerging technologies for food refrigeration applications, *Appl. Therm. Eng.* 30 (2010) 263–276.
- [18] G. Tan, D. Zhao, Study of a thermoelectric space cooling system integrated with phase change material, *Appl. Therm. Eng.* 86 (2015) 187–198.
- [19] X. Liu, J. Yu, Numerical study on performances of mini-channel heat sinks with non-uniform inlets, *Appl. Therm. Eng.* 93 (2016) 856–864.
- [20] R.J. Moffat, Describing the uncertainties in experimental results, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 1 (1) (1988) 3–17.
- [21] H.W. Coleman, W.G. Steele, *Experimentation and Uncertainty Analysis for Engineers*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ELSEVIER



Design and experimental investigation of portable solar thermoelectric refrigerator

Sabah A. Abdul-Wahab^{a,*}, Ali Elkamel^b, Ali M. Al-Damkhi^c, Is'haq A. Al-Habsi^a, Hilal S. Al-Rubai'ey^a, Abdulaziz K. Al-Battashi^a, Ali R. Al-Tamimi^a, Khamis H. Al-Mamari^a, Muhammad U. Chutani^b

^a Sultan Qaboos University, College of Engineering, Mechanical and Industrial Engineering Department, P.O. Box 33, Al Khoud P.C. 123, Muscat, Oman

^b Department of Chemical Engineering, University of Waterloo, 200 University Avenue Wes, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3 G1

^c Department of Environmental Sciences, College of Health Sciences, Public Authority for Applied Education and Training (PAAET), Kuwait

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 December 2007

Accepted 7 April 2008

Available online 10 July 2008

Keywords:

Thermoelectric refrigeration

Solar energy

Solar cells

COP_R

Prototype refrigerator

ABSTRACT

The main objective of this study is to design and build an affordable solar thermoelectric refrigerator for the Bedouin people (e.g. deserts) living in remote parts of Oman where electricity is still not available. The refrigerator could be used to store perishable items and facilitate the transportation of medications as well as biological material that must be stored at low temperatures to maintain effectiveness. The design of the solar-powered refrigerator is based on the principles of a thermoelectric module (i.e., Peltier effect) to create a hot side and a cold side. The cold side of the thermoelectric module is utilized for refrigeration purposes; provide cooling to the refrigerator space. On the other hand, the heat from the hot side of the module is rejected to ambient surroundings by using heat sinks and fans. The designed solar thermoelectric refrigerator was experimentally tested for the cooling purpose. The results indicated that the temperature of the refrigeration was reduced from 27 °C to 5 °C in approximately 44 min. The coefficient of performance of the refrigerator (COP_R) was calculated and found to be about 0.16.

© 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Solar thermoelectric refrigerator is a special type of refrigerator which utilizes solar energy instead of conventional electrical energy to power the thermoelectric module that has been used to cool the refrigeration space. The development history of solar-based thermoelectric technologies, its principles, and the discussion of the existing drawbacks of current systems can be found in DiSalvo [1] and Xi et al. [2]. Moreover, an analysis of the environmental problems related to the use of conventional technologies and the benefits offered by thermoelectric technologies can be found in Xi et al. [2]. Practically, the thermoelectric devices have been used in widespread fields with the development of new thermodynamic materials with higher Peltier coefficient and COP [1–5]. The present and potential applications of the thermoelectric devices can be found in Riffat and Xiaoli [4].

The experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells have been investigated in the open literature [6–9]. Many recent efforts in the literature have studied the performance of thermoelectric cooling and tried to improve its efficiency [10–14]. In this present paper, a design for portable solar

thermoelectric refrigerator was presented and tested experimentally. The main objective of the refrigerator service is to be suitable for use by the Bedouin people who live in the remote areas of Oman where electricity is not available. The refrigerator can also be used for remote parts of the world or outer conditions where electric power supply is not readily available.

2. Components of the solar thermoelectric refrigerator

The major components of the solar thermoelectric refrigerator include: thermoelectric module, solar cells, aluminum box, plastic plates, finned surface (or heat sink), and the cooling fan. In this study, 10 thermoelectric modules were used in the design of the refrigerator. Fig. 1 depicts one of the 10 modules that were used. Looking at Fig. 1, it can be seen that the module comes with two wires. Table 1 shows the specifications of the thermoelectric module used in this study. The electrical power generated by the solar cells was supplied to the thermoelectric refrigerator by means of the photovoltaic effect. The solar cells used in this study were manufactured by BP Solar and had the efficiency of 14% with size of 12.5 cm × 12.5 cm. In addition, aluminum sheets were added to the sides of the cabinet of the refrigerator to evenly distribute the cold for a uniform temperature within the whole refrigerator. The plastic plates were used as thermal insulation for inhibiting the back flow of heat when operating in humid conditions. They also used to

* Corresponding author. Tel.: +968 2414 1360; fax: +968 2414 1316.

E-mail address: sabah1@sq.u.edu.om (Sabah A. Abdul-Wahab).

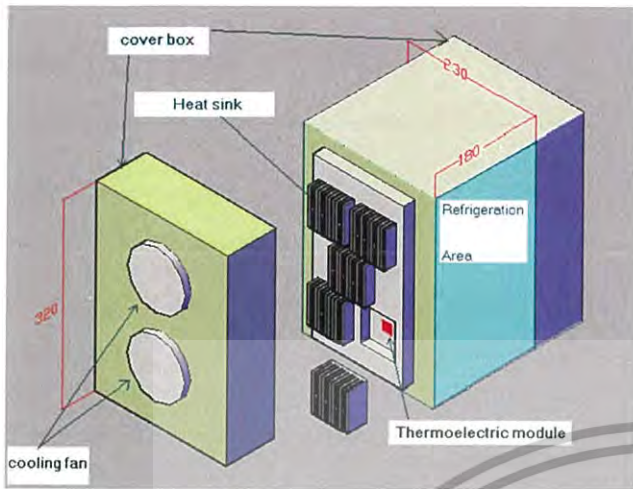


Fig. 5. Isometric view of the designed thermoelectric refrigerator.

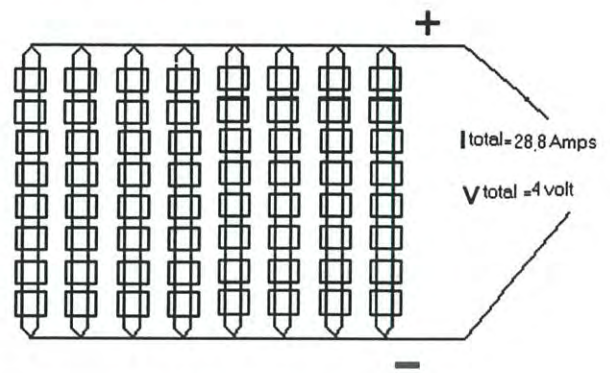


Fig. 7. Solar array arrangements.

$$\dot{Q} = \frac{(T_b - T_1)}{R1}$$

where $R1 = L/kA_s$; k is the heat conductivity of the aluminum; L is the thickness of the heat sink base; A_s is the contact surface area between the module and the heat sink base; T_b is the temperature of the base which will be the same as the temperature of the hot side of the module assuming no losses through the heat sink compound; T_1 is the temperature of the other side of the base.

The rate of heat transfer from the other side of the base through the fins to the air can be calculated as

$$\dot{Q} = A_s h (T_1 - T_\infty)$$

where ' A ' is the total surface area of the fins; ' h ' is the heat transfer coefficient of the air; ' T_∞ ' is the temperature of the ambient air.

The calculation of the cooling rate inside the cabinet of the refrigerator can be calculated as

$$\dot{Q}_{cooling} = A_s h (T_s - T_a)$$

where ' A_s ' is the heat transfer surface area of the aluminum; ' T_s ' is the aluminum surface temperature; ' T_a ' is the ambient temperature of the air inside the cabinet of the refrigerator.

Calculation of the power consumed by the 10 modules used in the prototype

Each module takes a maximum of 2.5 A and 3.8 V.

The power needed to give maximum cooling efficiency = $2.5 \times 3.8 = 9.5$ W.

The total power consumed by the 10 module units = $10 \times 9.5 = 95$ W.

Calculation of the power consumed by the fans

Each fan consumed 4 W.

Four fans consumed 16 W.

Total power needed from solar cells

Total power = power consumed by the modules + power consumed by fans = $95 + 16 = 111$ W.

Number of solar cells needed

Ideally, each solar cells generate 1.8 W (0.5 V and 3.6 A).

So the number of cells needed = $111/1.8 \approx 62$ cells + 2 extra cells = 64 solar cells.

