

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่ง
บิสมัทเทลลูไรด์แบบไร้ระบบพัดลมระบายความร้อน

PROTOTYPE DESIGN AND DEVELOPMENT OF BISMUTH TELLURIDE
THERMOELECTRIC COOLING MODULE WITHOUT COOLING FAN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2564

KMITL-2021-SC-M-030-023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROTOTYPE DESIGN AND DEVELOPMENT OF BISMUTH TELLURIDE
THERMOELECTRIC COOLING MODULE WITHOUT COOLING FAN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

KMITL-2021-SC-M-030-023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและพัฒนาต้นแบบโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก จากแท่งบิลมัทเทลลูไรด์แบบไร้ระบบพัดลมระบายความร้อน PROTOTYPE DESIGN AND DEVELOPMENT OF BISMUTH TELLURIDE THERMOELECTRIC COOLING MODULE WITHOUT COOLING FAN
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุนิศา คำมะโฮง
รหัสประจำตัว	62605041
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเงื่อนไขขนาดของแท่ง Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นที่ทำให้เกิดความต่างอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับต้นแบบโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิลมัทเทลลูไรด์แบบไร้ระบบพัดลมระบายความร้อน เมื่อพิจารณาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิได้ทันทีในด้านตรงข้ามกันของวัสดุ ทำให้สามารถนำมาประยุกต์เป็นอุปกรณ์สร้างความแตกต่างอุณหภูมิ โดยเลือกใช้ด้านอุณหภูมิต่ำของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับแผ่นทำความเย็นตามหลักการเพลเทียร์ (Peltier Effect) ได้ทำการหาเงื่อนไขของแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 โดยมีพื้นที่หน้าตัด 0.3×0.3 ซม. ที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม. พื้นที่หน้าตัด 0.5×0.5 ซม. ที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม. และพื้นที่หน้าตัด 0.7×0.7 ซม. ที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม. ตามลำดับ มีการวิจัยแผ่นดึงความร้อนโดยใช้เป็นแผ่นพอลิเมอร์คอมโพสิตชีตริวซ์กราฟีนออกไซด์ (polymer PLA/rGO) และทำการศึกษาค้นคว้าความเย็นด้วยยางพาราคอมโพสิตชีตริวซ์กราฟีนออกไซด์ (rubber/GO) เพื่อนำมาแทนระบบระบายความร้อนโมดูลทำความเย็นแบบเดิมที่มีการติดตั้งพัดลมและฮีทซิงค์เพื่อระบายความร้อน พบว่าการทดสอบค้นคว้าความเย็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ rubber/GO-0.5% มีค่าความต่างของอุณหภูมิสูงถึง 10°C และค่าการนำความร้อนอยู่ที่ $0.1227 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ สำหรับผลการทดลองโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบด้วย 1 แท่งเซลล์ ที่พื้นที่หน้าตัด 0.5×0.5 ซม. ความสูง 1 ซม. ให้ผลค่าต่างอุณหภูมิที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงสุด กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเท่ากับ 6.93 มิลลิวัตต์ เกิดความต่างของอุณหภูมิในย่านความเย็นเท่ากับ 0.8 °C จากเงื่อนไขดังกล่าวนำไปพัฒนาเป็นแผ่นทำความเย็นแบบไร้พัดลมระบายความร้อนซึ่ง 1 โมดูลประกอบไปด้วย 4 แผงเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก เกิดความต่างของอุณหภูมิในย่านความเย็นเท่ากับ 2.2 °C กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเท่ากับ 0.163 วัตต์ และนำไปประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อกพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกันน็อก ดังนั้นสรุปได้ว่าหมวกกันน็อกที่ติดตั้งโมดูลทำความเย็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อนสามารถสร้างความต่างของอุณหภูมิได้ถึง 4.0 °C และมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นเท่ากับ 0.00047 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.047%

คำสำคัญ : กราฟีนออกไซด์ เทอร์โมอิเล็กทริก บิสมัทเทลลูไรด์ เพลเทียร์ ระบบทำความเย็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Prototype Design and Development of Bismuth Telluride Thermoelectric Cooling Module Without Cooling fan
Student Name	Miss Sunisar Khammahong
Student ID	62605041
Degree	Master of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Year	2021
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Chesta Ruttanapun

Abstract

The objectives of this study were to examine the size conditions of ligament-type Bi_2Te_3 rods that provide optimum temperature difference for prototype design and development of bismuth telluride thermoelectric cooling module without cooling fan. When it comes to thermoelectric materials, energy can be changed instantly based on temperature difference on the opposite side of the material. It can be used to create temperature differences by using the thermoelectric device's low temperature, as indicated by the Peltier effect. The condition of the Bi_2Te_3 cell bars with a cross-sectional area of 0.3×0.3 cm at heights 0.5, 1.0 and 1.5 cm, cross-sectional areas 0.5×0.5 cm at heights 0.5, 1.0 and 1.5 cm, and cross-sectional areas 0.7×0.7 cm at heights of 0.5, 1.0 and 1.5 cm, respectively. Thermal pull plates are being researched as a replacement for traditional cooling plate systems employing PLA/rGO polymer plates and rubber/GO thermal insulation investigations. It was found that the best condition of thermal insulation testing was rubber/GO-0.5%, with a temperature difference of up to 10°C and a thermal conductivity of $0.1227 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. The thermoelectric cooling module, consisting of 1 cell bar with a cross-site area of 0.5×0.5 cm and a height of 1 cm, gave the highest temperature differential in the experiment. P_{in} 6.93 mW is the power applied. The cold area has a temperature differential of 0.8 degrees Celsius. From the conditions to develop into a

cooling plate without a cooling fan. The temperature differential in the cold field is 2.2 °C with the applied electric power of 0.63 watts under the conditions to build into a cooling plate without a cooling fan, where 1 module contains 4 thermoelectric cells. And applied to the helmet, it was found that the COP increased with the number of cooling modules installed in the helmet. Thus, it can be concluded that helmets equipped without cooling fan module can produce a temperature difference of 4.0 °C and a COP of 0.00047, a percentage of 0.047%.

Keywords : Bi₂Te₃, Cooling, Graphene oxide, Peltier, Thermoelectric



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้นั้นผู้ทำวิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางและกระบวนการคิดวิเคราะห์อันเป็นประโยชน์ในหลายๆส่วน และติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินวิจัย แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์ที่สุดจึงทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งปลูกฝังคุณธรรมความดีให้กับลูกศิษย์ทุกคน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และแนะนำกระบวนการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.ชัยวัฒน์ พรหมเพชร ดร.อรรถพล กาฬพันธุ์ ดร.วัฒนา ต่วยไชย นักวิจัยหลังปริญญาเอก พี่ๆ น้องๆ และสมาชิกในหน่วยวิจัยและนวัตกรรมด้านวัสดุอัจฉริยะทุกท่าน ที่คอยให้ความร่วมมือ สนับสนุน และช่วยเหลือทุกๆสิ่งรวมไปถึงให้กำลังใจทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ

ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สมัศร์ พิमानแพง อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข อาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในความกรุณาเสียสละเวลาเป็นกรรมการคุมสอบพร้อมทั้งช่วยให้คำแนะนำที่ดีและข้อเสนออันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยในการนำไปแก้ไข และปรับปรุงในงานวิจัยให้ดียิ่งขึ้นไป

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์และศูนย์เครื่องมือคณะวิศวกรรม ภาควิชาเคมี ศูนย์เครื่องมือคณะนาโนและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยอำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำและความรู้เพิ่มเติมแก่ผู้วิจัย อีกทั้งที่มีส่วนร่วมให้ความอนุเคราะห์ด้านการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงได้

ท้ายที่สุดแล้วคุณงามความดีที่เกิดจากงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นอันที่รักยิ่ง และครูบาอาจารย์ทั้งหมดที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนทุกๆท่านที่เกี่ยวข้องทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุนิศา คำมะโฮง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนการดำเนินวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความเป็นมาและลำดับเหตุการณ์สำคัญทางเทอร์โมอิเล็กทริก.....	5
2.2 ปปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect).....	8
2.2.1 ปปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect).....	9
2.2.2 ปปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect).....	10
2.2.3 ปปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect).....	12
2.3 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	12
2.4 หลักการทำงานของเครื่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก.....	14
2.4.1 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดพี.....	15
2.4.2 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดเอ็น.....	16
2.4.3 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์คู่ควบพี-เอ็น.....	17
2.5 สมบัติทั่วไปของบิลมัทเทลลูไรด์.....	19
2.6 กราฟีน.....	19
2.6.1 วิธีการสังเคราะห์กราฟีน.....	20
2.7 พอลิแลกติกเอซิด (PLA).....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.1 คุณสมบัติของ PLA	21
2.7.2 คุณสมบัติของ PLA	22
2.7.2.1 สมบัติการละลาย	22
2.7.3.2 สมบัติทางกายภาพและทางกล	22
2.7.4.3 สมบัติความร้อน	22
2.7.3 การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิด (Synthesis methods for PLA)	23
2.8 ยางพารา	23
2.9 เทคนิคการตรวจสอบที่เกี่ยวข้อง.....	24
2.9.1 การตรวจวิเคราะห์เฟสด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	24
2.9.2 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (SEM).....	25
2.9.3 เครื่องฟลูเรียวิทรานส์ฟอร์ม รามาน สเปกโตรมิเตอร์	26
2.9.4 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vicker's hardness)	27
2.9.5 เครื่องมือทดสอบสมบัติแรงดึง Universal testing machine (UTM)	28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย	32
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.3 การเตรียมฉนวนกันความร้อนจากยางพาราคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์.....	33
3.4 การพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและการกระจายความร้อนของพอลิเมอร์ ชนิดพอลิแลคติกแอซิด (PLA) คอมโพสิตกราฟีนออกไซด์	37
3.5 การเตรียมแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi ₂ Te ₃ ชนิดเอ็น	42
3.6 การศึกษาหาเงื่อนไขพื้นที่หน้าตัดและขนาดความสูงของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก จากแท่งอินก๊อท Bi ₂ Te ₃	43
3.7 การออกแบบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์แบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน	45
3.8 ขั้นตอนการทดลองโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก	50
3.9 การติดตั้งต้นแบบแผ่นทำความเย็นในหมวกกันน็อก.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	57
4.1 ผลการทดลองของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางพาราธรรมชาติคอมโพสิต กราฟีนออกไซด์ (rubber/GO)	57
4.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของยางพาราธรรมชาติและยางพาราธรรมชาติคอมโพ สิตกราฟีนออกไซด์ (rubber/GO) ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD).....	57
4.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างลักษณะสัณฐานวิทยาของยางพาราธรรมชาติคอมโพสิต กราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	58
4.1.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนของยางพาราธรรมชาติคอมโพสิต กราฟีนออกไซด์ (rubber/GO).....	59
4.1.3.1 ผลการวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของยางพาราธรรมชาติและ ยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์ด้วยการวัดความต่างของ อุณหภูมิ.....	59
4.1.3.2 ผลการวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของยางพาราธรรมชาติและ ยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิควัดค่าการ ทำความร้อน.....	63
4.2 ผลการพัฒนาพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) คอมโพสิตกราฟีนออกไซด์	64
4.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) คอมโพสิตกราฟีนออกไซด์	64
4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) คอมโพสิตกราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD).....	64
4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างลักษณะสัณฐานวิทยาและการวิเคราะห์ธาตุ ของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) คอมโพสิตกราฟีนออกไซด์ ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	65
4.2.1.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) คอมโพสิตกราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิคการศึกษาโครงสร้างหมู่ฟังก์ชัน ของโมเลกุล (FTIR)	67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลคติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี	68
4.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลคติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์	69
4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติความแข็ง (Micro hardness) ของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลคติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์	69
4.2.2.2 ผลการวิเคราะห์แรงดึง (Tensile test) ของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลคติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์	71
4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างของบิสมัทเทลลูไรด์และผลการศึกษาหาเงื่อนไขขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงของแท่งเซลล์บิสมัทเทลลูไรด์	72
4.3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของบิสมัทเทลลูไรด์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction: XRD)	72
4.3.2 ผลการวิเคราะห์เงื่อนไขขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิสมัทเทลลูไรด์อินกือท	72
4.3.2.1 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของแท่งเซลล์บิสมัทเทลลูไรด์ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.3x0.3 ซม. และที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม.	73
4.3.2.2 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของแท่งเซลล์บิสมัทเทลลูไรด์ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5x0.5 ซม. และที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม.	74
4.3.2.3 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของแท่งเซลล์บิสมัทเทลลูไรด์ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.7x0.7 ซม. และที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม.	74
4.4 ผลการทดลองหาเงื่อนไขพื้นที่และความสูงที่เหมาะสมสำหรับการจ่ายกำลังไฟฟ้าและการกระจายอุณหภูมิของแท่งเซลล์	75
4.5 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์	
1 แท่งเซลล์	77
4.5.1 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์	
1 แท่งเซลล์ ที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นดึงความร้อน	77
4.5.2 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์	
1 แท่งเซลล์ ที่มีการติดตั้งแผ่นดึงความร้อน	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์	
2 แท่งเซลล์	79
4.6.1 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์	
2 แท่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม	79
4.6.2 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์	
2 แท่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน.....	80
4.7 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แท่งเซลล์	
เพื่อเป็นต้นแบบแผ่นโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	81
4.7.1 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แท่ง	
เซลล์ในระบบเปิด.....	81
4.7.2 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แท่ง	
เซลล์ในระบบปิด.....	82
4.7.2.1 ผลการทดลองความต่างอุณหภูมิของโมดูลในห้องปริมาตร 75 cm ³	82
4.7.2.2 ผลการทดลองความต่างอุณหภูมิของโมดูลในห้องปริมาตร 120 cm ³	84
4.7.2.3 ผลการทดลองความต่างอุณหภูมิของโมดูลในห้องปริมาตร 180 cm ³	86
4.8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราความร้อนไหล	
เข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_c) ของต้นแบบโมดูลทำความเย็น.....	88
4.8.1 อัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_c) ของต้นแบบโมดูลทำความเย็น	
ในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm ³ แบบไม่มีพัดลม.....	89
4.8.2 อัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_c) ของต้นแบบโมดูลทำความเย็น	
ในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm ³ แบบไม่มีพัดลม.....	90
4.8.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของต้นแบบโมดูลทำความเย็น	
ในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm ³ แบบไม่มีพัดลม.....	91
4.8.4 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของต้นแบบโมดูลทำความเย็น	
ในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm ³ แบบมีพัดลม.....	92
4.9 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลแผ่นทำความเย็นที่ทำการ	
ประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก.....	93

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.9.1 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลแผ่นทำความเย็น 1 โมดูล ที่ทำการ ประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก.....	93
4.9.2 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลแผ่นทำความเย็น 2 โมดูล ที่ทำการ ประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก.....	94
4.9.3 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลแผ่นทำความเย็น 3 โมดูล ที่ทำการ ประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก.....	95
4.10 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราการร้อน ไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) ของโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกันน็อก	96
4.10.1 อัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) ของโมดูลทำความเย็น ที่ติดตั้งในหมวกกันน็อก.....	96
4.10.2 สัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็น (COP) ของโมดูลทำความเย็น ที่ติดตั้งในหมวกกันน็อก.....	97
4.11 ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกันน็อกสวมใส่จริง.....	98
4.11.1 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิในหมวกกันน็อกสวมใส่จริง	98
4.11.1 อัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) และสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ความเย็น (COP) ในหมวกกันน็อกสวมใส่จริง.....	100
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	101
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	101
5.2 ข้อเสนอแนะ	102
เอกสารอ้างอิง.....	103
ภาคผนวก	107
ภาคผนวก ก	108
ภาคผนวก ข	115
ภาคผนวก ค	120
ภาคผนวก ง.....	137
ประวัติผู้เขียน.....	155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินวิจัย	4
2.1 แสดงลำดับเหตุการณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริก	5
2.2 แสดงสมบัติทั่วไปของบิลมัทเทลลูไรด์	19
3.1 ขนาดห้องของการทดลองและตำแหน่งวัดของอุณหภูมิ.....	52
4.1 การทดลองหาเงื่อนไขพื้นที่และความสูงที่เหมาะสมสำหรับการจ่ายกำลังไฟฟ้าและผลความ ต่างอุณหภูมิของแท่งเซลล์	71
4.2 ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน	88