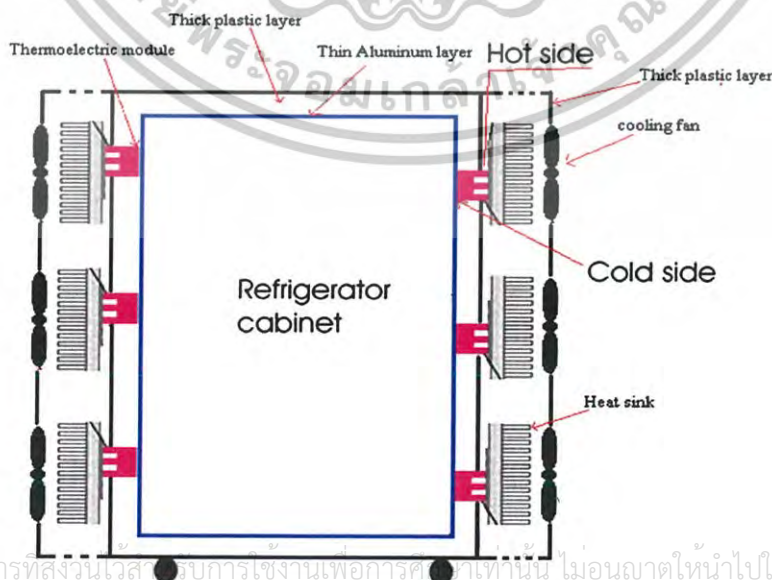


Fig. 6. Cross-section view of the refrigerator.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5. Testing the performance of the solar thermoelectric refrigerator

When the designed solar thermoelectric refrigerator was tested, it was found that the inner temperature of the refrigeration area was reduced from 27 °C to 5 °C in approximately 44 min, a difference of 22 °C. Below is an example, which shows how the coefficient of performance of the refrigerator (COP_R) was calculated. It was assumed that the refrigerator used to cool a 0.5 L canned drink from 26 °C to 4 °C in 50 min. In these calculations, it was assumed that the properties of canned drinks are the same as those of water (density = 1 kg/L and $C = 4.18$ kJ/kg).

$V = 0.5$ L canned drink.

Cools from 26 °C to 4 °C in 50 min.

Calculate COP_R :

$$COP_R = \frac{Q_{cooling}}{W_{in}}$$

$$m = \rho V = 1 \left(\frac{kg}{L} \right) 0.5(L) = 0.5 \text{ kg}$$

$$Q_{cooling} = mC\Delta T = 0.5 \times 4180 \times (26 - 4) = 45,980 \text{ J}$$

$$Q_{cooling} = \frac{Q_{cooling}}{\Delta t} = \frac{45,980}{60 \times 50} = 15.32667 \text{ W}$$

$$W_{in} = IV = 3.5 \times 25 = 95 \text{ J}$$

$$COP_R = \frac{15.32667}{95} = 0.16133$$

4. Conclusions

In this work, a portable solar thermoelectric refrigerator unit was fabricated and tested for the cooling purpose. The refrigerator was designed based on the principle of a thermoelectric module to create a hot side and cold side. The cold side of the thermoelectric module was utilized for refrigeration purposes whereas the rejected heat from the hot side of the module was eliminated using heat sinks and fans. In order to utilize renewable energy, solar energy was integrated to power the thermoelectric module in order to drive the refrigerator. Furthermore, the solar thermoelectric refrigerator avoids any unnecessary electrical hazards and provides a very environmentally friendly product. In this regard, the solar thermoelectric refrigerator does not produce chlorofluorocarbon (CFC), which is believed to cause depletion of the atmospheric ozone layer. In addition, there will be no vibration or noise because of the difference in the mechanics of the system. In addition the

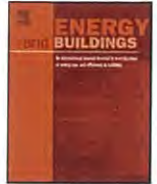
rejected heat from the solar thermoelectric refrigerator is negligible when compared to the rejected heat from conventional refrigerators. Hence, the solar thermoelectric refrigerator would be less harmful to the environment. Several tests were carried out with the prototype to determine the minimum temperature that a refrigerated object could be reached. A canned drink with fixed volume was used as the refrigerated object in these tests. Experiment and analysis on the prototype were conducted mainly under sunny outdoor conditions. It was found that the system performance was strongly dependent on the intensity of solar insulation and the temperature difference of hot and cold sides between the thermoelectric modules. The maximum temperature difference under outdoor conditions was found to be 22 °C.

The energy efficiency of solar thermoelectric refrigerators, based on currently available materials and technology, was still lower than its compressor counterparts. Nevertheless, a marketable solar thermoelectric refrigerator would be made with an acceptable performance through some improvements. For example, further improvement in the COP may be possible through improving module contact-resistance, thermal interfaces and heat sinks. In addition, this could be achieved by including more modules in order to cover a greater surface area of the refrigeration box.

References

- [1] DiSalvo F. Thermoelectric cooling and power generation. *Science* 1999; 285(5428):703–6.
- [2] Xi H, Luo L, Fraisse G. Development and applications of solar-based thermoelectric technologies. *Renew Sustain Energy Rev* 2007;11:923–36.
- [3] Mei VC, Chen FC, Mathiprakasham B, Heenan P. Study of solar-assisted thermoelectric technology for automobile air conditioning. *J Sol Energy Eng, Trans ASME* 1993;115(4):200–5.
- [4] Riffat SB, Xiaoli MA. Thermoelectric: a review of present and potential applications. *Appl Therm Eng* 2003;23:913–35.
- [5] Tritt TM, Kanatzidis MG, Lyon HB, Mahan GD. Thermoelectric materials—new directions and approaches. Warrendale, PA: Materials Research Society; 1997.
- [6] Riffat SB, Guoquan Q. Comparative investigation of thermoelectric air-conditioners versus vapour compression and adsorption air-conditioners. *Appl Therm Eng* 2004;24:1979–93.
- [7] Bansal PK, Martin A. Comparative study of vapour compression, thermoelectric and absorption refrigerators. *Int J Energy Res* 2000;24(2):93–107.
- [8] Dai YJ, Wang RZ, Ni L. Experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells. *Sol Energy Mater Sol Cells* 2003;77: 377–91.
- [9] Field RL. Photovoltaic/thermoelectric refrigerator for medicine storage for developing countries. *Sol Energy* 1980;25(5):445–7.
- [10] Sofrata H. Heat rejection alternatives for thermoelectric refrigerators. *Energy Convers Manag* 1999;37(3):269–80.
- [11] Hara T, Azuma H, Shimizu H, Obora H, Sato S. Cooling performance of solar cell driven: thermoelectric cooling prototype headgear. *Appl Therm Eng* 1998;18: 1159–69.
- [12] Chen K, Bwilliam SB. An analysis of the heat transfer rate and efficiency of thermoelectric cooling systems. *Int J Energy Res* 1996;20:399–417.
- [13] Chen J, Andresen B. The maximum coefficient of performance of thermoelectric cooling systems. *Int J Ambient Energy* 1996;17:22–8.
- [14] Dai YJ, Wang RZ, Ni L. Experimental investigation on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells. *Renew Energy* 2003;28:949–59.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Review of solar thermoelectric cooling technologies for use in zero energy buildings



ZhongBing Liu, Ling Zhang*, GuangCai Gong, HangXin Li, GuangFa Tang

College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 December 2014
Received in revised form 17 May 2015
Accepted 18 May 2015
Available online 28 May 2015

Keywords:

Solar energy
Thermoelectric cooling technology
Zero energy building
Active building envelope
Energy recovery
Air conditioner

ABSTRACT

Energy crisis and global warming have become more and more serious with the social development. Since buildings account for a significant proportion of the total energy consumption and carbon emissions, it is very necessary and urgent to decrease building energy consumption. Minimizing the need for energy use in buildings through energy-efficient measures and adopting renewable energy are the basic strategies. Zero energy buildings, which only consume solar energy and other renewable energies, have been considered as one solution and have drawn more and more attention in recent years. Solar thermoelectric cooling technologies can be powered directly by a photovoltaic (PV) and cause no harm to the environment, which fully fulfill the demand of ZEBs. This paper reviews solar thermoelectric cooling technologies and proposes a technical route of solar thermoelectric cooling technologies for use in zero energy buildings. It can be seen that solar thermoelectric cooling systems can minimize the energy demands, increase energy effectiveness and reduce fossil energy consumption in buildings. With the thermoelectric and PV industry's development along with the advent of new materials, the solar thermoelectric cooling technologies for use in zero energy buildings are promising.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

The environment pollution and energy crisis have become the focus of attention all over the world. As the world population increasing and economic development, the world has experienced large increase in energy consumption over the past 30 years. Buildings account for a significant proportion of global energy consumption and carbon emissions worldwide. About 30% of energy consumption in China [1], 40% in USA [2], and 20–40% in developed countries is consumed by buildings and predicted to increase by 34% in the next 20 years [3,4]. Meanwhile, buildings are responsible for about 30% of the global anthropogenic carbon emission in 2004 according IPCC report [5]. In China, buildings contributed up to 1/4 of the total carbon emission in 2007 [6]. Many efforts have been made to find ways to decrease the building energy consumption to help ease the energy crisis by scholars worldwide and zero energy buildings (ZEBs) have been considered and drawn many attentions in recent years.

Zero energy buildings are kind of buildings which totally depend on solar energy and other renewable energy and do not consume

conventional energy. The basic principles of selecting the technologies used in these buildings are to use the energy resources more efficiently and to reduce building energy consumption and carbon emissions as much as possible. Many countries have adopted or been considering ZEBs as their future building energy targets. For example, EU regulators have published the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) [7]. The EPBD mainly focuses on reducing the operational energy consumption of buildings, but it will also establish that by 2020, and it demands that every new building in the EU must be a “nearly-zero” energy building, which means to reduce the building energy demand and to produce energy on building site (or nearby) to balance the building energy demand in a cost-effective way.

In general, ZEBs involve two design strategies: minimizing the need for energy use in buildings through more energy-efficient measures, and adopting renewable energy and other technologies to meet the minimal energy needs [8]. The building industry's advance toward zero energy means the probable integration of additional energy-saving and clean energy producing components and systems. Energy saving in building envelopes, internal design conditions and building service systems are three main measures to minimize the energy demand in ZEBs. As to renewable energy application in ZEBs, the most commonly applied technologies are building integrated PV technology, wind turbines technology and solar thermal technology.

* Corresponding author. Tel.: +86 0731 85228641; fax: +86 0731 88822610.
E-mail address: lingzhang@hnu.edu.cn (L. Zhang).

Nomenclature

TE	thermoelectric
ABE window	active building envelope window
COP	coefficient of performance
COP_{int}	the integrated coefficient of performance is defined to estimate the energy utilization of the integrated system
ZT	the figure of merit of thermoelectric materials

Thermoelectric cooling systems have no mechanical moving parts and do not employ working fluids, which transfer heat from the cold side of the modules to the hot side with consumption of electricity [9]. Due to the advantages such as high reliability, low weight, and flexibility in packaging and integration, thermoelectric cooling systems have been widely used in military, aerospace, instrument, and industrial products [10–14]. Thermoelectric cooling systems can be powered directly by a photovoltaic (PV) without the help of AC/DC inverter, which greatly reduces the costs. Moreover, these systems are Freon free, causing no harm to the environment. Therefore, the thermoelectric coolers and the solar cells combined technologies are beneficial to solar energy using and environment protection, which fully fulfill the demand of ZEBs [15].

Recently researchers have created lots of novel solar thermoelectric cooling systems and improved the systems' performances. In this paper, applications of solar thermoelectric cooling technologies are reviewed and the possibility of their application in ZEBs is discussed. In details, in Section 2, solar thermoelectric cooling system is introduced. In Section 3, technologies of thermoelectric active building envelope including active wall and window system, which both use solar energy active control the thermal flux of building envelope, are introduced. In Section 4, the researches on applications of thermoelectric technologies in waste heat and cold recovery are reviewed, including heat recovery in mechanical ventilation system, thermoelectric air conditioner condense heat recovery, waste water heat recovery, kitchen exhaust heat recovery. In Section 5, solar thermoelectric air conditioners such as thermoelectric radiant air conditioner and solar thermoelectric energy storage air conditioner are presented. In Section 6, summary of solar thermoelectric cooling technologies for use in ZEBs are conducted. Finally, conclusions are drawn in Section 7.

2. Solar thermoelectric cooling system

In commercial types, the thermoelectric modules consist of P-type and N-type blocks of semiconductor materials. Fig. 1 shows the schematic design of commercial TE modules [16]. When direct current is passed through one or more pairs of P-type and N-type semiconductors, thermoelectric cooling effect occurs. When the thermoelectric cooling system works for space cooling, the cold side temperature decreases and heat is absorbed from indoor environment. At the same time, the temperature at the hot side increases and heat is dissipated to outdoor environment. By controlling the direction of the current, the functions of cooling and heating can be easily achieved.

In solar thermoelectric cooling system, solar radiation energy is converted into electrical energy by means of a photovoltaic unit. Subsequently, the electrical energy is supplied to the thermoelectric cooling system. Solar thermoelectric cooling system uses electron gas to serve as the working fluid and thus causes no harm to the environment. Due to this characteristic, there is an increasing interest in using solar thermoelectric cooling system for domestic refrigeration systems. Moreover, recent progresses in

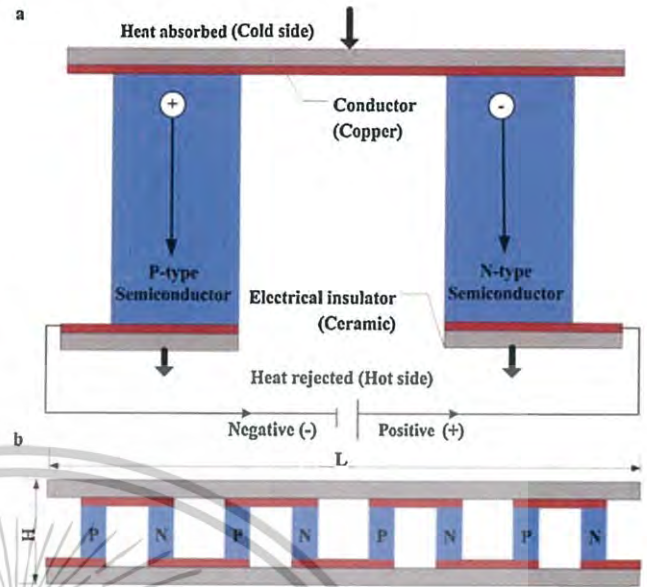


Fig. 1. Schematic design of commercial TE modules.

PV and thermoelectric technologies have led to significant reductions in manufacture costs of solar thermoelectric cooling system together with moderate improvements in the system performance. Although the coefficient of performance of solar thermoelectric air conditioner is lower than that of conventional compressor air conditioner, efforts are being made to develop domestic thermoelectric cooling systems which associate the advantages with this solid-state energy conversion technology.

3. Application of solar thermoelectric technologies in active building envelopes

Building envelope separates the indoor and outdoor environment of a building, which is the key factor that determines the indoor quality. Building envelope plays an important role in building energy consumption. A large amount of energy is needed to compensate for thermal energy losses or gains that occur in building envelope systems for climate control. Conventional strategies to compensate for thermal energy losses or gains in enclosures rely on passive insulation materials and centralized heating and cooling systems. This space cooling or heating usually consumes electrical energy or non-renewable fossil fuels. In order to reduce building energy consumption, different passive methods such as insulation walls and passive solar building envelopes are used to reduce thermal energy losses or gains in enclosures.

Recently, passive solar building envelopes can be achieved by using solar system which can maximize solar heating gains in heating seasons and minimize heating gains in cooling seasons. Passive solar heating is a well-established concept in cold climates, which mainly includes solar chimney [17], solar room [18], Trombe wall [19], etc. However, both passive insulated walls and solar walls have disadvantages: (1) passive insulation cannot effectively control the heat flux and may have a negative influence on building energy consumption in summer [20]. (2) Passive solar technology usually can only be used in winter for heating. But in summer, passive solar envelopes cannot reduce the thermal load of envelope by controlling heat flux. Building envelopes integrated with thermoelectricity offer a new way for heating and cooling which can actively regulate the heat flow and provide both heating and cooling to offset the thermal losses or gains of envelopes. Compared with insulated

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

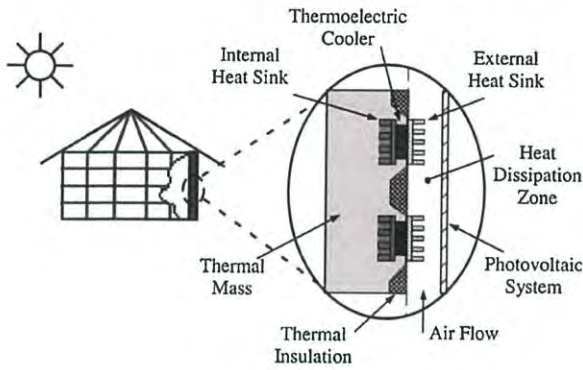


Fig. 2. Active building wall system.

envelopes and passive solar systems, the thermoelectric active building envelopes convert solar radiation into electrical energy and subsequently use the electrical energy to power a thermoelectric cooling system, which can fulfill active control of the heat flux in building envelopes.

3.1. Active building wall

Active building walls are kind of walls which can actively control the heat flux of the walls with solar energy [21,22]. Fig. 2 depicts the sketch diagram of an active building wall, which is integrated with a photovoltaic (PV) unit and a thermoelectric (TE) unit. The PV forms the external surface of the wall with an airflow channel between it and the inside thermoelectric panel. In the active building wall, the PV unit changes the solar radiation energy into electrical energy while the TE unit changes the electrical energy into thermal energy, as shown in Fig. 3. The TE unit can operate in a heating or a cooling mode, depending on the direction of the current supplied by the PV unit. This feature allows for the active building envelope to be used for heating as well as cooling applications. Compared with conventional thermal technologies, the active building walls have advantages as follows: (1) operating with solar energy, (2) consisting of solid state devices and operating silently with no moving parts, (3) using little or no fossil energy sources, and (4) beneficial to environment in the long term.