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การทดลองของ Thomas Seebeck.....	9
2.2 ปรากฏการณ์ซีเบคบนเส้นลวดเหล็กที่ต่ออยู่กับเส้นลวดทองแดง	9
2.3 แผนภาพปรากฏการณ์เพลเทียร์.....	10
2.4 โครงสร้างของโมดูลเพลเทียร์.....	11
2.5 เพลเทียร์แต่ละแบบ	11
2.6 ปรากฏการณ์ทอมสัน.....	12
2.7 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	13
2.8 กลไกการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์.....	13
2.9 กลไกการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลิ่ง	14
2.10 กลไกการทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดพี.....	15
2.11 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดเอ็น n-type	16
2.12 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์คู่ควบพี-เอ็น	17
2.13 โครงสร้างของแกรไฟต์และกราไฟน.....	20
2.14 การสังเคราะห์กราไฟนด้วยวิธี Chemical vapor deposition (CVD)	21
2.15 โครงสร้างโมเลกุล D และ L ของ Lactic acid.....	21
2.16 แผนภาพแสดงวิธีการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลสูง	23
2.17 โครงสร้างของซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene)	23
2.18 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์	25
2.19 เครื่อง Scanning electron microscope (SEM).....	26
2.20 เครื่องฟลูอริเมตริคสเปกโตรเมทรี รามาน สเปกโตรมิเตอร์.....	27
2.21 เครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	28
2.22 ลักษณะของชิ้นงานและผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบแรงดึง UTM	28
3.1 ขั้นตอนการผลิตพาราและกราไฟนออกไซด์.....	34
3.2 ตัวอย่างพาราสมกราไฟนออกไซด์ในพิมพ์บล็อก	34
3.3 แผ่นยารพาราสมกราไฟนออกไซด์แห้ง	35
3.4 ภาพถ่ายจากกล้องอินฟราเรด (Thermal imaging camera)	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 อุปกรณ์ทดลองการกระจายความร้อนด้วยกล้องอินฟราเรด.....	36
3.6 แผนผังขั้นตอนวิธีการทดลองยางพาราคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์.....	36
3.7 การผสมพอลิเมอร์ PLA/GO ตามเงื่อนไขของปริมาณการเติมกราฟีนออกไซด์ 0.01, 0.05, 0.1, และ 0.5 % โดยน้ำหนัก	37
3.8 การไล่ความชื้นด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	37
3.9 ผงพอลิเมอร์ผสมกราฟีนออกไซด์ PLA, PLA/GO-0.01%, PLA/GO-0.05%, PLA/GO-0.1% และ PLA/GO-0.5%.....	38
3.10 การอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องอัดร้อนด้วยแม่พิมพ์.....	38
3.11 การตัดขึ้นรูปด้วยเครื่องตัดขึ้นรูปดัมเบล	39
3.12 ขนาดตัวอย่างที่ทำการอัดขึ้นรูปดัมเบล	39
3.13 การตัดขึ้นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 10x10x2 มิลลิเมตร	40
3.14 แผนผังขั้นตอนวิธีการทดลองพอลิแลกติกเอซิดคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์	41
3.15 แท่งอินก๊อท Bi ₂ Te ₃ ชนิดเอ็น.....	42
3.16 แท่งเซลล์ที่ตัดจากแท่งอินก๊อท Bi ₂ Te ₃	42
3.17 เครื่องขัดสาร	42
3.18 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi ₂ Te ₃	43
3.19 ขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงของแท่งเซลล์ Bi ₂ Te ₃ ก) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.3x0.3 ซม. ที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม. ข) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5x0.5 ซม. ที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม. ค) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.7x0.7 ซม. ที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม.....	43
3.20 แท่งเซลล์ Bi ₂ Te ₃ ที่ต่อขั้วไฟฟ้าแล้ว.....	44
3.21 อุปกรณ์ยึดแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก	44
3.22 ชุดอุปกรณ์ในการทดสอบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแท่งเซลล์ Bi ₂ Te ₃	44
3.23 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi ₂ Te ₃ ขนาดพื้นที่ 0.5x0.5 ซม. ที่ความสูง 1.0 ซม.	45
3.24 (ก) เครื่องพิมพ์สามมิติและบล็อกพอลิเมอร์สำหรับใส่แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก (ข) การต่อขั้วโดยบัดกรีสายไฟให้เชื่อมติดกับ 1 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก	46
3.25 ส่วนประกอบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi ₂ Te ₃ ที่ประกอบด้วย 1 เซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.26 (ก) ส่วนประกอบของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi ₂ Te ₃ ต่อขนาน 2 แห่งเซลล์ เทอร์โมอิเล็กทริก (ข) ส่วนประกอบของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi ₂ Te ₃ ต่ออนุกรม 2 แห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก.....	48
3.27 (ก) ขั้นตอนในการประกอบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi ₂ Te ₃ 4 แห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก (ข) ส่วนประกอบของต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแห่งเซลล์ Bi ₂ Te ₃ ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน	50
3.28 รูปแสดงตำแหน่งวัตถุอุณหภูมิของแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในห้องการทดลอง	51
3.29 ชุดอุปกรณ์ในการทดลองต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ จากแห่งเซลล์ Bi ₂ Te ₃ ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน	53
3.30 แนวคิดในการออกแบบหมวกกันน็อกติดตั้งแผ่นทำความเย็นแบบไร้ระบบระบายความร้อน	54
3.31 การติดตั้งจริงในหมวกกันน็อกติดตั้งแผ่นทำความเย็นแบบไร้ระบบระบายความร้อน	54
3.32 แผนผังการเชื่อมต่อห้องปิดในหมวกกันน็อก	55
3.33 ปริมาตรของห้องปิดในหมวกกันน็อก	55
3.34 อุปกรณ์ในการทดสอบวัตถุอุณหภูมิในหมวกกันน็อก.....	56
4.1 รูปแบบ XRD ของ rubber และ rubber/GO ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0%.....	58
4.2 ภาพ SEM ของ natural rubber และ rubber/GO ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0%	58
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของแผ่นยางพาราธรรมชาติ	59
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของยางพารา/GO-0.05 %	60
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของยางพารา/GO-0.1 %.....	61
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของยางพารา/GO-0.5 %.....	61
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของยางพารา/GO-1.0 %.....	62
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างอุณหภูมิและเวลาของแผ่นยางพาราธรรมชาติ และแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0 %	63
4.9 แสดงค่าการนำความร้อนของแผ่นยางพาราธรรมชาติและแผ่นยางพาราธรรมชาติ คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0 %	64
4.10 รูปแบบ XRD ของ PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%	65
4.11 ภาพ SEM ของตัวอย่างผง PLA และผง PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%	66
4.12 ภาพ EDS Mapping ของตัวอย่างผง PLA และผง PLA/GO ที่ 0.05% และ 0.5%	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 แสดงเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนของตัวอย่าง PLA และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% ด้วยเทคนิค FT-IR	68
4.14 สเปกตรัมรามานของตัวอย่าง PLA และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%	69
4.15 แสดงค่าความยาวเส้นแรงแยงมุมเฉลิยของ PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%	70
4.16 แสดงค่าค่าความแข็งวิกเกอร์ของ PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%	70
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของ PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%	71
4.18 รูปแบบ XRD ของอินกือทบิสมัสเทลลูไรด์	72
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของอุณหภูมิและเวลา ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.3x0.3 เซนติเมตร ที่ความสูง 0.5, 1.0 and 1.5 เซนติเมตร	73
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิและเวลา ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5x0.5 เซนติเมตร ที่ความสูง 0.5, 1.0 and 1.5 เซนติเมตร	74
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิและเวลา ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.7x0.7 เซนติเมตร ที่ความสูง 0.5, 1.0 and 1.5 เซนติเมตร	75
4.22 ภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิของแท่งเซลล์บิสมัสเทลลูไรด์	76
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัสเทลลูไรด์ 1 แท่งเซลล์ ที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นดึงความร้อน	77
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัสเทลลูไรด์ 1 แท่งเซลล์ ที่มีการติดตั้งแผ่นดึงความร้อนและภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิ ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน	78
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัสเทลลูไรด์ 2 แท่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม	79
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัสเทลลูไรด์ 2 แท่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน	80
4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างอุณหภูมิและเวลาของการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม และการต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัสเทลลูไรด์ 2 แท่งเซลล์	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน	82
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในห้องปริมาตร 75 cm ³	83
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในห้องปริมาตร 75 cm ³ แบบมีพัลลภระบายความร้อน	84
4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในห้องปริมาตร 120 cm ³	85
4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในห้องปริมาตร 120 cm ³ แบบมีพัลลภระบายความร้อน	86
4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในห้องปริมาตร 180 cm ³	87
4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในห้องปริมาตร 180 cm ³ แบบมีพัลลภระบายความร้อน	88
4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนที่ไหลด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) และเวลา ของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm ³ แบบไม่มีพัลลภ	90
4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนที่ไหลด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) และเวลา ของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm ³ แบบไม่มีพัลลภ	91
4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็น (COP) และเวลา ของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm ³ แบบไม่มีพัลลภ	92
4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็น (COP) และเวลา ของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm ³ แบบไม่มีพัลลภ	93
4.39 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลแผ่นทำความเย็น 1 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก	94
4.40 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลแผ่นทำความเย็น 2 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก	95
4.41 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลแผ่นทำความเย็น 3 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ Q_c กับเวลา ของโมดูลทำความเย็นในห้องปิดในหมวกกันน็อก	97
4.43 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) กับเวลา ของโมดูลทำความเย็นในห้องปิดในหมวกกันน็อก	98
4.44 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อกที่สวมใส่จริง	99
4.45 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลแผ่นทำความเย็น 3 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก.....	99
4.46 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q_c , COP และเวลาของอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อกที่สวมใส่จริง ..	100

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์อีกหนึ่งรูปแบบในการนำมาใช้ทำระบบความเย็น ในลักษณะการใช้งานแบบที่ใช้กับระบบทำความเย็นที่ใช้คอมเพรสเซอร์ คือการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่ง การทำความเย็นในรูปแบบนี้ไม่ต้องใช้คอมเพรสเซอร์ หรือกลไกขับเคลื่อนใดๆ และไม่ต้องใช้สารทำความเย็นหรือตัวกลางอื่นๆ เพราะเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านสารกึ่งตัวนำหลักการดังกล่าวมีชื่อว่า Thermoelectric Cooler Peltier [1] ซึ่งสามารถสร้างความเย็นด้านหนึ่งและปล่อยความร้อนออกมาอีก ด้านหนึ่งเพียงแค่จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบเท่านั้น

พิจารณาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิได้ทันทีในด้านตรงข้ามกันของวัสดุ ถูกเรียกว่า Peltier effect [2-4] ทำให้สามารถนำมาประยุกต์เป็น อุปกรณ์สร้างความแตกต่างอุณหภูมิ โดยเลือกใช้ด้านอุณหภูมิต่ำของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับ สร้างโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก อย่างไรก็ตามมีหลายงานวิจัยที่นำโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้งานในระบบทำความเย็น มีการนำโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกมาติดตั้ง ในหมวกกันน็อกทำความเย็น [5-8] โดยปกติในการทำความเย็นในกรณีที่ติดตั้งแผ่นทำความเย็นหรือแผ่นเพลเทียร์จะต้องมีการติดตั้งพัดลมระบายความร้อน เพราะเมื่อมีการจ่ายกระแสตรงเข้าตัวแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกทำความเย็นจะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนขึ้นทำให้ด้านหนึ่งร้อน และอีกด้านหนึ่งจะ ร้อนถึง 90 องศา ดังนั้นจึงควรมีระบบระบายความร้อนไม่ให้มันร้อนเกินจนเกิดความเสียหายขึ้นได้ ใน โมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกทั่วไปจะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ทั้งแผ่นทำความเย็นหรือแผ่นเพลเทียร์และระบบพัดลมระบายความร้อน ทำให้การติดตั้งยากและสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวข้างต้นนี้จึงได้มีการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ที่จะมาช่วยแก้ปัญหา โดย งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน ระบบระบายความร้อนของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์มีขนาดเล็ก บาง กะทัดรัด และชิ้นส่วนน้อยกว่าระบบทำความเย็นโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกทั่วไป นอกจากนี้ระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกไม่มีส่วนประกอบที่ต้องเคลื่อนที่เชิงกล ช่วยลดการสูญเสียพลังงานและสามารถทำความเย็นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในระบบทำความเย็นรูปแบบ ใหม่จะออกแบบแผ่นทำความเย็นโดยไม่มีพัดลมระบายความร้อนและไม่มีแผ่น Heat sink ได้ออกแบบ แผ่นกระจายความร้อนแทนโดยใช้แผ่นพอลิเมอร์ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไว้ดึงความร้อนแทนและได้ ศึกษาเงื่อนไขขอความเป็นฉนวนของยางพาราคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อน ระหว่างสองฝั่งของต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์เป็นการช่วยลดการสูญเสียพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับระบบทำความเย็นนี้ โดยการต่อวงจรไฟฟ้าจ่ายกระแสให้กับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก จะใช้เป็นกระแสตรง (DC Power) สามารถใช้ ถ่านไฟ เพาเวอร์แบง ตัวเก็บประจุยิ่งยวดจ่ายไฟฟ้าเข้ากับระบบได้โดยตรงไปยังโมดูลแผ่นความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ชนิดเอ็น ซึ่งต้องออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าให้เหมาะสมกับโมดูลแผ่นความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อความสะดวกในการใช้งานได้จริง สำหรับการใช้งานของต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ที่เราได้พัฒนาขึ้นมา มีวัตถุประสงค์เพื่อ การทำความเย็นในรูปแบบใหม่ที่ไม่มียุทธศาสตร์ระบายความร้อน ในการนำไปใช้งานหลากหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น การใช้เพื่อทำความเย็นให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เฉพาะจุด ซึ่งเป็นการนำมาใช้ทดแทน คอมเพลสเซอร์ แต่ในตอนนี้อยู่ที่เทียบประสิทธิภาพของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ก็ยังเป็นรองระบบ ความเย็นที่ใช้คอมเพลสเซอร์อยู่หลายเท่า ดังนั้นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จึงเหมาะแก่การใช้งาน บางประเภทเท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาโมดูลแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิทมัสเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) ชนิดเอ็นโดยไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน
- 2) เพื่อศึกษาเงื่อนไขขนาดพื้นที่หน้าตัดและขนาดความสูงที่เหมาะสมของแท่งบิทมัสเทลลูไรด์ ชนิดเอ็นสำหรับเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกในการออกแบบแผ่นทำความเย็น
- 3) เพื่อศึกษาความเป็นฉนวนกั้นความร้อนของยางพาราคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์และปรับปรุง พัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตกราฟีนออกไซด์สำหรับประกอบโมดูลแผ่นทำความเย็น เทอร์โมอิเล็กทริก
- 4) เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นของแผ่นโมดูลแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก และประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ทำการออกแบบแผ่นโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิทมัสเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) ชนิดเอ็นโดยไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน
- 2) ทำการศึกษาเงื่อนไขพื้นที่หน้าตัดและขนาดความสูงที่เหมาะสมของแท่งบิทมัสเทลลูไรด์ชนิด เอ็นสำหรับเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกในการออกแบบแผ่นทำความเย็น
- 3) ทำการศึกษาความเป็นฉนวนของยางพาราคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์เพื่อนำมาประกอบเป็น ฉนวนกั้นความร้อนและปรับปรุงพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตกราฟีนออกไซด์สำหรับ เป็นบล็อกประกอบโมดูลแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นของแผ่นโมดูลแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก และประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) มีความรู้ความเข้าใจหลักการกลไกการทำงานของระบบของโมดูลแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) ชนิดเอ็น

2) ทราบถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมของแท่งบิสมัทเทลลูไรด์เพื่อเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับใช้ในระบบทำความเย็น

3) ทราบถึงคุณสมบัติการเป็นฉนวนของยางพาราเมื่อเติมกราฟีนออกไซด์ 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 % สำหรับประกอบเป็นฉนวนกันความร้อนของโมดูลแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

4) ทราบถึงคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ PLA เมื่อทำการผสมเติมกราฟีนออกไซด์ 0.01, 0.05, 0.1, และ 0.5 % สำหรับเป็นบล็อกประกอบโมดูลแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

5) ทราบถึงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นของแผ่นโมดูลแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก และประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอน	ระยะเวลา					
	ส.ค.- ก.ย. 2563	ต.ค.- พ.ย. 2563	ธ.ค.- ม.ค. 2564	ก.พ.- มี.ค. 2564	เม.ย.- พ.ค. 2564	มิ.ย.- ก.ค. 2564
	1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง					
2.เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย						
3. สังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide (GO))						
4. เตรียมฉนวนยางพาราคอมโพสิต GO						
5. ปรับปรุงพัฒนาพอลิเมอร์ PLA คอมโพสิต GO						
6. เตรียมแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi ₂ Te ₃ พร้อมทั้งทดสอบหาเงื่อนไข						
7. ประกอบแผ่นโมดูล						
8. นำตัวอย่างพอลิเมอร์ส่งวัดค่า XRD, FTIR, SEM, Raman, TGA. Tensile, Micro hardness						
9. นำตัวอย่างพอลิเมอร์วัดค่าการนำความร้อน						
10. นำโมดูลติดตั้งในหมวกและหาค่า COP ของโมดูล						
11. วิเคราะห์และสรุปผล						
12. นำเสนองานวิจัย						
13.เขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมาและลำดับเหตุการณ์สำคัญทางเทอร์โมอิเล็กทริก

องค์ความรู้ในศาสตร์ด้านเทอร์โมอิเล็กทริกได้มีการค้นพบและพัฒนาโดยเริ่มตั้งแต่ช่วงต้นศตวรรษที่ 18 ที่มีการค้นพบปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เชื่อมโยง และควบคู่กันระหว่างปรากฏการณ์เชิงความร้อนและปรากฏการณ์ไฟฟ้าในวัสดุของแข็ง โดยมีประวัติรายละเอียดของผู้ค้นพบดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงลำดับเหตุการณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริก

ปี ค.ศ.	เหตุการณ์สำคัญ
1821	โธมัส จอห์น ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) พบว่าวงจรถูกทำมาจากโลหะสองชนิดที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดศักย์ทางไฟฟ้าขึ้นที่รอยต่อเมื่อเกิดผลต่างอุณหภูมิ ซึ่งเรียกว่า “ปรากฏการณ์ซีเบค”
1822	ฌ็อง บาทิสต์ โฌแซ็ฟ ฟูรีเย (Jean Baptiste Joseph Fourier) สร้างสมการคณิตศาสตร์ที่อธิบายการนำความร้อน โดยเมื่อเกิดเกรเดียนต์ของอุณหภูมิขึ้นในวัสดุ ความร้อนจะเกิดการนำในรูปของความหนาแน่นของกระแสความร้อน (Heat current density) ในวัสดุเรียกว่า กฎของฟูรีเยร์ (Fourier’s law)
1823	ฮานส์ คริสเตียน เออร์สเตด (Hans Christian Oersted) ได้อธิบายรายงานผลการทดลองของซีเบคให้ถูกต้องและเริ่มใช้คำว่า “เทอร์โมอิเล็กทริก” เป็นครั้งแรก ปรากฏการณ์เอฮาสเตดและฟูรีเยร์ได้ร่วมมือกันจนสามารถสร้างขึ้นต่อตามหลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกได้สำเร็จเป็นครั้งแรก
1827	โอห์ม (Georg Simon Ohm) ได้รายงานว่ามีมีความต่างศักย์ไฟฟ้าถูกทำให้เกิดขึ้นระหว่างด้านปลายทั้งสองข้างของตัวนำ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำนั้น โดยขนาดปริมาณนั้นสัมพันธ์แบบเชิงเส้นต่อกัน เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า กฎของโอห์ม (Ohm’s law)
1834	ฌอง ชาร์ล เอฮานส์ เพลเทียร์ (Jean Charles Ahanse Peltier) พบว่าเมื่อให้กระแสไฟฟ้าตรงไปยังวงจรถูกทำมาจากโลหะสองชนิดที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดด้านร้อนและด้านเย็นขึ้นที่รอยต่อ ซึ่งเรียกว่า “ปรากฏการณ์เพลเทียร์” ซึ่งเป็นหลักการที่นำมาใช้สร้าง TEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี ค.ศ.	เหตุการณ์สำคัญ
1838	เลนซ์ (Heinrich Lenz) ได้แสดงให้เห็นทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้ามีผลต่อการทำความเย็นและความร้อน เขาสามารถแสดงให้เห็นว่ากระแสไฟฟ้าสามารถถูกดูดเอาความร้อนที่รอยต่อของโลหะต่างชนิดกันจนทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งได้ และเมื่อให้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลตรงกันข้าม ก็จะสามารถละลายน้ำแข็งได้ ดังนั้นทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเป็นการกำหนดการปล่อยหรือดูดความร้อนที่รอยต่อโลหะโดยสัดส่วนของความร้อนต่อกระแสไฟฟ้าจะสัมพันธ์ ต่อมาได้ถูกเรียกว่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์
1841	จูล (James Prescott Joule) เป็นผู้ค้นพบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำก็จะทำให้มีความร้อนถูกปล่อยออกมาโดยไม่ขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า แต่ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าอย่างเดียว
1854	วิลเลียม ทอมสัน (William Thomson) ได้ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ซีเบคและปรากฏการณ์เพลเทียร์ โดยใช้ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์อธิบายจนเกิดเป็นปรากฏการณ์ทอมสัน
1909- 1911	เอ็ดมันด์ ออเทินเกิร์ส (Edmund Altenkirch) ได้ทำการแสดงการคำนวณเชิงทฤษฎีของ TEG และ TEC สรุปได้ว่า วัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคและสภาพนำไฟฟ้าที่สูง แต่มีค่าสภาพนำความร้อนต่ำ
1928	อับราม เฟโดโรวิช ไออออฟเฟ (Abram Fedorovich Ioffe) ได้เริ่มต้นพัฒนาทฤษฎีใหม่ๆ ทางฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เพื่อที่จะมาอธิบายการแปลงพลังงานทางเทอร์โมอิเล็กทริก
1947	มาเรีย เทลเคส (Maria Telkes) ได้สร้างเครื่อง TEG ตัวแรกที่มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานได้ถึง 5%
1949	อับราม เฟโดโรวิช ไออออฟเฟ (Abram Fedorovich Ioffe) ริเริ่มใช้ค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอร์ริต (Figure of Merit : z) ที่บ่งบอกประสิทธิภาพวัสดุและอุปกรณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริก
1954	จูเลียน โกลด์สไมด์ (Julian Goldsmid) ได้ทำพื้นผิวมีความเย็น 0°C ด้วย TEC โดยใช้วัสดุทางเทอร์โมอิเล็กทริกบิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี ค.ศ.	เหตุการณ์สำคัญ
1959	บริษัท Westinghouse ได้ทำการเปิดตัวตู้เย็นขนาดใหญ่ โดยใช้วัสดุบิสมัท-เทลลูไรด์แต่ไม่ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์เนื่องจากมีราคาที่สูงมาก
1959	เกิดเครื่อง TEG จากกัมมันตภาพรังสีที่มีชื่อว่า “SNAP 3” หลังจากนั้น 2 ปี อุปกรณ์ตัวนี้ได้ถูกติดตั้งในยานอวกาศเพื่อสนับสนุนการทำงานของระบบ Transit 4A ซึ่งเป็นระบบนำทางชนิดแรกที่ใช้กับดาวเทียมที่โคจรอยู่รอบโลก
1968	SNAP-19 กลายเป็นเครื่อง TEG ตัวแรกที่ได้ติดตั้งไปกับยานอวกาศที่ถูกส่งไปทำภารกิจขององค์กร NASA ทั้งนี้เทอร์โมอิเล็กทริกพิสูจน์ให้เห็นถึงการให้พลังงานเมื่อยานอวกาศอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ในระยะไกล
1970	เครื่องกระตุ้นหัวใจตัวแรกที่ได้รับพลังงานจากเครื่อง TEG จากกัมมันตภาพรังสีของไอโซโทปขนาดเล็กสร้างโดยบริษัท Medtronic ถูกฝังเข้าไปในร่างกายมนุษย์ครั้งแรกที่ประเทศฝรั่งเศส
1977	องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ได้เปิดตัว Voyagers 1 และ 2 โดยใช้พลังงานจาก MHW-RTG3 ซึ่งเป็นเครื่อง TEG ที่ทำจากวัสดุซิลิกอนเจอร์-มาเนียม (SiGe)
1993	D. Hicks และ M.S. Dresselhaus ได้เสนอแนวคิดใหม่ที่ระบุว่านาโนเทคโนโลยีมีความสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพทางวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีโครงสร้างแบบมิติล่าง ซึ่งจะนำไปสู่ยุคใหม่ทางการวิจัยในศาสตร์นี้
1995	จอห์น แฟร์แบงส์ (John Fairbanks) วิศวกรที่กระทรวงพลังงานของสหรัฐฯ ได้พัฒนาเครื่อง TEG สำหรับเครื่องยนต์ในรถยนต์ หลังจากบริษัท Porsche ได้ทำตัวต้นแบบขึ้นไว้โดยใช้วัสดุไอรอนซิลิไซด์ (FeSi)
1998	บริษัท Seiko ได้เปิดตัวนาฬิกา Thermic ซึ่งเป็นนาฬิกาตัวแรกที่ใช้พลังงานความร้อนจากร่างกายมนุษย์ โดยใช้วัสดุบิสมัทเทลลูไรด์เป็นส่วนประกอบในการดำเนินพลังงาน
1999	บริษัท Amerigon ได้ทำเบาะนั่งตัวแรกที่ทำให้ความเย็นได้ด้วย TEC ในรถยนต์ยี่ห้อ Lincoln รุ่น Navigator และยี่ห้อ Toyota รุ่น Lexus โดยใช้วัสดุบิสมัทเทลลูไรด์
2001	สถาบันวิจัย RTI ได้เผยให้เห็นถึงการพัฒนาประสิทธิภาพวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผ่านๆมาในช่วง 40 ปี โดยใช้วัสดุในระดับนาโนโครงสร้างนาโนจะนำไปศึกษาในกลุ่มวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกต่างๆ เช่น Tellurides, Skutterudites, Half Heuslers, Silicides และ Silicon ซึ่งก่อให้เกิดวัสดุใหม่ๆที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี ค.ศ.	เหตุการณ์สำคัญ
2004	กระทรวงพลังงานของสหรัฐฯ ได้ร่วมมือกับบริษัท General Motors, BMW, Caterpillar, และอื่นๆ มีแผนการเงินทุนสร้างเครื่อง TEG สำหรับรถยนต์
2007	แดรอสเซลฮัส (M.S. Dresselhaus) เป็นผู้เสนอแนวคิดใหม่สำหรับการพัฒนาโดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีต้องเป็นแบบโครงสร้างแบบมิติต่ำ
2008	ชไนเดอร์ (M.S. Snyder) เป็นผู้เสนอแนวคิดใหม่สำหรับการพัฒนาโดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างแบบซับซ้อน เสนอในผลงานตีพิมพ์เรื่อง “Complex Thermoelectric materials”
2013	Voyager 1 กลายเป็นวัตถุชิ้นแรกที่มีมนุษย์สร้างขึ้นที่จะออกจากระบบสุริยะจักรวาลและเข้าสู่ห้วงอวกาศ หลังจากที่ถูกขับเคลื่อนอย่างต่อเนื่องโดยเครื่อง TEG เป็นเวลา 36 ปี

2.2 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect) [9]

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ที่พบในวัสดุของแข็ง มีลักษณะเป็นการคู่ควบกันระหว่างปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและปรากฏการณ์ทางความร้อน ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน นั่นคือสามารถทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นในระบบได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิและขณะเดียวกันปรากฏการณ์นี้ยังสามารถเปลี่ยนจากพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้เช่นกัน นั่นคือสามารถเปลี่ยนความแตกต่างของอุณหภูมิความร้อนในระบบให้เกิดเป็นกระแสไฟฟ้า ดังนั้นปรากฏการณ์นี้จึงเป็นปรากฏการณ์ที่สามารถย้อนกลับระหว่างความร้อนและไฟฟ้าได้ สำหรับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกนี้มีปรากฏการณ์พื้นฐานที่สำคัญอยู่ 3 ปรากฏการณ์ โดยมีรายละเอียดของการค้นพบแต่ละปรากฏการณ์ดังนี้

1. ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

“เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด”

2. ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect)

“เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้น หรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า”

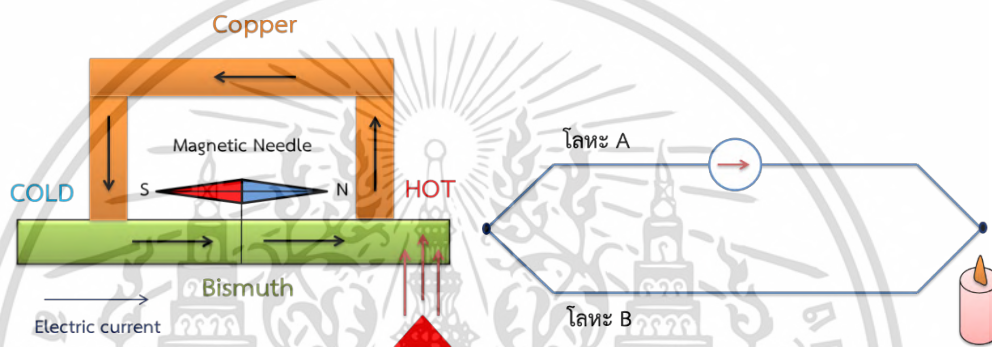
3. ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect)

“เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าสองจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ทิศทางความร้อนขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจากจุดเย็นไปจุดร้อนหรือจากจุดร้อนไปจุดเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

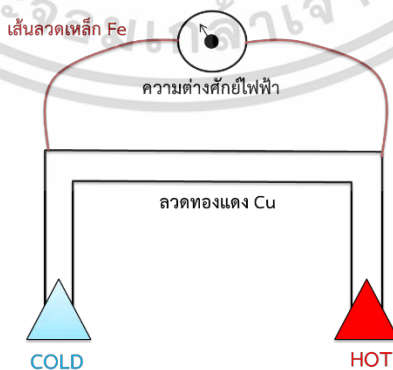
2.2.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