A computational analytical model of the thermoelectric cooler and heat sink has been developed to instruct active building wall system design [22]. The analysis results show that the total input power required to operate the TE unit decreases as the distribution

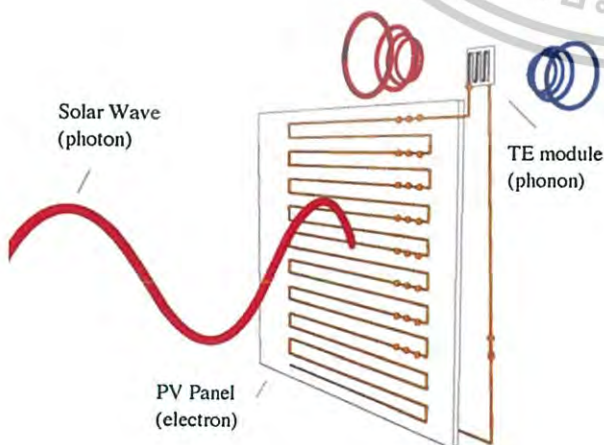


Fig. 3. Energy flow in active building wall systems.

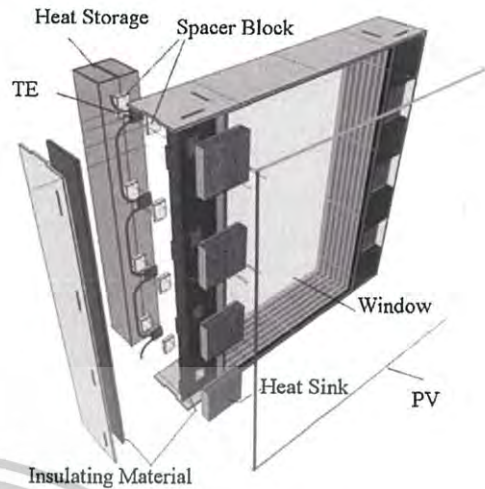


Fig. 4. Active building window.

density of the TE coolers increase. The thermal resistance of the heat sink plays a key role in determining the optimal number of TE coolers in all of the design configurations. Van Dessel and Foubert [23] have developed a finite elements model to calculate the heat transfer for active buildings wall systems. The results of parametric study show that for both heating and cooling mode the optimal systems can be achieved when the smallest TE-modules are being used that are spaced at relative short distances from each TE modules.

3.2. Active building window

The active building window system is a new window technology which integrates photovoltaic and thermoelectric technologies [24–26]. The schematic of this type of window-system is illustrated in Fig. 4. Eight TE modules are mounted on two aluminum tubes and placed on both sides of the window. Each TE module is connected to the external heat sink, which either absorbs/dissipates heat into the air through natural convection. The aluminum tubes are encapsulated with thermal insulation materials on all sides except for the side facing inwards, and they are filled with thermal storage masses (water). The tubes act as a thermal bank for the ABE window-system. They slowly absorb or dissipate heat toward the space surrounding the window. The ABE window system is operated with a stand-alone PV system.

Experimental results show that the system can affect indoor temperature of the testing room with 2–6 °C and the ABE window system can provide 35–40 W effective energy to control the temperature of the room. The overall efficiency is about 5% in cooling mode and 13% in heating mode [24–26].

Fig. 5 shows the schematic of a novel type of active thermal insulator (ATI) window [27]. As shown in Fig. 5, the ATI window is composed of the following four parts: (1) the passive window, (2) the PV module, (3) the thermoelectric cooling units, and (4) the heat sinks. The semi-transparent PV module is integrated into the front pane of a passive double-pane window and it is used to power the TE units integrated into the window frame. Finned heat sinks are placed in contact with the TE units to control the heat transfer between the TE units and the ambient environments. Since the direction of the heat flow can be switched by changing the direction of electrical current, the system can work in both heating and cooling modes.

Interactions among subsystems are showed in Fig. 6. It can be seen that the PV module not only generates electrical power but also reduces the solar heat gain through the window. The TE units

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ
ไม่จำกัดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

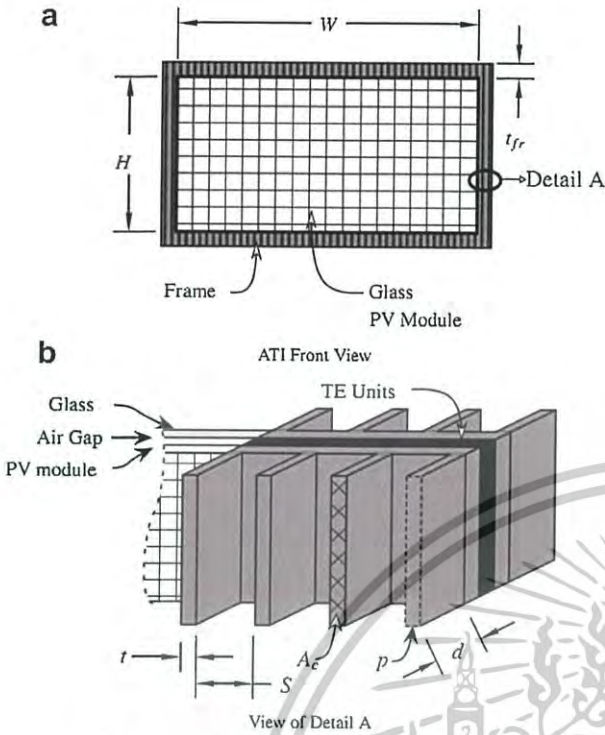


Fig. 5. Schematic of the active thermal insulator window.

can restrain the heat transfer in the natural direction and therefore reduce the total heat gains or losses through the window. The analysis results show that ATI window can reduce the heat gains by about 67% when the system is powered by incident solar radiation. Moreover, the reduced load on traditional HVAC systems can reduce the economic and environmental cost as well as building energy consumption [27].

4. Application of solar thermoelectric technologies in energy recovery system

Energy recovery technologies can improve the energy efficiency, which have been widely applied in different energy system. General energy recovery technologies mainly include heat pipe heat exchanger [28], liquid desiccant technology [29], absorption refrigeration [30] and thermoelectric cooling technology [31]. Thermoelectric cooling systems have no mechanical moving parts and do not employ working fluids that are harmful to the environment, which can transfer heat from the cold side of the modules to the hot side with consumption of electricity. And if applying the thermoelectric cooling technologies in building energy recovery system, the temperature difference between the hot side and the cold side of thermoelectric modules would be smaller than the traditional

thermoelectric cooling system, thus the energy recovery system can obtain a better performance [32]. In this section, thermoelectric ventilator, solar thermoelectric air conditioner with hot water supply, combined thermoelectric heat pump and heat pipe water heater, and thermoelectric heat pump water heater with exhaust heat recovery will be illustrated respectively.

4.1. Thermoelectric ventilator

Different from market available ventilators with passive heat recovery, thermoelectric ventilator is integrated with a flat fin cross flow sensible heat exchanger and a thermoelectric modules heat exchanger to enhance heat recovery. As shown in Fig. 7, the thermoelectric ventilator is composed of two centrifugal fans, an aluminum-made flat-fin cross flow sensible heat exchanger, air duct, a thermoelectric modules heat exchanger made by thermoelectric modules and flat-fin sinks. The cross flow sensible heat exchanger and a thermoelectric modules heat exchanger is made in cubical shape separately. Inlet and outlet air tunnel are connected with air ducts in order to collect condensed water from air and reduce the ventilator's pressure loss. Air volume of this ventilator ranged from 60 to 70 m³/h. Two centrifugal fans with high pressure were chosen, with standard gauge values: 120 m³/h, 140 Pa, 58 W, 0.16 A, 2000 rpm, and 50 db. There were 10 thermoelectric modules with type of 12706 [33,34].

The performances of the domestic thermoelectric ventilator under different operating voltage were investigated in cooling mode and heating mode. The maximum COP was gained with the input voltage of 8V, however, the maximum heating power occurred in 12V. The fresh air temperature and exhaust temperature were also recorded in order to evaluate the performance of the ventilator. The performance of the ventilator was over 2.5 both in cooling mode and heating mode. Moreover, it was proved that the performance could be further improved by optimizing the operating voltage and improving thermal resistances.

In order to improve the performance of the ventilator, a heat pipe exchanger was used in the thermoelectric ventilator [35]. Fig. 8 illustrates the system design for a heat pipe thermoelectric ventilator. The ventilator is divided into three parts: the fresh air part, the thermoelectric cooling modes part and the exhaust air part. In summer, the outdoor fresh air is cooled down when it flows through heat pipe exchangers into the indoor environment. At the same time, the exhaust air cools down the heat pipe exchangers on the other side of the thermoelectric cooling modules. In winter, the heating side and cooling side reverse and the system is converted to the heating mode by changing the current direction input to the thermoelectric modules. The outdoor fresh air is heated up when it is pumped into the indoor environment, while the exhaust air is cooled down when it flows through heat pipe exchangers to the outdoor environment. In this way thermal energy of the exhaust air is recovered.