ในปี ค.ศ. 1821 นักฟิสิกส์ชาวเอสโตเนีย ชื่อ Thomas Johann Seebeck ได้ค้นพบโดยบังเอิญว่า ถ้าให้ความร้อนที่รอยต่อของโลหะ 2 ชนิด จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของโลหะดังแสดงในรูปที่ 2.1 เนื่องจากกลุ่มอิเล็กตรอนในโลหะด้านร้อนจะมีพลังงานจลน์สูงกว่าและเคลื่อนที่ได้เร็วกว่ากลุ่มอิเล็กตรอนโลหะด้านเย็น ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณอิเล็กตรอนที่ปลายโลหะ Seebeck ได้สรุปว่าความแตกต่างของอุณหภูมิมีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในโลหะ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)



รูปที่ 2.1 การทดลองของ Thomas Seebeck

ปรากฏการณ์ซีเบคเกิดขึ้นเมื่อเกิดความต่างของอุณหภูมิตั้งสองข้างของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก กล่าวคือปลายด้านหนึ่งของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเกิดความร้อนและปลายอีกด้านหนึ่งเย็น ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมปลายทั้งสองข้างของวัสดุดังแสดงในรูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์นี้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิและศักย์ไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองด้านของวัสดุ โดยที่ความต่างศักย์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต่างของอุณหภูมิ



รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์ซีเบคบนเส้นลวดเหล็กที่ต่ออยู่กับเส้นลวดทองแดง

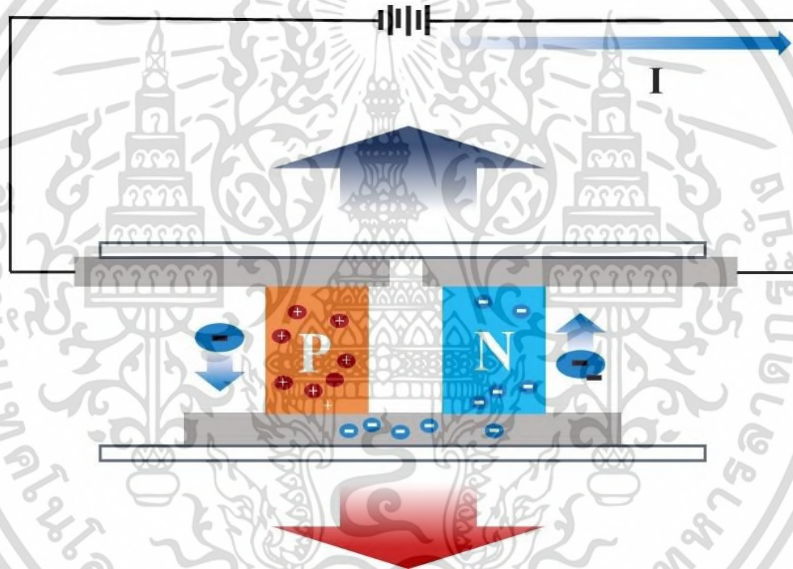
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของวัสดุที่เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient : α) ตามสมการดังนี้

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2.1)$$

2.2.2 ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect) [10-11]

ต่อมาในปี ค.ศ 1834 Jean Charles Athanase Peltier พบว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกันกับที่ซีเบคสร้างขึ้นจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ปลายขั้วทั้งสอง โดยที่ปลายขั้วข้างหนึ่งจะเย็นและอีกข้างหนึ่งจะร้อนเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier Effect) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยค่าการทำความเย็นที่ปลายขั้วด้านเย็น (Q_c) จะแปรผันโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า (I) ที่จ่ายเข้าไปในวงจร

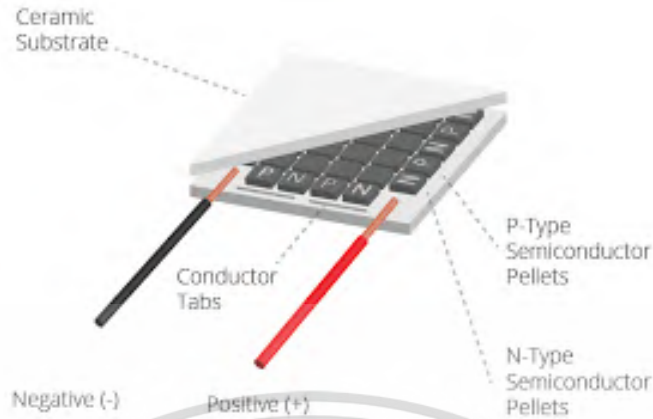


รูปที่ 2.3 แผนภาพปรากฏการณ์เพลทีเยอร์

$$Q_c = \pi * I \quad (2.2)$$

โดยค่า π คือค่าสัมประสิทธิ์เพลทีเยอร์ (Peltier Coefficient) มีหน่วย วัตต์/แอมแปร์ (W/A) หรือ วัตต์/โวลต์ (W/V)

ในช่วงกลางของศตวรรษที่ 20 ความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำถูกพัฒนาขึ้น การใช้งานจริงของอุปกรณ์ด้านเทอร์โมอิเล็กทริกจึงมีความเป็นไปได้และด้วยเทคนิคที่ทันสมัย จึงมีการผลิตโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกหรือเพลทีเยอร์ขึ้นมา



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของโมดูลเพลเทียร์

เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโมดูลเพลเทียร์กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวัสดุที่ทำจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ทำให้เกิดการดูดกลืนพลังงานของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี สู่วงจรระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น ส่งผลให้เกิดการดูดกลืนความร้อนที่ด้านหนึ่งของโมดูลเพลเทียร์และในขณะเดียวกันก็เกิดการคายพลังงานของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น สู่วงจรระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี ส่งผลให้เกิดการคายความร้อนที่ด้านตรงกันข้าม ซึ่งด้านที่คายพลังงานนั้น คือด้านที่ปล่อยความร้อนออกมาและด้านที่ถูกดูดกลืนพลังงานนั้น คือด้านที่ปล่อยความเย็นออกมา

เพลเทียร์ที่มีจำหน่ายทั่วไปจะมีหลักการทำงานเหมือนกันทั้งหมด แต่จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไประหว่างเพลเทียร์แต่ละรุ่น ดังนี้

1) ข้อแตกต่างของขนาดและรูปทรงของพื้นที่ใช้งาน (Active Area) เช่น เพลเทียร์ รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือรูปทรงวงกลม เป็นต้น นอกจากนี้แต่ละรูปทรงยังมีหลายขนาด ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เพลเทียร์แต่ละแบบ

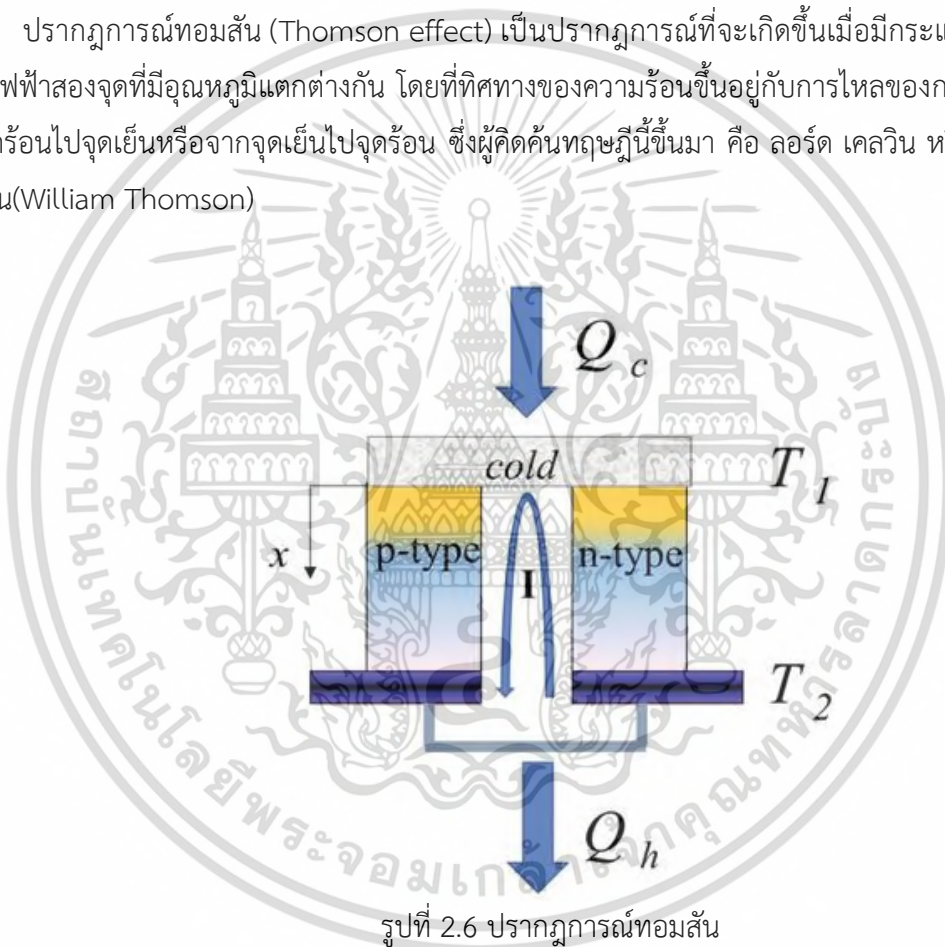
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ข้อแตกต่างของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ค่าความต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้าน (Maximum Temperature Difference) ค่ากระแสสูงสุด (Maximum Current) ค่าศักย์สูงสุด (Maximum Voltage) และรวมถึงน้ำหนักของพัลลาระบายความร้อนในการใช้งาน

ซึ่งปัญหานี้จะถูกนำไปประยุกต์เพื่อพัฒนาเป็นต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูเลเตอร์ จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัลลาระบายความร้อน

2.2.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect) [12]

ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect) เป็นปรากฏการณ์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่าน ตัวนำไฟฟ้าสองจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยที่ทิศทางของความร้อนขึ้นอยู่กับกระแสวิกฤตของกระแสไฟฟ้า จากจุดร้อนไปจุดเย็นหรือจากจุดเย็นไปจุดร้อน ซึ่งผู้คิดค้นทฤษฎีนี้ขึ้นมา คือ ลอร์ด เคลวิน หรือ วิลเลียม ทอมสัน (William Thomson)



รูปที่ 2.6 ปรากฏการณ์ทอมสัน

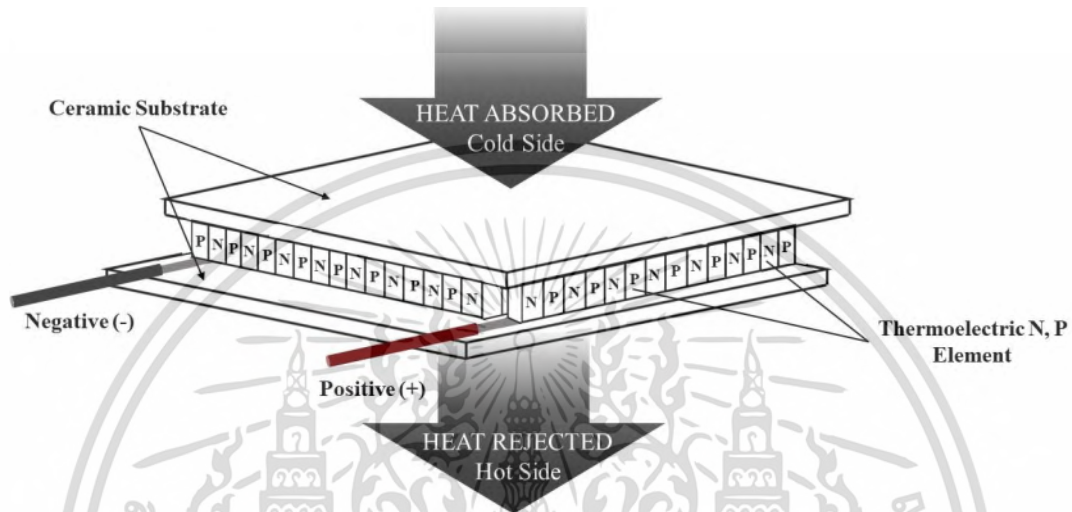
ที่มา <https://www.intechopen.com>

2.3 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก [13-14]

เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นระบบการดูดความร้อนแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยอาศัยปรากฏการณ์ Peltier ที่ว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ 2 ชนิด จุดเชื่อมหนึ่งจะเย็นอีกจุดหนึ่งจะร้อนตัวทำความเย็นแบบนี้ได้รับการดัดแปลงและพัฒนาเป็นรูปแบบอื่นอีกมากมาย ดังเช่นการใช้สารกึ่งตัวนำ สารกึ่ง

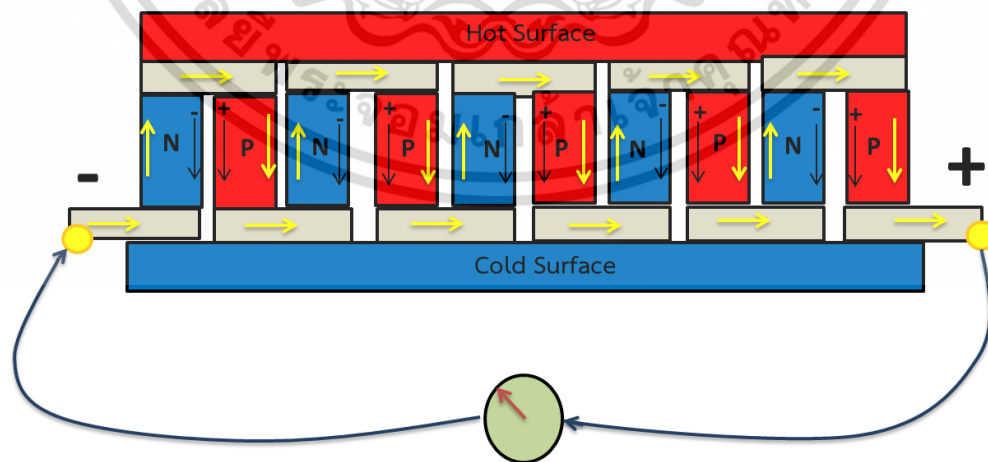
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำสองชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นประกอบอยู่บนแผ่นเซรามิก ขณะที่ผ่านกระแสไฟฟ้าจาก N ไป P อุณหภูมิที่จุดต่อจะลดลงและทำหน้าที่ดูดความร้อนจากบริเวณรอบๆ ความร้อนจะถูกพาไป โดยอิเล็กตรอนและโฮลที่ด้านตรงข้ามประสิทธิภาพการดูดความร้อนขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไฟฟ้า และจำนวนชั้นของ N และ P ดังรูปแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