An integrated mathematical model was developed to optimize the performance of the thermoelectric ventilator. Results showed

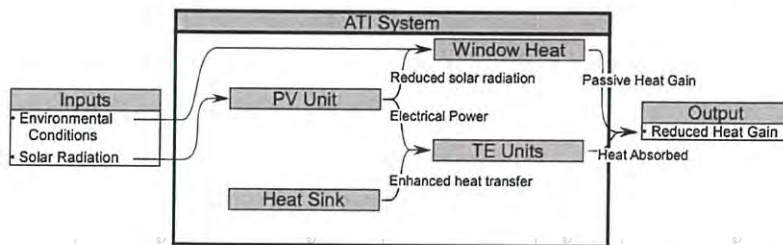


Fig. 6. Subsystem interactions of the active thermal insulator window.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้วารณินใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

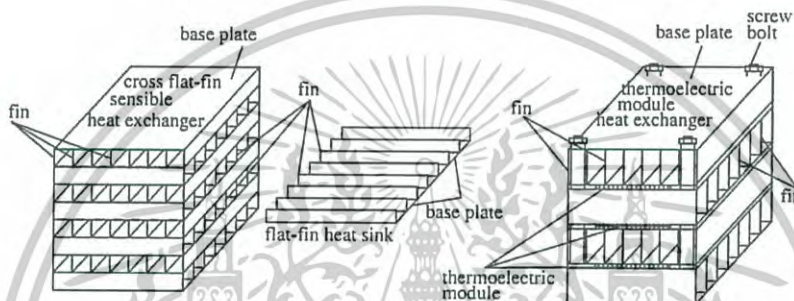
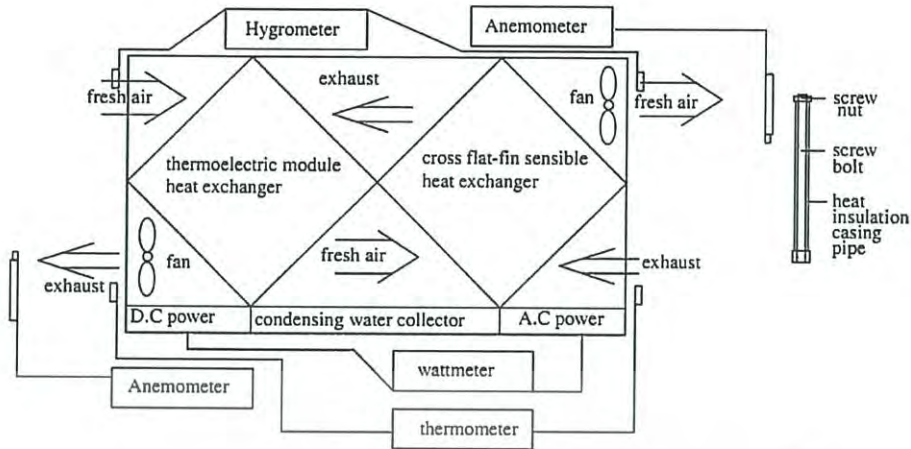
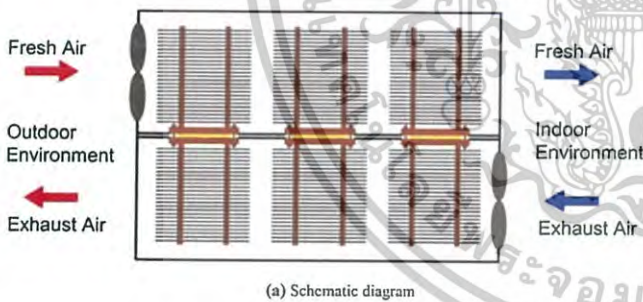
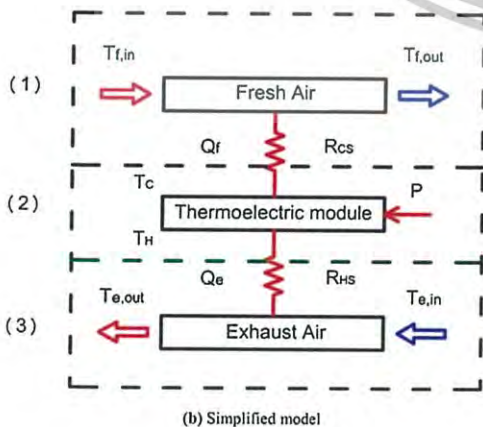


Fig. 7. Thermoelectric ventilator.



(a) Schematic diagram



(b) Simplified model

Fig. 8. Heat pipe thermoelectric ventilator.

that the cooling rate first increased to the highest point and then decreased when the working current increased, whereas the coefficient of the performance decreased all the time. The maximum COP was 4.78 in summer mode and 4.16 in winter mode. The performance of this heat pipe exchanger was proved to be much better than that of conventional heat exchangers. In addition, the thermoelectric ventilator worked more efficiently with lower fresh air temperature in summer mode and higher fresh air temperature in winter mode.

4.2. Solar thermoelectric air conditioner with hot water supply

Condensing heat recovery in vapor compression air conditioning systems has been applied in many engineering projects [36,37]. Similar to vapor compression air conditioning systems, a large amount of heat needs to dissipate when thermoelectric air conditioner works under cooling mode. Fig. 9 illustrates a solar thermoelectric air conditioner with heat recovery available for both space cooling and hot water supply. The solar thermoelectric air conditioner with hot water supply (STACHWS) is divided into three parts: (1) the air part, (2) the TEC modules part, and (3) the water part. The TE modules are sandwiched between the hot and cold side of heat exchangers. When an electrical current passes through the junction of dissimilar conductors, heat is either absorbed or released at the junction. Reversing the direction of the current changes the direction of the heat flow. The PV system can provide a constant DC power supply during daytime, while batteries can provide power to the STEACWH system at night. According to the applications, the STEACWH system can be classified in the following operating modes: (1) space cooling and water heating mode, (2) space cooling mode, and (3) space heating mode [38].

When the system works under space cooling and water heating mode, the water tank is filled with water. The return air is cooled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยเท่านั้น ไม่ควรกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

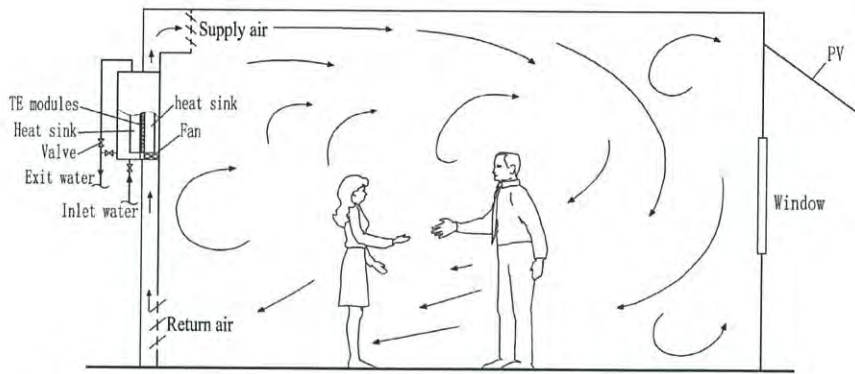


Fig. 9. The working principle of the solar thermoelectric air conditioner with hot water supply.

down when it flows through heat exchangers into the indoor environment when DC current is applied to the STEACWH system. At the same time, the water is heated up in the water tank by the heat exchanger on the other side of the TEC modules. In this way, thermal energy of the hot sides of TEC modules is recovered.

The performances of the STACHWS system were investigated under different working mode. Experiment results indicated that the coefficient of performance (COP_{int}) decreased as the water temperature increased. The system had relatively high coefficient of performance (COP_{int}) which could reach up to 4.51 when the water temperature was 20 °C and 2.74 when water temperature was 42 °C. A simulation model was set up to optimize the performance of the thermoelectric air conditioner with hot water supply. Results showed that there was an optimum current (I_{op}) that make COP_{int} reach the maximum value. I_{op} was relevant to the water temperature. Higher water temperature led to a higher I_{op} but a lower COP_{int} . When the STACHWS system worked in space cooling and water heating mode, it could be observed that, there was an optimum COP_{int} when electric current was about 0.8–1.4 A [38].