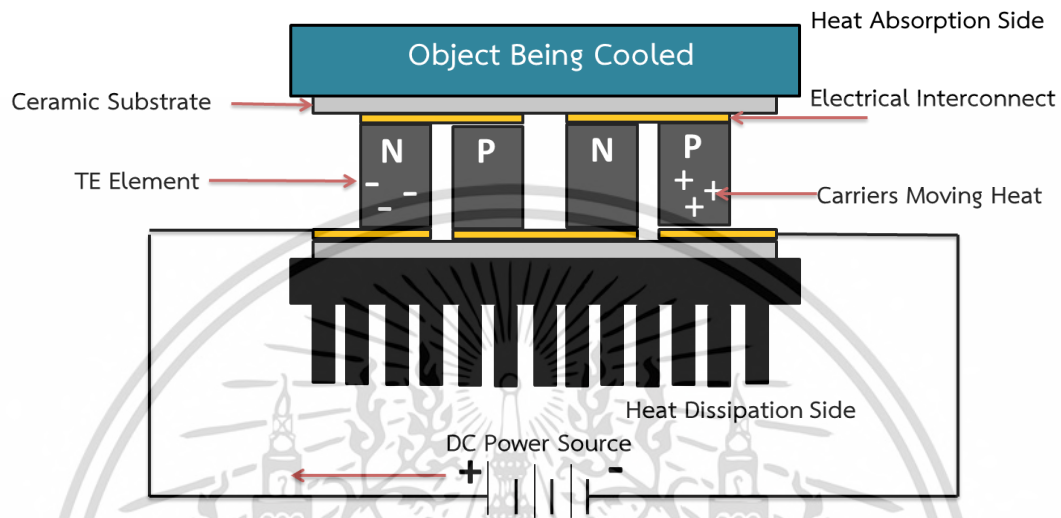
เมื่อนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลประกบด้วยแผ่นเซรามิกแล้วทำให้อุณหภูมิแผ่นเซรามิกด้านบนและด้านล่างแตกต่างกัน ทำให้เกิดปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้ และเมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด (load) หรือภาระไฟฟ้าจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหล ตามปรากฏการณ์ของซีเบคโดยทั่วไปเรียกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบนี้ว่า เทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์ (thermoelectric generator ; TEG) แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กลไกการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางกลับกันเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนและด้านล่างตามปรากฏการณ์ของเพลทีเยอร์โดยทั่วไปเรียกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบนี้ว่า เทอร์โมอิเล็กทริกคูลิ่ง (thermoelectric cooling ; TEC) แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กลไกการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลิ่ง

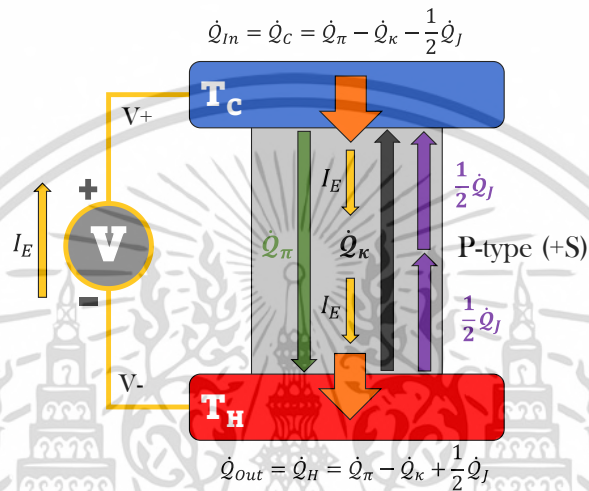
2.4 หลักการทำงานของเครื่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก [9]

เครื่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric cooler : TEC) มีหลักการทำงานเป็นไปตามปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่อุปกรณ์จะสามารถสร้างความเย็นให้กับระบบได้จากการเกิดความต่างศักย์ระหว่างภายในและภายนอกของระบบ โดยอาศัยการดูดความร้อนภายในระบบแล้วนำความร้อนนั้นถ่ายเทออกสู่ภายนอกของระบบ สามารถเรียกลักษณะการทำงานในรูปแบบนี้ว่าเครื่องปั๊มความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก ในการสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกให้แก่อุปกรณ์ แล้วกำหนดให้ด้านศักย์ไฟฟ้าบวก ($V+$) เป็นด้านที่ต้องการให้เกิดอุณหภูมิต่ำ T_C หรือเรียกว่าด้านความเย็น และกำหนดให้ด้านศักย์ไฟฟ้าลบ ($V-$) เป็นด้านที่ต้องการให้เกิดอุณหภูมิสูง T_H หรือเรียกว่าด้านความร้อน เพื่อให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากด้านศักย์ไฟฟ้าบวกไปด้านลบในแท่งขา p-type ซึ่งเป็นการไหลของประจุบวก (ประจุอิเล็กตรอนใน p-type) และการไหลของกระแสไฟฟ้าจากด้านศักย์ไฟฟ้าลบไปด้านบวกในแท่งขา n-type ที่เป็นการไหลของประจุลบ (โฮลใน n-type) จากการไหลของกระแสไฟฟ้านี้จึงเกิดเป็นการถ่ายโอนความร้อนจากด้าน T_C ออกไปยังด้าน T_H เป็นไปตามปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกแผ่นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกนี้ว่าแผ่นเพลทีเยอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดพี

อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดพี (p-type) มีหลักการทำงานคือ เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ระบบ พาหะประจุข้างมากโฮลภายในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพีจะถูกขับเคลื่อนให้วิ่งไปในทิศทางเดียวกับกระแสไฟฟ้าที่จ่าย โดยกำหนดให้ศักย์ไฟฟ้าบวก ($V+$) เป็นด้านอุณหภูมิต่ำ (T_C) และให้ศักย์ไฟฟ้าลบ ($V-$) เป็นด้านอุณหภูมิสูง (T_H) มีการทำงานดังแสดงในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 กลไกการทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดพี

สมการสมดุลความร้อนของอัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) คือ

$$\dot{Q}_{In} = \dot{Q}_C = ST_C I_E - k(T_H - T_C) - \frac{1}{2} I_E^2 R \quad \text{หน่วย (W)} \quad (2.1)$$

สมการสมดุลความร้อนของอัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิสูง (\dot{Q}_H) คือ

$$\dot{Q}_{Out} = \dot{Q}_H = ST_H I_E - k(T_H - T_C) - \frac{1}{2} I_E^2 R \quad \text{หน่วย (W)} \quad (2.2)$$

เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่อุปกรณ์ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ถูกอุปกรณ์ใช้ไปสามารถคำนวณได้จาก $P_{COM} = \dot{Q}_{Out} - \dot{Q}_{In}$ และกำลังความร้อนที่อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกทำได้คำนวณได้จาก อัตราความร้อนที่ไหลเข้าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (\dot{Q}_{In}) ที่ด้านอุณหภูมิสูง แล้วนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient performance : φ) ของเครื่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ตามสมการ 2.3

$$\varphi = \frac{\dot{Q}_{In}}{P_{Com}} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

φ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient performance)

\dot{Q}_{In} คือ ค่ากำลังความร้อนที่อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกทำได้

P_{Com} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ถูกอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกใช้ไป

โดยในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกมีพารามิเตอร์ที่สำคัญดังต่อไปนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่ากำลังที่ใช้สำหรับการทำความเย็นสูงสุด และค่าสูงสุดของความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนกับด้านเย็น สามารถพิจารณาได้จากสมการดังต่อไปนี้

1. กำลังไฟฟ้าที่ถูกอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกใช้ไป (P_{Com}) หาได้จาก

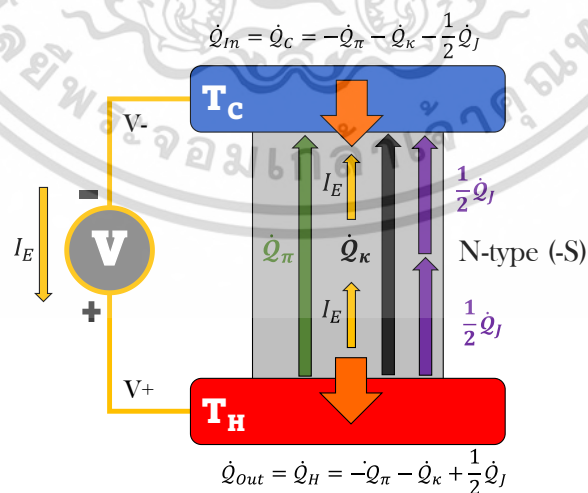
$$P_{Com} = Q_{out} - Q_{In} = SI(T_H - T_C) + RI_E^2 \quad \text{หน่วย (W)} \quad (2.4)$$

2. ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (φ) หาได้จาก

$$\varphi = \frac{\dot{Q}_{In}}{P_{Com}} = \frac{STCI_E - K(T_H - T_C) - \frac{1}{2}I_E^2 R}{SI(T_H - T_C) + RI_E^2} \quad (2.5)$$

2.4.2 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดเอ็น n-type

อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดเอ็น (n-type) มีหลักการทำงานคือเมื่อกระแสไฟฟ้าถูกจ่ายเข้าสู่ระบบ พาหะประจุข้างมากของเซลล์ชนิดเอ็นคืออิเล็กตรอนที่มีค่าประจุเป็นลบจะถูกขับเคลื่อนให้วิ่งสวนทางกับกระแสไฟฟ้าที่ถูกจ่ายเข้ามา นำความร้อนจากด้านอุณหภูมิต่ำไปที่ยังด้านอุณหภูมิสูง จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นลบ (-S) โดยกำหนดให้ศักย์ไฟฟ้าบวก (V+) เป็นด้านอุณหภูมิสูง (T_H) และให้ศักย์ไฟฟ้าลบ (V-) เป็นด้านอุณหภูมิต่ำ (T_C) มีการทำงานดังรูป



รูปที่ 2.11 กลไกการทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดเอ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการความร้อนไหลเข้าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (\dot{Q}_{In}) ด้านอุณหภูมิต่ำ (T_C) และมีอัตราการความร้อนไหลออกจากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (\dot{Q}_{out}) ด้านอุณหภูมิสูง (T_H) แสดงเป็นสมการสมดุลความร้อนได้

สมการสมดุลความร้อนของอัตราการความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) คือ

$$Q_C = SIT_C - \frac{1}{2}IR^2 - k(T_H - T_C) \quad (2.5)$$

สมการสมดุลความร้อนของอัตราการความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิสูง (\dot{Q}_H) คือ

$$Q = SIT_H + \frac{1}{2}IR^2 - k(T_H - T_C) \quad (2.7)$$

โดยการพิจารณาการเกิดอัตราการความร้อนตามกฎของเพลเทียร์ (\dot{Q}_π) อัตราความร้อนตามกฎของฟูเรียร์ (\dot{Q}_k) และอัตราการความร้อนตามกฎของจูล (\dot{Q}_J) ที่เกิดขึ้นในเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถใช้หลักการพิจารณาเช่นเดียวกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี ซึ่งจะให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงสุด (φ_{max}) ในอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยววัสดุชนิดเอ็น ดังนี้

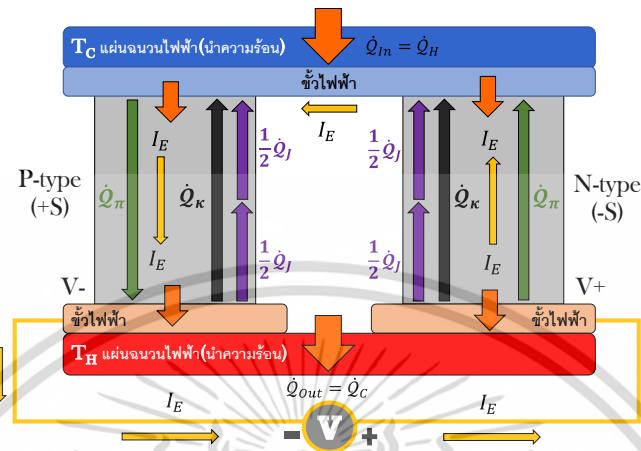
$$\text{เมื่อ } Z = \frac{\sigma(-S)^2}{\kappa} \quad \text{และ} \quad T_M = \frac{T_H - T_C}{2}$$

จะสังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงสุด (φ_{max}) ในอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยวทั้งวัสดุชนิดพีและชนิดเอ็นจะมีค่าเหมือนกัน ซึ่งจะเกิดค่าสูงสุดได้ก็ต่อเมื่อค่า $\varphi_C = \left[\frac{T_C}{\Delta T} \right]$ และ ZT_M มีค่าสูงสุด

2.4.3 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์คู่ควบพี-เอ็น

อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์คู่ควบพี-เอ็นนั้นมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพีและชนิดเอ็นที่ประกอบเข้าด้วยกันแล้วเชื่อมต่อด้วยขั้วโลหะไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าแบบอนุกรม และใช้แผ่นฉนวนไฟฟ้าแต่นำความร้อนประกอบขนาบด้านบนและด้านล่างของเซลล์เพื่อการไหลของความร้อนแบบขนาน หลักการทำงานเหมือนกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์เดี่ยวคือการทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าเพื่อดึงเอาพลังงานความร้อนจากฝั่งด้านเย็นไปทิ้งไว้ที่ฝั่งด้านร้อนจากการนำของพาหะทั้งในเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพีและชนิดเอ็น เมื่อยิ่งต่อเซลล์แบบอนุกรมเชิงไฟฟ้าเข้าด้วยกันความร้อนที่พาหะดูดไปได้ก็จะยิ่งมากขึ้นกว่าแบบเซลล์เดี่ยว จึงกำหนดให้ศักย์ไฟฟ้าภายนอกเป็นบวก (V+) ที่วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น เพื่อบังคับให้พาหะประจุข้างมากใน n-type (อิเล็กตรอน) ไหลจากด้านอุณหภูมิสูง (T_H) ไปด้านอุณหภูมิต่ำ (T_C) และกำหนดให้ศักย์ไฟฟ้าภายนอกเป็นลบ (V-) ที่วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี เพื่อบังคับให้พาหะประจุข้างมากใน p-type (โฮล)

ไหลจากด้านอุณหภูมิต่ำ (T_C) ไปด้านอุณหภูมิสูง (T_H) เกิดเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้าและความร้อนของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์คู่ควบพี-เอ็น



รูปที่ 2.12 กลไกการทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแบบเซลล์คู่ควบพี-เอ็น

เมื่อพิจารณาอัตราการความร้อนไหลเข้าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (\dot{Q}_{In}) ด้านอุณหภูมิต่ำ (T_C) และมีอัตราความร้อนไหลออกจากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (\dot{Q}_{Out}) ด้านอุณหภูมิสูง (T_H) สามารถแสดงเป็นสมการสมดุลความร้อนได้ดังนี้

เมื่อ

$$S = |S_p| + |-S_n|$$

$$K = (K_p + K_n) \left(\frac{\kappa_p A_p}{L_p} + \frac{\kappa_n A_n}{L_n} \right)$$

$$R = (R_p + R_n) = \left(\frac{\rho_p L_p}{A_p} + \frac{\rho_n L_n}{A_n} \right)$$

สมการสมดุลอัตราการความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) คือ

$$\dot{Q}_{In} = \dot{Q}_C = ST_C I_E - \kappa \frac{A}{L} (\Delta T) - \frac{1}{2} I_E^2 R \quad \text{หน่วย (W)} \quad (2.8)$$

สมการสมดุลอัตราการความร้อนไหลออกจากด้านอุณหภูมิสูง (\dot{Q}_H) คือ

$$\dot{Q}_{Out} = \dot{Q}_H = ST_H I_E - K(\Delta T) + \frac{1}{2} I_E^2 R \quad \text{หน่วย (W)} \quad (2.9)$$

สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (φ) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varphi = \frac{\dot{Q}_{In}}{P_{Com}} = \frac{ST_C I_E - K(T_H - T_C) - \frac{1}{2} I_E^2 R}{SI(T_H - T_C) + RI_E^2} \quad (2.10)$$

2.5 สมบัติทั่วไปของบิลมัทเทลลูไรด์

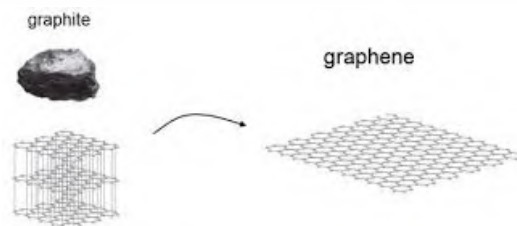
ผู้ค้นพบรู้จักโดยชาวตะวันออก กรีกและโรมัน ตั้งแต่สมัยโบราณแต่หลักฐานไม่เด่นชัด ศตวรรษที่ 15 Basil Valentine เรียกธาตุนี้ว่า wismut ปลายศตวรรษที่ 16 Georgus Agricola เปลี่ยนชื่อ wismuth ไปเป็น bisemutum ซึ่งเป็นชื่อละติน กลางศตวรรษที่ 18 J. Pott, C. Geoffrey และ T. Bergman ได้ทำการศึกษาธาตุนี้อย่างจริงจัง จนแน่ใจว่าเป็นธาตุที่มีสมบัติเป็นโลหะธาตุหนึ่ง [15] ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทั่วไปของบิลมัทเทลลูไรด์ [16]

ชื่อธาตุ : Bismuth Telluride	ความบริสุทธิ์ : 99.99%
สูตรเคมี: Bi ₂ Te ₃	สถานะ : ของแข็ง
มวลโมเลกุล : 800.76 g/mol	โครงสร้างผลึก : Trigonal
ความหนาแน่น : 7.74 g/cm ³	การละลายน้ำ : ไม่ละลายน้ำ
จุดหลอมเหลว : 580 °C	Lattice constant : a = 0.4395 nm, c = 3.044 nm
สี : เทา	CAS number : 1304-82-1

2.6 กราฟีน

“กราฟีน” ซึ่งเป็นหนึ่งในอัญรูปของคาร์บอนที่มีการค้นพบในปี ค.ศ. 2004 โดย ศาสตราจารย์ ดร. อังเดร ไกม์ (Andre Geim) และ ศาสตราจารย์ ดร. คอนสแตนติน โนโวเซลอฟ (Konstantin Novoselov) จากมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ สหราชอาณาจักร ซึ่งผลงานการค้นพบแกรฟีน ทำให้ทั้งสองท่านได้รับ รางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ ในปี ค.ศ. 2010

“กราฟีน” คือ ชั้นอะตอมของคาร์บอนที่เรียงตัวต่อกันเป็นโครงสร้างรูปหกเหลี่ยมแกรฟีนมาวางซ้อนกันหลายๆ ชั้นจะได้แกรไฟต์ที่เรารู้จักกันดี (ไส้ดินสอ นั่นเอง) เนื่องจากแกรฟีนมีความหนา เพียงแค่คาร์บอนอะตอมเดียว ทำให้มีสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างออกไปจากคาร์บอนอัญรูปอื่นๆ



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแกรไฟต์และกราฟีน

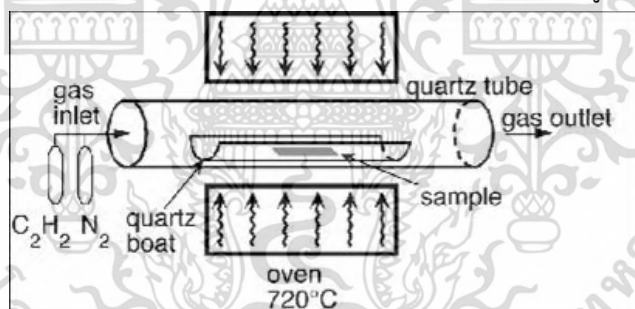
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 วิธีการสังเคราะห์กราฟีน

วิธีที่ 1 การผลิตแกรฟีนโดย Chemical Vapour Deposition หรือ CVD [17]

เป็นการจัดเรียงตัว ของอะตอมคาร์บอนบนแผ่นโลหะโดยเริ่มต้นจากการปล่อยก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิห้องเข้าไปในเตาเผา ที่มีก๊าซไฮโดรเจนอยู่ด้วยเล็กน้อย เมื่อก๊าซมีเทนสัมผัสกับโลหะเช่นทองแดง หรือนิกเกิลที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1000°C จะเกิดการสลายตัวเหลือเพียงอะตอมของคาร์บอนเกาะอยู่บนแผ่นโลหะและจัดเรียงโครงสร้างเป็นแกรฟีนที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุรองรับส่วนมากจะเป็นวัสดุประเภทเซรามิกหรือโลหะ และวัสดุโลหะที่นิยมใช้ทั่วไปก็คือ คอปเปอร์ (Copper) และ นิกเกิล (Nickel) ทั้งนี้การเลือกวัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุรองรับนั้นจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ที่จะทำให้อุณหภูมิที่ขึ้นสามารถเข้าไปเกาะติดบนพื้นผิวของสารเหล่านั้น ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวใช้ระบบให้ความร้อนแบบท่อที่มีนิกเกิลเป็นส่วนประกอบ และมีการปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนที่มีความสามารถในการแตกตัวได้ในความร้อนเข้าไปในท่อ จากนั้นอะตอมของคาร์บอนจะเกิดการตกลงบนผิวของนิกเกิลและทำให้เกิดการสร้างแผ่นกราฟีนขึ้น

แกรฟีนที่ผลิตขึ้นโดยเทคนิค CVD นี้ เป็นแกรฟีนที่มีคุณภาพสูงมีการนำไฟฟ้าที่ดีจึงเหมาะสมอย่างยิ่งกับการนำไปใช้ในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ แต่วิธีการสังเคราะห์ด้วยวิธีการนี้ก็มีข้อเสียคือ มีต้นทุนสูงมากในการสังเคราะห์ในแต่ละครั้ง และอีกอย่างสารเคมีที่ใช้ก็มีความเป็นอันตรายสูง



รูปที่ 2.14 การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธี Chemical vapor deposition (CVD) [18]

วิธีที่ 2 การผลิตกราฟีนโดยกระบวนการทางเคมี [19]

เริ่มจากการออกซิไดซ์แกรไฟต์เพื่อให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่ไปกั้นระหว่างชั้นของแกรไฟต์ให้ห่างออกจากกัน (exfoliation) และเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่า แกรไฟต์ออกไซด์ หรือ กราฟีนออกไซด์ ขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุ (กราฟีนออกไซด์ 1 ชั้นมีความหนา ประมาณ 0.9 นาโนเมตรเท่านั้น) จากนั้นทำปฏิกิริยารีดักชันเพื่อลดจำนวนหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนลงและยังเพิ่มประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าให้มากขึ้นด้วย ซึ่งวิธีการนี้มีข้อดีคือสามารถผลิตกราฟีนได้ในจำนวนมากและต้นทุนต่ำกว่าวิธีแรกมากแม้กราฟีนที่ได้จะมีสมบัติหรือคุณภาพที่ด้อยกว่าก็ตาม แต่มีประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

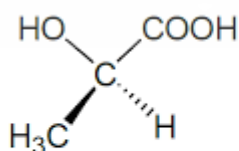
ประเทศไทยมีงานวิจัยเกี่ยวกับกราฟีนอยู่พอสมควร เช่น การใช้กราฟีนเป็นหมึกนำไฟฟ้าซึ่งพัฒนาโดยเนคเทค (NECTEC) เป็นต้น การหาวัสดุชนิดใหม่มาทดแทนซิลิคอน ใน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จึงเป็นการค้นคว้าวิจัยที่สำคัญมากในโลกยุคปัจจุบันและกราฟีนก็เป็นหนึ่งในวัสดุที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด

2.7 พอลิแลคติกเอซิด (PLA)

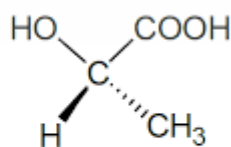
2.7.1 ข้อมูลทั่วไปของพอลิแลคติกเอซิด (PLA) [20]

พอลิแลคติกเอซิด (Poly(lactic acid) : PLA) เป็นพลาสติกชีวภาพที่สลายตัวได้ (Compostable polymer) โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสามารถหาได้จากทรัพยากรที่เกิดขึ้นใหม่ได้เริ่มแรกการนำ PLA ไปประยุกต์ใช้งานจะถูกจำกัดในวงแคบ เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูง สัณฐานที่ได้ปริมาณน้อยและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำตัวอย่างเช่น การใช้งานด้านการแพทย์ นำไปใช้เป็นสแคฟโฟลด์สำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Tissue scaffolds) อุปกรณ์ปลูกถ่าย (Medical implants) และ ไหมเย็บแผลที่ใช้ในร่างกาย (Internal sutures) เป็นต้น แต่ในปัจจุบันนักวิจัยได้ค้นพบเทคนิคการผลิต PLA ที่ทำให้ได้น้ำหนักโมเลกุลสูงและมีต้นทุนการผลิตที่เหมาะสม จึงส่งผลให้ PLA ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายมากขึ้น [21] และ PLA ยังมีคุณสมบัติที่โดดเด่น เช่นสามารถสลายตัวได้ ผลิตจากวัตถุดิบยั่งยืน (Sustainable sources) มีความเป็นพืช ๓ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [22-24] จึงทำให้ PLA จัดเป็นวัสดุที่มีศักยภาพสามารถแก้ไขปัญหาในด้านต่างๆ ได้

PLA ผลิตได้จาก LA ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลได้ทั้งแบบ Dextrorotatory; D (-) และ Levorotatory; L(+) ดังแสดงในรูปที่ 2.15 หรือแบบ Racemic DL ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต โดยสมบัติทางกายภาพของ PLA เป็นผลมาจาก ตำแหน่งไอโซเมอร์ของ L(+) และ D(-) ในมอนอเมอร์ ซึ่ง PLA ประกอบด้วย 3 Stereoform ที่มีชื่อเรียกแตกต่างกันได้แก่ Poly-L-lactic acid (PLLA), Poly-D-lactic acid (PDLA) และ Poly-DL-lactic acid (PDLLA) ซึ่งสามารถผลิตได้โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งบนมอนอเมอร์ โดย PDLA และ PLLA Stereoform สามารถเกิดการผสมผสานเกิดเป็น Stereo-complex PLA โดยอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature) ที่ค่อนข้างสูง ประมาณ 220-230 °C



D-(-)-Lactic acid



L-(+)-Lactic acid

รูปที่ 2.15 โครงสร้างโมเลกุล D และ L ของ Lactic acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 คุณสมบัติของ PLA [25-26]

ความบริสุทธิ์เชิงแสง (Optical purity) ของ PLA ส่งผลอย่างมากต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกลและ สมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซและของเหลว (Barrier properties) PLA ที่มีสัดส่วนของ L-isomer สูงกว่าร้อยละ 90 มีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline polymer) ในขณะที่พอลิเมอร์ที่มี D-isomer ใน องค์ประกอบเพิ่มขึ้นจะมีความบริสุทธิ์เชิงแสงต่ำลงและมีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีรูปร่างหรือไม่มีรูปร่างที่ แน่นอน (Amorphous)

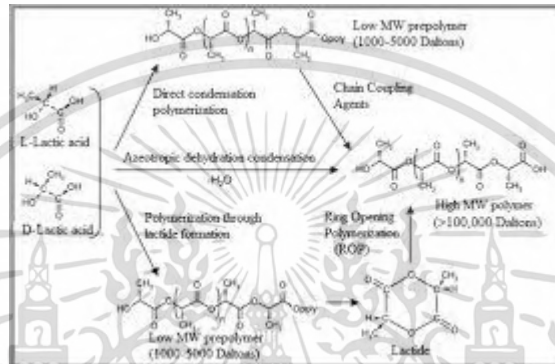
2.7.2.1 สมบัติการละลาย การละลายของ PLA ไม่ละลายในน้ำ แอลกอฮอล์ และ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีหมู่แทนที่ เช่น Hexane และ Heptane โดยตัวทำละลายที่ดีที่สุดได้แก่ ตัวทำละลายอินทรีย์กลุ่มสารละลาย Chlorinated หรือ Fluorinated organic, Dioxane, Dioxolane และ Furane ส่วน Poly(rac-lactic acid)

2.7.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางกล PLA มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 หากไม่ผ่านการดึงยืด (Unoriented PLA) มีความเปราะมากแต่มีความคงรูป (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) สูง เมื่อนำไปผ่านการดึงยืด (Oriented) จะมีสมบัติ ใกล้เคียงกับ Polyethylene terephthalate (PET) แต่ดีกว่า Polystyrene ที่ผ่านการดึงยืด (Oriented PS) โมดูลัสแรงดึงและแรงดัด (Tensile and flexural moduli) ของ PLA มีค่าสูงกว่า Polyethylene ความหนาแน่น สูง, Polypropylene (PP) และ Polystyrene (PS) แต่ความทนต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) และ การยืดที่จุดแตกหัก (Elongation at break) มีค่าต่ำกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

2.7.2.3 สมบัติความร้อน PLA มีอุณหภูมิกลาสทรานสิชันและอุณหภูมิหลอมเหลวค่อนข้างสูงกว่าเทอร์โมพลาสติกทั่วไป โดยอุณหภูมิกลาสทรานสิชันมีค่าขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและอัตราส่วนระหว่างอีแนนทิโอเมอร์ โดยพบว่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุล อุณหภูมิหลอมเหลวของ PLA ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์เชิงแสงของพอลิเมอร์ด้วย โดยอุณหภูมิหลอมเหลวสูงสุดที่พบใน PLA ที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสง (ทั้ง PLLA และ PDLA) มีค่าประมาณ 180 °C และมีค่าเอนทัลปี 40-50 J/g อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์มีค่าลดลงหากในโครงสร้างมีปริมาณของ D-lactide เป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิหลอมเหลวลดลงได้มากถึง 50 °C ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลวของ PLA เมื่อใช้ ปริมาณ Meso-lactide เพิ่มขึ้นในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ โดยทั่วไปอุณหภูมิหลอมเหลวของ PLA มีค่าอยู่ในช่วง 130-160 °C และมีการลดลงของอุณหภูมิ หลอมเหลวเนื่องจากผลของ Meso-lactide ที่มีความสำคัญทำให้ให้ขึ้นรูปง่ายขึ้น และลดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน

2.7.3 การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิด (Synthesis methods for PLA) [27]

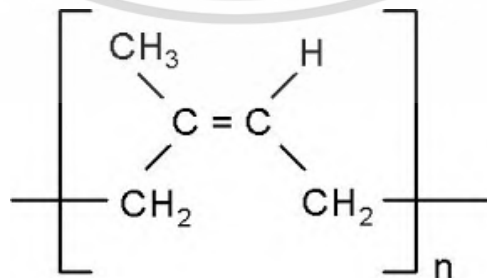
การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงทำได้ 3 วิธีได้แก่ 1. ปฏิกิริยาควบแน่นของกรดแลคติกและตามด้วยปฏิกิริยาควบแน่น (condensation and coupling reaction) 2. ปฏิกิริยาควบแน่นกำจัดน้ำด้วยตัวทำละลายอะซีโโทพ (azeotropic dehydrative condensation) และ 3. ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง (ring-opening polymerization (ROP)) ของแลคไทด์ (lactide) การเกิดปฏิกิริยาทั้ง 3 แบบ สรุปไว้ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.16 แผนภาพแสดงวิธีการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลสูง

2.8 ยางพารา [27]

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) ยางธรรมชาติประกอบด้วย ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (รูปที่ 2.17) อยู่ประมาณ 93-94% น้ำยางธรรมชาติเป็นของเหลวที่ไหลออกมาจากต้นยางพารา (Hevea brasiliensis) ในรูปอิมัลชันอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 50 อังสตรอม จนถึง 30,000 อังสตรอม (3 ไมโครเมตร) ยกเว้นบางครั้งอาจมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5-6 ไมโครเมตร น้ำหนักโมเลกุลปกติอยู่ในช่วง 104 -107 กรัม/ โมล ขึ้นอยู่กับอายุของต้นยาง สภาพอากาศ กระบวนการแยกน้ำยาง และปัจจัยอื่น ๆ การกระจายน้ำหนักโมเลกุลปกติอยู่ในช่วง 2.5-10



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของยางธรรมชาติคือ มีความยืดหยุ่นสูง ทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นได้ดีและมีความต้านทานเชิงกลสูง นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุที่ปลูกทดแทนได้และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ในขณะที่ยางธรรมชาติสังเคราะห์ส่วนใหญ่ผลิตมาจากวัสดุที่ใช้แล้วหมดไป