4.3. Integrating thermoelectric heat pump with heat pipe water heater

An instantaneous water heater has been developed by means of integrating a thermoelectric heat pump with a separating thermosiphon, as shown in Fig. 10. Thermoelectric modules are sandwiched between heat exchangers on hot side and the condensing heat exchanger of the thermosiphon on cold side. The

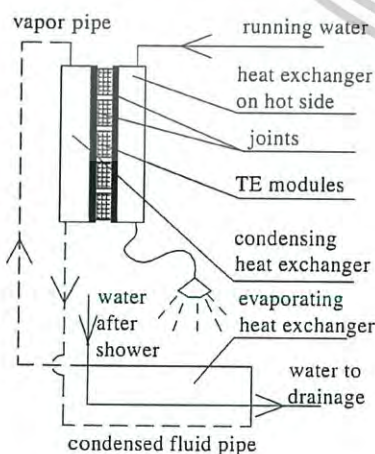


Fig. 10. Schematic diagram of integrating heat pipe and thermoelectric water heater.

separating thermosiphon is composed of an evaporator, a vapor pipe, a condenser and a condensed liquid pipe. The evaporating is embedded in the floor to recover heat from waste hot water [39,40].

When the system works, the working fluid acetone first absorbs heat from waste water through evaporating heat exchanger, and then rises and passes through the vapor pipe into the condenser, where heat flows into the cold side of the thermoelectric modules. Simultaneously, the supply water on the cold side of thermoelectric modules is heated with power consumed by the TE modules.

The performances of the thermoelectric heat pump were researched under different flow rates of hot water in Changsha. Results showed that increasing flow rate could intensify the heat exchanges, and therefore improve the performance of the water heater. Increasing mean temperature difference of heat mediums resulted in linearly decreasing performance of the water heater, and the decreasing trend was more remarkable in the case of less power input than in the larger power input.

The energy efficiency ratio (EER) of this water heater reached 1.45 or more, even if the water temperature reached 40 °C with different flow rates. Compared with the electric water heater with EER of 0.9, the novel water heater can reduce more than 38% of power consumption. In addition, the performance can be further improved by optimizing system design and fabrication on the basis of experiment data.

4.4. Thermoelectric water heater with kitchen exhausts heat recovery

A large amount of exhaust heat in public kitchen needs to dissipate, which causes energy waste as well as thermal pollution. At the same time, the electrical or gas-fired boiler must operate all-day long in order to assure constant kitchen hot water supply. Fig. 11 shows a thermoelectric heat pump water heater with kitchen exhausts heat recovery [41]. The working principle of the thermoelectric heat pump water heater is as follows: the exhaust air is pumped into the flue by ventilator, firstly filtrated by oil filter, then cooled by the water required of heating through the thermoelectric heat pump and finally discharged to outdoor. The water is heated by kitchen exhausts through the thermoelectric heat pump in the water tank and then transported into the storage tank. The temperature of water is controlled by the inlet and exit valves. Under an operating voltage of 16 V and an exhaust temperature of 36 °C, the coefficient of performance decreases from 1.66 to 1.22 when the temperature of water increases from 28 °C to 46 °C. In comparison with the conventional electric water heater, thermoelectric heat pump water heater with kitchen exhausts heat recovery is more efficient. Besides, its performance can be further improved by optimizing the design and fabrication on the basis

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

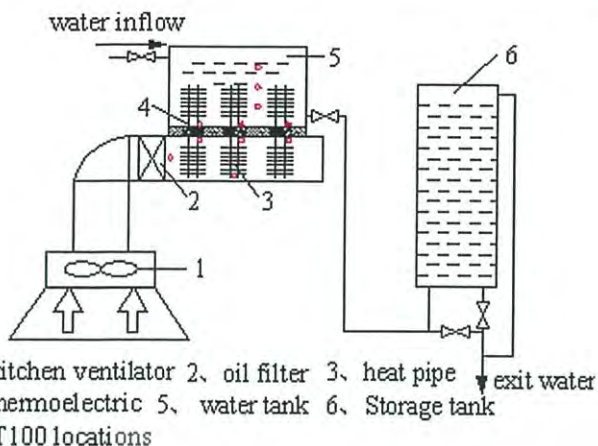


Fig. 11. Schematic diagram of a thermoelectric water heater with kitchen exhaust heat recovery.

of experiment data. It also has other advantages, such as facility, reliability, no pollution, etc. [41].

5. Solar thermoelectric air conditioners

The air conditioners and refrigerators have become common household appliances around the world. More and more people will need air conditioners as the quality of life that people demand improves. However, the refrigerant of traditional air conditioner, Freon, once leaked, will do irreversibly damage to the ozone sphere and thus cause stronger ultraviolet radiation. Moreover, electric-driven air-conditioning system consumes too much energy. To meet their demands, fossil fuels are burned to generate electricity, which causes greenhouse effect and continuously worsen global warming, and in turn the demand of air-conditioning would further increases. These facts are encouraging manufacturers to seek alternatives to conventional refrigeration technology. One of the alternative refrigeration systems is thermoelectric cooling technology [42,43].

5.1. Solar thermoelectric radiant air conditioning system

A solar thermoelectric cooled ceiling combined with displacement ventilation system has been developed for space climate control, as presented in Fig. 12 [44]. The solar thermoelectric cooled ceiling (STCC) adopts thermoelectric cooler instead of hydronic panels as radiant panels. The solar thermoelectric cooled ceiling (STCC) is burdened with removal of a large fraction of sensible cooling load. The TE modules are connected in series and sandwiched between the aluminum radiant panel and heat pipe sinks in STCC.

The heat sinks are used for dissipating heat of TE modules. The fan can provide forced air convection to help the TE modules to release heat more efficiently into the atmosphere. By controlling the direction of the current, the functions of cooling and heating can be both achieved.

The combined system dehumidifies the supply fresh air using a thermoelectric dehumidified ventilation system, as shown in Fig. 8 [35]. The thermoelectric dehumidified ventilation system is responsible for removal of a small fraction of sensible cooling load and all latent cooling loads. A 1.8 m × 0.6 m aluminum cooling panel with ten TE modules was tested in an experiment room, and the TE modules were uniformly distributed in the aluminum panel. The size of the TE module is 39 mm × 39 mm × 3.8 mm, with 127 thermoelectric couples of bismuth telluride and ceramic surface, type of 9500/127/060B.

The performance of the thermoelectric cooled ceiling was investigated under cooling mode and heating mode. Results indicated that increasing the operating voltage increased the total heat flux. The decreasing the temperature difference between ambient temperature and indoor temperature significantly increased the total heat flux and slightly increased the system COP in both cooling and heating mode. The total heat flux of the STCC system in cooling mode was higher than 60 W/m² and the system COP could reach 0.9 under operating voltage of 5 V. In the heating mode, the total heat flux of the STCC system under operating voltage of 4 V was over 110 W/m² and the COP of the system could reach 1.9 [44].

5.2. Solar thermoelectric energy storage air conditioner

Thermoelectric air conditioner with heat storage system has been developed as shown in Fig. 13. The thermoelectric cooling system primarily consists of a thermoelectric cooling unit, a shell-and-tube PCM heat storage unit, an air-water heat exchanger and a piping system. Heat absorbed from the indoor environment through the thermoelectric cooling unit can be released through the air-water heat exchanger with water as the heat transfer fluid (HTF). The system can realize two operating modes, which are dissipating generated heat to outdoor air through the air-water heat exchanger (mode 1) and releasing heat to the shell-and-tube PCM heat storage unit (mode 2). The two modes can be easily switched over through manually controlling valves [45].

The work principle is as follows: if outdoor air temperature is relatively low, such as in the early morning or late afternoon, the working mode 1 will be in operation and heat generated by space cooling will be dissipated to the outdoor environment. When outdoor air temperature is high, the PCM heat storage unit will be activated and the system will convert to mode 2. At night, the PCM heat storage unit will be discharged by using relatively cool outdoor air. Therefore, PCM with appropriate melting temperature suitable

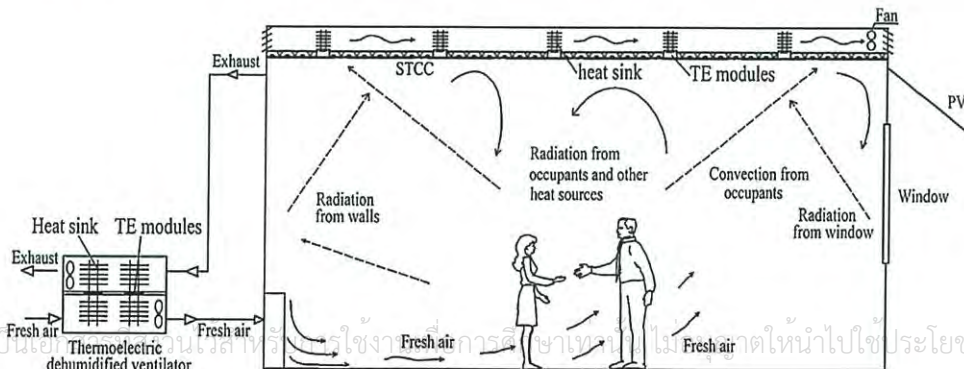


Fig. 12. Schematic diagram solar thermoelectric cooled ceiling combined with displacement ventilation system.