น้ำยางธรรมชาติที่กรี๊ดได้จากต้นยางพารามีความเข้มข้นเพียง 30 % โดยน้ำหนัก ไม่เหมาะกับการนำไปผลิตผลิตภัณฑ์จึงมีการนำน้ำยางไปผ่านกรรมวิธีเพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานเพิ่มมากขึ้น รูปแบบของยางที่มีจำหน่ายได้แก่ :

1) น้ำยางข้น (concentrated latex) ที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางประมาณ 60 % โดยน้ำหนักมีแอมโมเนียเป็นส่วนผสมเพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน

2) ยางแท่งหรือยางก้อนผลิตจากน้ำยางสดหรืออาจใช้ยางที่จับตัวแล้วหรือยางแห้ง เช่น ยางแผ่นดิบ, ยางก้นถ้วย, ขี้ยาง, หรือเศษยาง มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานการจัดชั้นยางแท่งที่มีชื่อว่า Standard Thai Rubber, (STR) ยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยางสด มี 4 เกรด คือ STR XL, STR 5L, STR 5 และ STR 5CV เป็นยางแท่งที่มีสมบัติทางกายภาพสูง มีความสะอาด มีความยืดหยุ่นและความเหนียวสูง จึงมักนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง ยางแท่งที่ผลิตจากยางแห้ง เช่น ยางแผ่นดิบ, ยางก้นถ้วย, ยางก้นถ้วย, ยางแผ่นรมควัน และเศษยางชนิดต่างๆ แบ่งออกเป็น 4 เกรด คือ STR 10, STR 10CV, STR 20 และ STR 20CV มีคุณสมบัติทางกายภาพไม่สม่ำเสมอ และมักแปรปรวนตามความหลากหลายของวัตถุดิบ

2.9 เทคนิคการตรวจสอบที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 การตรวจวิเคราะห์เฟสด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ [28]

เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction : XRD) [20] XRD เป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบและแร่ ทำให้อธิบายถึงองค์ประกอบต่างๆ ในวัสดุได้ว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ของ XRD สามารถที่จะหาองค์ประกอบของตัวอย่างได้แล้ว ยังสามารถคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่าง คำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละ Unit cell ความเครียดของตัวอย่างและค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างได้



รูปที่ 2.18 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

เมื่อรังสีเอ็กซ์ถูกปลดปล่อยมาจากแหล่งกำเนิดกระทบบนผลึกจะเกิดการแตกกระจายโดยอะตอม เนื่องจากรังสีที่กระจายเป็นผลเนื่องมาจากการเร่งขึ้นและการหน่วงลงของอิเล็กตรอนที่เกิดจากการเคลื่อนที่โดยรังสีเอ็กซ์ไปกระตุ้นโดยจะมีความยาวคลื่นเดียวกันกับรังสีเอ็กซ์ที่ไปกระทบกับผลึกจะทำให้เกิดการหักเหขึ้น เมื่อความแตกต่างในระยะทางเคลื่อนที่โดยทั้งสองคลื่นหักเหเป็นเลขจำนวนเต็มของความยาวคลื่นเพื่อว่าคลื่นทั้งสองจะอยู่ในเฟสเดียวกันเส้นแนวระดับแกนระนาบของอะตอม

2.9.2 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [29]

Scanning electron microscope (SEM) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์หน้าตัดของโลหะและวัสดุเป็นต้น

2.9.2.1 หลักการทำงานของ SEM [30] จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการหากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็กหลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา แล้วลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณ

จากอิเล็กทรอนิกส์มูลฐานนี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็น ภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้



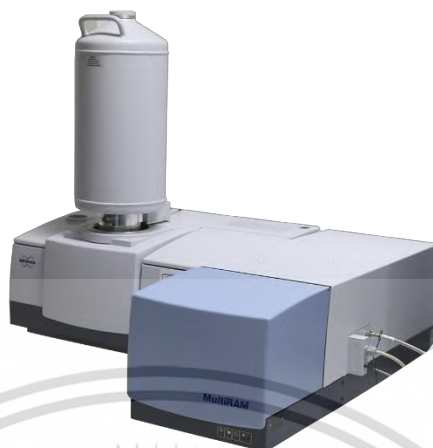
รูปที่ 2.19 เครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

2.9.3 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม รามาน สเปกโตรมิเตอร์ [31]

ข้อมูลทางเทคนิค :

- 1) สำหรับ ศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของสาร วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน การกระจายตัวของฟังก์ชันใน ตัวอย่าง ด้วยการวัดค่าพลังงานที่กระเจิงออกอันเกิดจากการสั่นของโมเลกุล ด้วยการวัดค่า พลังงานที่กระเจิงออกอันเกิดจากการสั่นของโมเลกุล
- 2) ความยาวคลื่นเลเซอร์ 1064 nm
- 3) สามารถตรวจสอบตัวอย่างได้ทั้งชนิด ของแข็ง ของเหลว และผง
- 4) เป็นเทคนิคที่ไม่ต้องเตรียมตัวอย่างและไม่ทำลายตัวอย่าง (nondestructive)
- 5) ทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างหลังการวัด
- 6) สามารถตรวจวัดในโหมดติดตามการเปลี่ยนแปลงตามเวลาทดสอบได้แบบต่อเนื่อง
- 7) ใช้เพื่อการศึกษาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของปฏิกิริยาต่างๆ ได้
- 8) สามารถตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของสารโดยวัดเปรียบเทียบกับรามานสเปกตรัมของวัสดุ
- 9) สอบเทียบกับสเปกตรัมของสารมาตรฐานที่ได้บันทึกไว้ใน Library ของฐานข้อมูล
- 10) เป็นเทคนิคที่ใช้ทดสอบตัวอย่างเพื่อการควบคุมคุณภาพได้ทั้งในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิความร้อน

2.9.4 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vicker's hardness) [33]

หลักการทํางาน : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์คือการวัดค่าความแข็ง โดยคิดจากน้ำหนักที่กดลงบนพื้นผิวของตัวอย่างและทำการวัดขนาดของเส้นทแยงมุมที่เกิดขึ้นจากรอยกด โดยใช้หัวกดเพชรรูปปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งมีมุมของปลายแหลมขนาด 136° องศา โดยค่าที่ได้ คือ ค่าความแข็งของวัตถุนั้นอยู่ในหน่วย (HV) หรือเรียกว่า ค่าวิกเกอร์ (Vickers Hardness)

ขนาดแรงกดที่ทำได้ : 98.07 mN, 245.2 mN, 490.3 mN , 980.7 mN, 1.96 N, 2.942 N, 4.903 N, 9.807 N, 19.614 N

ระยะเวลาทดสอบ : 5 - 999 วินาที

เลนส์ใกล้ตา : x10

เลนส์ใกล้วัตถุ : x10, x40

ความละเอียด : 0.01 μm

Effective Measurement : 250 μm (at x40)

Surface Area : 120x120 mm

Stroke : ± 12.5 mm

ประเภทของตัวอย่าง : ของแข็ง ผิวหน้าเรียบ



รูปที่ 2.21 เครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

2.9.5 เครื่องมือทดสอบสมบัติแรงดึง Universal testing machine (UTM) [34]

Universal testing machine เป็นเครื่องมือทดสอบที่ใช้หาสมบัติแรงดึง (ความทนต่อแรงดึง, การยืดตัว ณ จุดขาด, ค่าโมดูลัส) ของชิ้นงานคงรูป



รูปที่ 2.22 ลักษณะของชิ้นงานและผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบแรงดึง UTM

หลักการทํางาน: ให้แรงดึงกับชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่และบันทึกค่าค่าแรงดึง (Tension force) ที่เปลี่ยนไปตามระยะการยืดตัว (Deformation) ของวัสดุ โดยขณะชิ้นทดสอบยืดออก จะมีแรงต้าน ซึ่งแรงต้านของชิ้นงานทดสอบนี้ มีผลทำให้ตัววัดแรงสามารถวัดแรงออกมาได้ แรงที่วัดออกมา มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) หรือนิวตัน (N) การทดสอบจะต้องดึงชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาดออกจากกัน ซึ่งแรงต้านสูงสุดของชิ้นทดสอบเป็นผลที่ได้จากการวัดแรง ดังนั้นชิ้นงานทดสอบสามารถทนแรงดึงสูงสุดเท่ากับแรงต้านของชิ้นงานที่ทนได้ก่อนขาดออกจากกัน

ลักษณะของผลที่ได้: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain)

การประยุกต์ใช้งาน: จากผลการวิเคราะห์สามารถนำมาทำการวิเคราะห์ ค่าโมดูลัส (Modulus) คือ ค่าความเค้นที่ทำให้วัสดุยืดตัวตามที่กำหนด, ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) คือ ความเค้นดึงสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของชิ้นงานที่ได้รับจนเกิดการขาด มีหน่วยเป็น MPa หรือ N/mm² และการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) คือ ร้อยละการยืดตัวของชิ้นทดสอบที่จุดขาดเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวเริ่มต้น

ลักษณะตัวอย่างที่ทำการทดสอบ: ตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปแบบของแข็ง ตัดแต่งชิ้นทดสอบ (specimen) ให้ได้ขนาดตามมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง เช่น ASTM D638 (ชิ้นงานรูปทรงดัมเบลล์ (Types I – V), แท่ง หรือท่อทรงกระบอก) เป็นต้น

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Johan Mardini-Bovea และคณะ [3] ได้กล่าวว่าในปัจจุบันความต้องการพลังงานและมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ส่งเสริมวิวัฒนาการของเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพื่อการพัฒนาพลังงานสะอาดและพลังงานหมุนเวียน นั่นคือเหตุผลที่การวิจัยทางวิทยาศาสตร์ช่วยให้เราสามารถสาธิตการใช้อุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ที่ใช้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยการเหนี่ยวนำไฟฟ้า จากที่กล่าวมาข้างต้นจะพิจารณาระบบการสร้างความร้อนแบบผสมผสาน ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric cooling Peltier) และตู้เย็นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเติมเชื้อเพลิงและควบคุมโดยของเหลวไฟฟ้า ดังนั้นการศึกษานี้เกี่ยวข้องเกี่ยวกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งนำเซลล์ Peltier ไปใช้เป็นอุปกรณ์พื้นฐานในระบบทำความเย็นสำหรับการใช้งานขนาดเล็ก รักษากระบวนการนี้ให้สะอาดและปราศจากผลเสียต่อชั้นโอโซน เนื่องจากไม่มีการปล่อย CO₂ สู่อากาศ

Shetty A. S. และ Singh S. M [5] บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนากระบวนการระบายความร้อนสำหรับหมวกกันน็อคมอเตอร์ไซค์โดยใช้เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก ในบริบทนี้ “หมวกระบายความร้อน Peltier” ที่ทำงานเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทำความเย็นให้กับหมวกกันน็อคด้วยการระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเพลเทียร์แทนวิธีการทั่วไปเช่น วงจรการบีบอัดไอ หรือวัฏจักรการดูดซึมไอ ระบบระบายความร้อนสำหรับหมวกกันน็อคมอเตอร์ไซค์โดยใช้เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยฮีตซิงก์ พัดลมไฟฟ้า และโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นส่วนใหญ่ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้ากับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจะสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิในโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกได้ซึ่งกำลังใช้ไฟฟ้าเพื่อปั๊มความร้อนออก ต้นแบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับการประดิษฐ์

และติดตั้งบนหมวกกันน็อคจักรยาน มีการทดลองกับต้นแบบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น ผลการทดลองพบว่าสามารถสร้างความเย็นให้กับหมวกกันน็อคได้และอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อคลดลงจาก 32.7°C เป็น 26.3°C ในเวลาประมาณ 7.5 นาที

Lee K. H. และ Kim O. J. [6] ได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อหาประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกไมโครคูลเลอร์ด้วยแบบจำลองสามมิติด้วยโปรแกรม COMSOL เครื่องทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกแบบขนาดเล็กและแบบคอลัมน์ ได้ทำการพิจารณาสาร Bi_2Te_3 และ Sb_2Te_3 เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด n และ p ตามลำดับ ขนาดความหนาขององค์ประกอบเทอร์โมอิเล็กทริกที่พิจารณาคือ 5–20 μm ได้ทำการตรวจสอบผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความแตกต่างของอุณหภูมิ กระแส ความหนาขององค์ประกอบเทอร์โมอิเล็กทริก และจำนวนคู่เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีต่อประสิทธิภาพของตัวทำความเย็นผลลัพธ์ที่คาดการณ์ไว้แสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับองค์ประกอบเทอร์โมอิเล็กทริกหนาที่มีคู่เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนมากหรือพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กขององค์ประกอบ

M. Hrairi และคณะ [7] บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนากระบายความร้อนสำหรับหมวกกันน็อคมอเตอร์ไซค์โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกคูลิ่ง ระบบระบายความร้อนสำหรับหมวกกันน็อคมอเตอร์ไซค์ประกอบด้วยชุดระบายความร้อนและโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นส่วนใหญ่ เมื่อแรงดันไฟฟ้าถูกนำไปใช้กับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจะสามารถสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิทั่วทั้งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกอีกอย่างว่าปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ซึ่งถูกใช้เพื่อใช้ไฟฟ้าในการปั๊มความร้อน ต้นแบบระบบระบายความร้อนสำหรับหมวกกันน็อคมอเตอร์ไซค์โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกคูลิ่งถูกประดิษฐ์และติดตั้งบนหมวกกันน็อคมอเตอร์ไซค์ หมวกกันน็อคระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ออกแบบมาคือจำลองโดยใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS และทดสอบด้วยการทดลองเพื่อการทำ ความเย็น มีการทดลองกับต้นแบบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น ผลเชิงตัวเลขและการทดลองแสดงให้เห็นอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อคลดลงจาก 25.5°C เป็น 19.3°C ในเวลาประมาณ 6 นาที

H. Yavuz and R. Ahiska [8] ได้กล่าวว่าภาวะอุณหภูมิต่ำกว่าปกติเป็นที่ทราบกันดีว่าให้ผลในการป้องกันสมองหลังจากได้รับบาดเจ็บ หมวกนิรภัยที่มีโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบยืดหยุ่นภายในได้รับการออกแบบเพื่อสร้างอุณหภูมิในสมอง ในการศึกษาประสิทธิภาพการระบายความร้อนและการควบคุมอุณหภูมิของหมวกกันน็อคได้รับการประเมินและเปรียบเทียบกับวิธีการแบบเดิม ในการวัดอุณหภูมิตั้งค่าทดลองภายใต้สภาวะโหลดและไม่มีโหลด ใช้โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบยืดหยุ่นชนิดเดียวกันสำหรับการวัดอุณหภูมิ ผลการวิจัยพบว่าหมวกกันน็อคมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการแบบเดิม สามารถควบคุมประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหมวกกันน็อคได้ สามารถทำความเย็นได้ถึง 10°C /นาที อุณหภูมิ

ลดลงถึงระดับที่ต้องการภายในห้าวันที่หลังจากเริ่มการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สำคัญอย่างยิ่งในการรักษาสมอง อุณหภูมิสามารถควบคุมได้และสามารถเพิ่มได้เมื่อจำเป็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยซึ่งขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ ในส่วนถัดมาเป็นการพัฒนาพอลิเมอร์ชนิด PLA หรือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลให้สูงขึ้น และส่วนสุดท้ายคือการเตรียมแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ชนิดเอ็น (n-type) จากแท่งอินก๊อทและออกแบบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์แบบไม่มีพัดลมระบายความร้อนและนำไปทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน