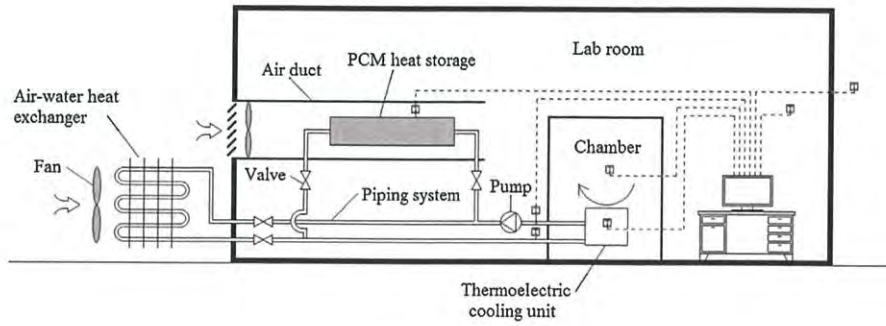


Fig. 13. Schematic diagram of the prototype thermoelectric cooling system.

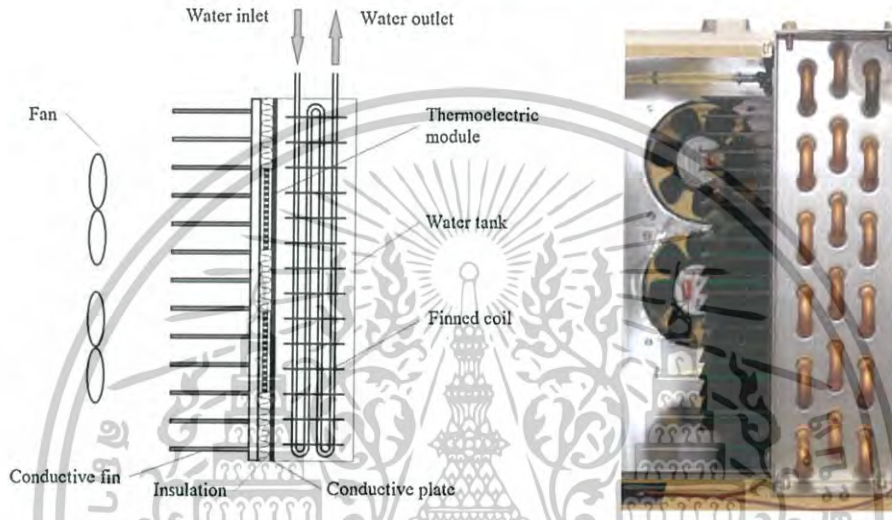


Fig. 14. Schematic diagram and photograph of the thermoelectric cooling unit.

for local weather conditions would be preferred for its advantage of using “free cooling” at night to “regenerate” the PCM.

The schematic diagram and photograph of the thermoelectric cooling unit are shown in Fig. 14. It is depicted that the thermoelectric module is sandwiched between the conductive fin and the water tank. Two axial fans are installed at the fin side to enhance convective heat transfer. A finned coil is employed in the water tank to achieve better heat exchanges. The thermoelectric module used in this study was RC12-8. PCM was RT22, which had a melting temperature of 19–23 °C (with main peak at 22 °C and heat storage capacity of 200 kJ/kg).

The experiment results showed that the average COP of the thermoelectric air conditioners was 0.8, and the maximum COP value was 1.22. The maximum cooling capacity achieved 210 W at present. Comparison experimental study showed that 35.3% electrical energy could be saved in the prototype thermoelectric cooling system by using PCM heat storage on the condition that outdoor air temperature was in the range of 30–33 °C and temperature of the conditioned space was set at 24 °C.

6. Summary

In order to build cost-effective ZEBs, the energy demand should be a minimized, which can be provided only by renewable energy. Therefore, measures that can minimize the building energy demand should be fully considered when design buildings. Fig. 15 shows the technical route of solar thermoelectric cooling technologies for use in zero energy buildings. Active solar thermoelectric building envelopes and thermoelectric low-grade energy recoveries are used to restrain the heat losses or gains of buildings

and improve energy efficiency and therefore to reduce the building energy demand to a minimum, the small amount of energy need then could be satisfied just by solar thermoelectric air conditioner. In this way only renewable energy is consumed in buildings, which fully meets the demand of ZEBs.

Due to the advantage of inherently reliable, low maintenance, silent, clean, and distributed nature, the solar thermoelectric cooling technologies can be easily integrated with buildings. Besides, the distributed nature of the thermoelectric (TE) heat pumps minimizes overall energy consumption by providing local temperature control and eliminating the energy costs associated with air circulation fans and duct losses. Therefore, applications of active building envelope, energy recovery and solar thermoelectric air conditioner in zero energy buildings are promising.

Even though the performances of solar thermoelectric cooling technologies and relevant applications cannot compete with vapor compression technologies at present, the performance of solar thermoelectric cooling system can be enhanced by improving and optimizing the heat exchanger structure and the operating parameters, because those aspects significantly affect the efficiency of the whole system. Moreover, the performance of solar thermoelectric cooling system can be improved by selecting TE and PV system with higher performances. As the efficiency of commercial available PV is about 15–20%, and the products still have a large space to improve compared with the maximum PV efficiency of 39% [46]. Meanwhile, the TE performance is closely related to the figure of merit of thermoelectric materials, ZT, the TE modules used in the present researches have a ZT of about 0.6–0.7, which is not high considering the progress of TE technology. It is achievable since the latest quantum well materials have a ZT as high as 2.4 at 300 K

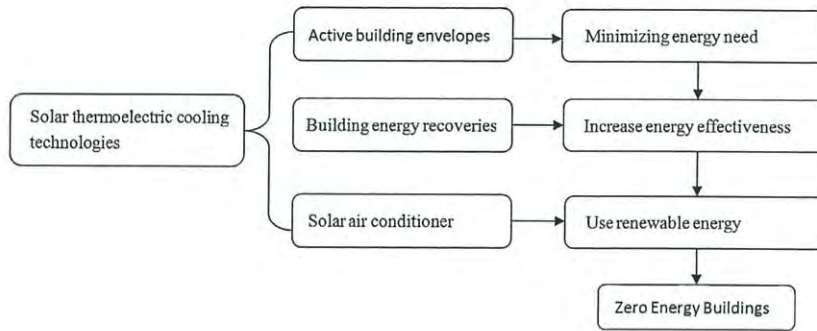


Fig. 15. Technical route of solar thermoelectric cooling technologies for use in zero energy buildings.

[47], and when TE materials have a $ZT = 2$, the COP of TE coolers can reach to the COP of vapor-compression coolers in climate-control applications [48].

In current studies, the solar thermoelectric cooling technologies were established by bulk components, such as commercially available TE and PV systems. Thermoelectric and PV industry develop rapidly along with the advent of new materials. Recent advances in thin-film TE and PV systems, and emerging researches in the area of organic TE and PV materials, offer opportunities to yield extremely thin, efficient, and low-cost thermoelectric systems. For example, when PV and TE modules are collapsed to very thin sections, the solar thermoelectric technologies might be applied in transparent building materials, such as glass.

7. Conclusions

In order to minimize the energy demands in buildings, increase energy effectiveness and reduce fossil energy consumption, the solar thermoelectric cooling technologies such as active building envelope, thermoelectric energy recovery systems and solar thermoelectric air conditioners are recommended to be used in zero energy buildings.

Active building envelope is a new thermal control technology which integrates TE modules and PV units within building envelope. It can actively control heat flux in wall and compensate for passive heat losses or gains in building envelope by using solar energy. However, it has not been actually used in buildings so far, only theoretical researches and experiment tests of a single system were made, more work should be done for its application in buildings.

Thermoelectric waste heat recovery devices have a high efficiency, such as the coefficient performance of thermoelectric ventilator can reach 4.78 in summer mode and 4.16 in winter mode, which can compete with vapor compression based applications.

The coefficient performance of the solar thermoelectric radiant air conditioning system and solar thermoelectric energy storage air conditioning system can reach 1.9 and 1.22 respectively, which are both more efficient than conventional thermoelectric cooling system with an average coefficient performance of 0.3–0.4. However, the coefficient performance is still relatively low. More efforts should be made to improve the coefficient performance of solar thermoelectric air conditioner systems in order to compete with vapor compression technologies.

The performance of solar thermoelectric cooling system can be improved by selecting TE and PV system with higher performances. The figure-of-merit ZT value of thermoelectric module is only about 0.7 at present. If the ZT factor of the thermoelectric material could be further improved and increased to, for example, 2.0 in the next decade, the COP value and energy saving of this thermoelectric cooling system would be further increased. In the near future, solar thermoelectric cooling system will make a significant

contribution, especially in zero energy buildings, in reducing fossil fuel consumption and carbon emissions.

Acknowledgements

The work described in this paper was sponsored by the National Natural Science Foundation of China 51178170, Collaborative Innovation Center of Building Energy Conservation & Environmental Control. The supports are gratefully acknowledged.

References

- [1] X. Kong, S. Lu, Y. Wu, A review of building energy efficiency in China during eleventh five-year plan period, *Energy Policy* 41 (2012) 624–635.
- [2] T.A. Nguyen, M. Aiello, Energy intelligent buildings based on user activity: a survey, *Energy Build.* 56 (2013) 244–257.
- [3] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout, A review on buildings energy consumption information, *Energy Build.* 40 (2008) 394–398.
- [4] IEA, Renewable for Heating and Cooling: Untapped Potential, OECD/IEA, France, 2007.
- [5] IPCC, Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York, 2007.
- [6] G.Q. Chen, B. Zhang, Greenhouse gas emissions in China 2007: inventory and input–output analysis, *Energy Policy* 38 (10) (2010) 6180–6193.
- [7] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), June 18, 2010.
- [8] D.H.W. Li, L. Yang, J.C. Lam, Zero energy buildings and sustainable development implications – a review, *Energy* 54 (2013) 1–10.
- [9] J.-H. Meng, X.-D. Wang, X.-X. Zhang, Transient modeling and dynamic characteristics of thermoelectric cooler, *Appl. Energy* 108 (2013) 340–348.
- [10] M.K. Russel, D. Ewing, C.Y. Ching, Characterization of a thermoelectric cooler based thermal management system under different operating conditions, *Appl. Therm. Eng.* 50 (2013) 652–659.
- [11] H. Xi, L. Luo, G. Fraisse, Development and applications of solar-based thermoelectric technologies, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 11 (5) (2007) 923–936.
- [12] L. Zhu, H. Tan, J. Yu, Analysis on optimal heat exchanger size of thermoelectric cooler for electronic cooling applications, *Energy Convers. Manage.* 76 (2013) 685–690.
- [13] Y.J. Dai, R.Z. Wang, L. Ni, Experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 77 (4) (2003) 377–391.
- [14] W. He, J. Zhou, J. Hou, C. Chen, J. Ji, Theoretical and experimental investigation on a thermoelectric cooling and heating system driven by solar, *Appl. Energy* 107 (2013) 89–97.
- [15] S.B. Riffat, X. Ma, Thermoelectric: a review of present and potential applications, *Appl. Therm. Eng.* 23 (8) (2003) 913–935.
- [16] L. Shen, F. Xiao, H. Chen, S. Wang, Investigation of a novel thermoelectric radiant air-conditioning system, *Energy Build.* 59 (2013) 123–132.
- [17] K. Rakesh, C. Lei, An experimental investigation of an inclined passive wall solar chimney for natural ventilation, *Sol. Energy* 107 (2014) 461–474.
- [18] F. Jiang, X. Wang, Y. Zhang, A new method to estimate optimal phase change material characteristics in a passive solar room, *Energy Convers. Manage.* 52 (6) (2011) 2437–2441.
- [19] Z. Yilmaz, A.B. Kundakci, An approach for energy conscious renovation of residential buildings in Istanbul by Trombe wall system, *Build. Environ.* 43 (4) (2008) 508–517.
- [20] D. Pan, M. Chan, S. Deng, Z. Lin, The effects of external wall insulation thickness on annual cooling and heating energy uses under different climates, *Appl. Energy* 97 (2012) 313–318.

- [21] R.A. Khire, A. Messac, S. Van Dessel, Design of thermoelectric heat pump unit for active building envelope systems, *Int. J. Heat Mass Transf.* 48 (2005) 4028–4040.
- [22] R.A. Khire, A. Messac, S. Van Dessel, Optimization based design of thermoelectric heat pump unit of active building envelope systems, in: 2005 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2005-82490, 2005.
- [23] S. Van Dessel, B. Foubert, Active thermal insulators: finite elements modeling and parametric study of thermoelectric modules integrated into a double pane glazing system, *Energy Build.* 42 (2010) 1156–1164.
- [24] X. Xu, S. Van Dessel, Evaluation of a prototype active building envelope window-system, *Energy Build.* 40 (2) (2008) 168–174.
- [25] R.A. Khire, A. Messac, S. Van Dessel, Study of the performance of thermoelectric modules for use in active building envelopes, *Build. Environ.* 42 (2007) 1489–1502.
- [26] X. Xu, S. Van Dessel, Evaluation of an active building envelope window-system, *Build. Environ.* 43 (2008) 1785–1791.
- [27] T. Harren-Lewis, S. Rangavajhala, A. Messac, J. Zhang, Optimization-based feasibility study of an active thermal insulator, *Build. Environ.* 53 (2012) 7–15.
- [28] M.J. Alonso, P. Liu, H.M. Mathisen, G. Ge, C. Simonson, Review of heat/energy recovery exchangers for use in ZEBs in cold climate countries, *Build. Environ.* 84 (2015) 228–237.
- [29] L.X. Pei, Z.M. Lv, L.Z. Zhang, Selective adsorption of a novel high selective desiccant for prospective use in heat and moisture recovery for buildings, *Build. Environ.* 49 (2012) 124–128.
- [30] S. Du, R.Z. Wang, Z.Z. Xia, Optimal ammonia water absorption refrigeration cycle with maximum internal heat recovery derived from pinch technology, *Energy* 68 (2014) 862–869.
- [31] B. David, J. Ramousse, L. Luo, Optimization of thermoelectric heat pumps by operating condition management and heat exchanger design, *Energy Convers. Manage.* 60 (2012) 125–133.
- [32] Y.W. Kim, J. Ramousse, G. Faisse, et al., Optimal sizing of a thermoelectric heat pump (THP) for heating energy-efficient buildings, *Energy Build.* 70 (2014) 106–116.
- [33] T. Li, G. Tang, G. Gong, G. Zhang, N. Li, L. Zhang, Investigation of prototype thermoelectric domestic-ventilator, *Appl. Therm. Eng.* 29 (2009) 2016–2021.
- [34] G.F. Tang, T. Li, L. Tang, Thermoelectric heat recovery ventilator, Chinese Invention Patent, ZL 2006 10031143.4 (August 06, 2008).
- [35] T. Han, G. Gong, Z. Liu, L. Zhang, Optimum design and experimental study of a thermoelectric ventilator, *Appl. Therm. Eng.* 67 (1–2) (2014) 529–539.
- [36] G. Gong, F. Chen, H. Su, J. Zhou, Thermodynamic simulation of S condensation heat recovery characteristics of a single stage centrifugal chiller in a hotel, *Appl. Energy* 91 (1) (2012) 326–333.
- [37] J. Jia, W.L. Lee, Applying storage-enhanced heat recovery room air-conditioner (SEHRAC) for domestic water heating in residential buildings in Hong Kong, *Energy Build.* 78 (2014) 132–142.
- [38] Z.B. Liu, L. Zhang, G.C. Gong, Y.Q. Luo, F.F. Meng, Experimental study and performance analysis of a solar thermoelectric air conditioner with hot water supply, *Energy Build.* 86 (2015) 619–625.
- [39] Q. Luo, G. Tang, Z. Liu, J. Wang, A novel water heater integrating thermoelectric heat pump with separating thermosiphon, *Appl. Therm. Eng.* 25 (14–15) (2005) 2193–2203.
- [40] G.F. Tang, Q.H. Luo, J.W. Wang, J.L. Lu, Combined heat pipe and thermoelectric water heater, Chinese Utility Model Patent ZL 02224369.0 (June, 2003).
- [41] Z. Liu, L. Zhang, M. Xu, et al., Investigation on a thermoelectric storage water heater with exhaust heat recovery from kitchens, *Acta Energ. Sol. Sin.* 32 (5) (2011) 650–654.
- [42] T.-C. Cheng, C.-H. Cheng, Z.-Z. Huang, et al., Development of an energy-saving module via combination of solar cells and thermoelectric coolers for green building applications, *Energy* 36 (1) (2011) 133–140.
- [43] J.A. Esfahani, N. Rahbar, M. Lavvaf, Utilization of thermoelectric cooling in a portable active solar still – an experimental study on winter days, *Desalination* 269 (1–3) (2011) 198–205.
- [44] Z.B. Liu, L. Zhang, G.C. Gong, Experimental evaluation of a solar thermoelectric cooled ceiling combined with displacement ventilation system, *Energy Convers. Manage.* 87 (2014) 559–565.
- [45] D. Zhao, G. Tan, Experimental evaluation of a prototype thermoelectric system integrated with PCM (phase change material) for space cooling, *Energy* 68 (2014) 658–666.
- [46] P. Bhubaneswari, S. Iniyar, G. Ranko, A review of solar photovoltaic technologies, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (3) (2011) 1625–1636.
- [47] A.J. Minnich, M.S. Dresselhaus, Z.F. Ren, G. Chen, Bulk nanostructured thermoelectric materials: current research and future prospects, *Energy Environ. Sci.* 2 (2009) 466–479.
- [48] J.P. Heremans, Low-dimensional thermoelectricity, *Acta Phys. Pol. A* 108 (2005) 609–634.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้