3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) บิลท์เทลลูไรด์บริสุทธิ์ 99.99% (Bi_2Te_3)
- 2) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (Reduce Graphene Oxide)
- 3) น้ำกลั่น (Distilled water)
- 4) อะซิโตน (Acetone : $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)
- 6) แอลกอฮอล์ (Alcohol)
- 6) น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water : DI)
- 7) ผงแกรไฟต์บริสุทธิ์ 99% (Graphite powder)
- 8) โซเดียมไนเตรต (Sodium nitrate : NaNO_3)
- 9) กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid : H_2SO_4)
- 10) โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate : KMnO_4)
- 11) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide : H_2O_2)
- 12) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid : HCl)
- 13) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ U1241 C/U1242C 4-Digital Handheld Digital Multimeter
- 2) Resistivity adapter Keithley instrument, inc., Cleveland, Ohio, made in U.S.A
- 3) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Infrared thermometer) รุ่น Banatech

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.0001 กรัม รุ่น WANT® Electronic Balance
- 5) Vernier caliper รุ่น Starnic 150 x 0.02 mm / 6" x 1 / 1000"
- 6) กล้องตรวจจับอินฟราเรดรุ่น E-40 บริษัท เทอร์โมสแกน ประเทศไทย
- 7) เครื่องอัดไฮดรอลิกกึ่งอัตโนมัติขนาดแรงดัน 5000 psi ผลิตโดยบริษัท Risen Gold
- 8) เครื่องดูดควัน (Fume hood) ผลิตโดยบริษัท Design-alternative ประเทศไทย
- 9) ฟอर्सเพสแดนเลน (Forceps)
- 10) แท่งคนสาร ซ้อนตวงสาร
- 11) ปีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร, 250 มิลลิลิตร และ 600 มิลลิลิตร
- 12) กระดาษชั่งสารเคมี (Weighing Paper) ขนาด 10 x 10 เซนติเมตรยี่ห้อ Whiteman
- 13) เตาให้ความร้อน (Hot plate)
- 14) ตู้อบสาร
- 15) สายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค
- 16) แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power supply)
- 18) แผ่นทองแดง
- 19) พอลิเมอร์ (PLA)
- 20) น้ำยางพารา
- 21) แผ่นพอลิเมอร์นำไฟฟ้า (PLA/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์)
- 22) สายไฟ

3.3 การเตรียมฉนวนกันความร้อนจากยางพาราคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์

กระบวนการเตรียมฉนวนกันความร้อนเป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการออกแบบต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน เป็นการเตรียมจากน้ำยางพาราธรรมชาติผสมกับกราฟีนออกไซด์โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 ขั้นตอนแรกเริ่มจากการคำนวณสัดส่วนน้ำยางพาราและกราฟีนออกไซด์ ซึ่งการคำนวณใช้เป็นอัตราส่วนร้อยละของมวลต่อด้วยปริมาตร (W/V %) โดยเงื่อนไขที่ได้ทำการทดลองคือ 0.05 % , 0.1 % , 0.5 และ 1.0 % ตามสัดส่วนน้ำหนักของยางพาราแห้งและปริมาตรของกราฟีนออกไซด์ สำหรับตัวอย่างการคำนวณดังนี้

ที่เงื่อนไข 1 % กราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 4 mg/ml และน้ำยางแห้ง 108 กรัม

$$1) \text{ กราฟีนออกไซด์ (GO)} = 108 \times \frac{1}{100} = 1.08 \text{ g} = 1080 \text{ mg}$$

$$\therefore \text{ กราฟีนออกไซด์ (GO)} = 4 \text{ mg} \quad \rightarrow \quad 1 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1080 \text{ mg} \rightarrow 1 \times \frac{1}{100} = 270 \text{ ml}$$

2) น้ำหนักยางพาราแห้ง $108 \text{ g} - 1.08 \text{ g} = 106.92 \text{ g}$

จาก $108 \text{ g} \rightarrow 200 \text{ ml}$

$$106.92 \text{ g} \rightarrow \frac{200 \times 106.92}{108} = 198 \text{ ml}$$

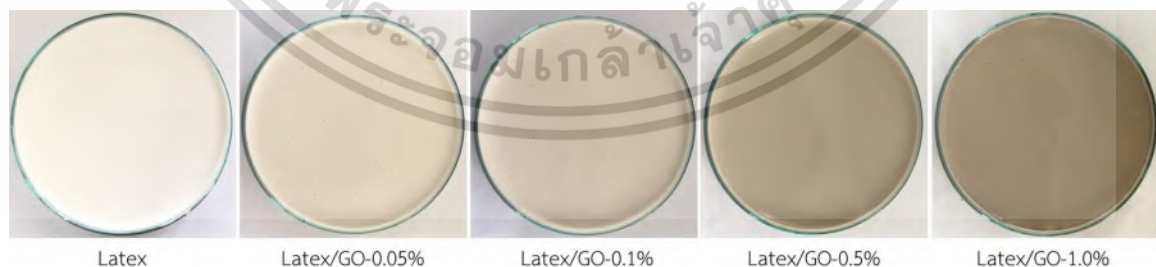
∴ ปริมาตร GO + น้ำยางพารา = $270 + 198 = 468 \text{ ml}$

3.3.2 นำยางพารามาผสมกับกราฟีนออกไซด์ตามสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ที่ได้คำนวณไว้ โดยการนำยางพาราและกราฟีนออกไซด์มาผสมในบีกเกอร์แล้วนำไปปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นสเตอร์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผสมยางพาราและกราฟีนออกไซด์

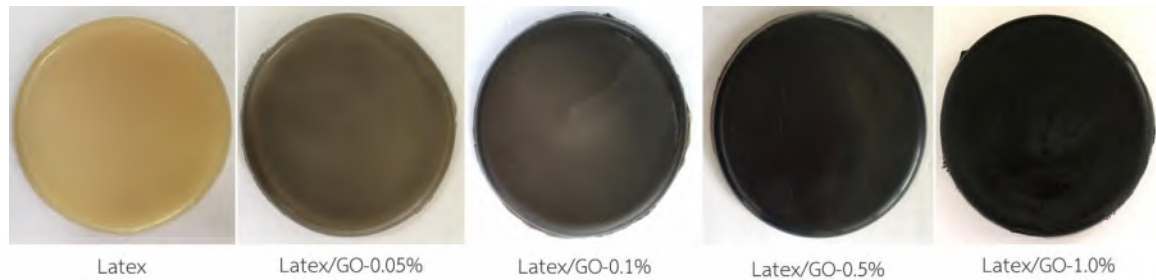
3.3.3 หลังจากนั้นนำยางพารากับกราฟีนออกไซด์ที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปเทใส่ในพิมพ์บล็อกเพื่อนำไปตากแห้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้ง



รูปที่ 3.2 น้ำยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ในพิมพ์บล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 สดทำยได้แผ่นฉนวนยางพาราคอมโพลีตกราฟีนออกไซด์ที่แห้งแล้ว



รูปที่ 3.3 แผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์แห้ง

3.3.5 เตรียมตัวอย่างนำไปวัดคุณสมบัติค่าการนำความร้อนหรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) เป็นสมบัติเชิงความร้อน (thermal properties) ของวัสดุ ที่บ่งถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อนโดยการนำความร้อน (conduction) ของสารต่างๆ ซึ่งใช้เครื่องมือวัดการถ่ายเทความร้อน รุ่น ISMET211 ยี่ห้อ Applied precision โดยได้ทำการทดสอบเครื่องมือจากห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จ.นครราชสีมา

3.3.6 นำไปวัดค่าการกระจายความร้อนโดยให้ความร้อนกับแผ่นยางพาราคอมโพลีตกราฟีนออกไซด์ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที ในการวัดความต่างของอุณหภูมิใช้เทอร์โมคอปเปิลวัดอุณหภูมิหน้าเตา (Hot plate) และวัดอุณหภูมิบนแผ่นยางพารา แล้ววัดค่าการกระจายความร้อนบันทึกด้วยกล้องอินฟราเรดในรูปที่ 3.4 ข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกลงในคอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายจากกล้องอินฟราเรด (Thermal imaging camera)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ทดลองการกระจายความร้อนด้วยกล้องอินฟราเรด



รูปที่ 3.6 แผนผังขั้นตอนวิธีการทดลองยางพาราคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและการกระจายความร้อนของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแล็กติกเอซิด (PLA) คอมโพสิตกราฟีนออกไซด์

พอลิแล็กติกเอซิดกราฟีนออกไซด์คอมโพสิตเป็นส่วนประกอบอีกอย่างที่ใช้ในการออกแบบบล็อกพยางค์โครงสร้างสำหรับต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน เนื่องจากพอลิแล็กติกเอซิดความเปราะบางและเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ PLA ให้มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ดีขึ้น ซึ่งขั้นตอนในการทดลองผสมพอลิเมอร์พอลิแล็กติกเอซิดคอมโพสิตกับกราฟีนออกไซด์มีรายละเอียดดังแสดงในขั้นตอนการทดลองตามข้อที่ 1 ถึง ข้อที่ 6 ดังนี้

3.4.1 นำผงพอลิเมอร์ PLA มาผสมกับกราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องปั่นกวน เป็นเวลา 30 นาที พอลิเมอร์ PLAผสมด้วยการเติมกราฟีนออกไซด์ (PLA/GO) ซึ่งเงื่อนไขที่ทำการทดลอง ภายใต้การศึกษาลผลของปริมาณการเติม กราฟีนออกไซด์ ได้แก่ 0.01, 0.05, 0.1, และ 0.5 % โดยน้ำหนัก แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การผสมพอลิเมอร์ PLA/GO ตามเงื่อนไขของปริมาณการเติมกราฟีนออกไซด์ 0.01, 0.05, 0.1, และ 0.5 % โดยน้ำหนัก

3.4.2 นำมาเข้าด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้นออกไปโดยใช้เวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.8 การไล่ความชื้นด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

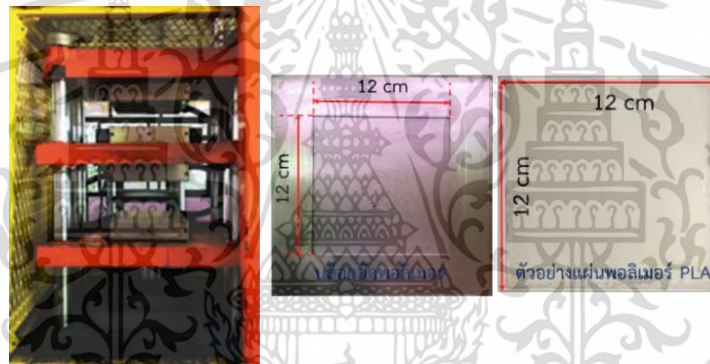
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 จะได้เป็นผงพอลิเมอร์ที่ผสมกับกราฟีนออกไซด์ตามเงื่อนไขต่างๆ



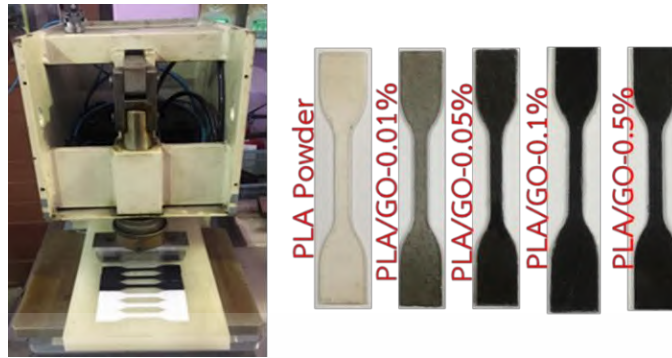
รูปที่ 3.9 ผงพอลิเมอร์ผสมกราฟีนออกไซด์ PLA, PLA/GO-0.01%, PLA/GO-0.05%, PLA/GO-0.1%, และ PLA/GO-0.5%

3.4.4 หลังจากทีอบไล่ความชื้นจนแห้ง นำมาอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดร้อนด้วยแม่พิมพ์ พื้นที่ 120x120 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 5 นาที ได้เป็นแผ่นตัวอย่างขนาด 120x120x2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.10

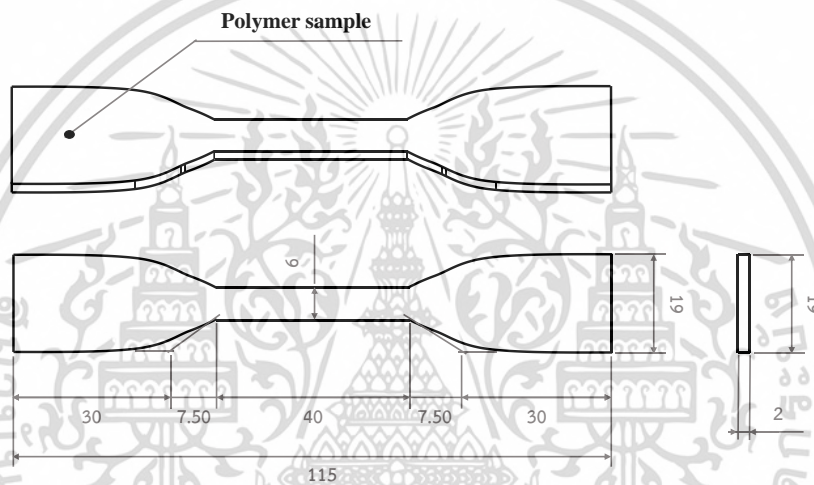


รูปที่ 3.10 การอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องอัดร้อนด้วยแม่พิมพ์

3.4.5 นำไปตัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปดัมเบลการทดสอบแรงดึงดำเนินการโดยใช้เครื่องทดสอบสากล (หมายเลข 015805 รุ่น LRK 10 kN, NTS Technology Co., Ltd., China) ตามมาตรฐานหมายเลขของ ASTM D638 ที่อุณหภูมิแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 3.11 ความเร็วตั้งไว้ที่ 10 มิลลิเมตร/นาที โหลดเซลล์ 5000 N ในการทดสอบแรงดึงของตัวอย่างทั้งได้รับการทดสอบ 5 ครั้งเพื่อความแม่นยำ ตัวอย่างที่ทำการอัดขึ้นรูปดัมเบลมีความยาวเกจอยู่ที่ 40 มิลลิเมตร และความกว้าง 6 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.12 และนำไปวัดค่า Tensile เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกล



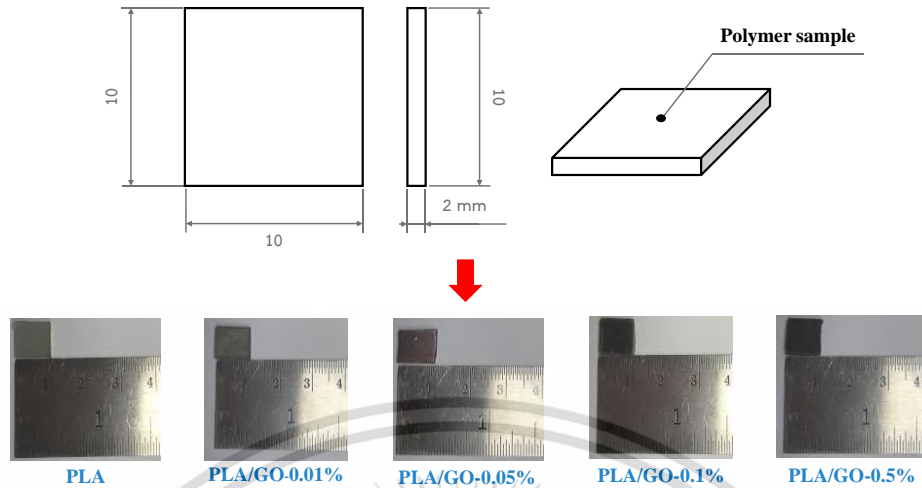
รูปที่ 3.11 การตัดชิ้นรูปด้วยเครื่องตัดชิ้นรูปดัมเบล



รูปที่ 3.12 ขนาดตัวอย่างที่ทำการอัดชิ้นรูปดัมเบล

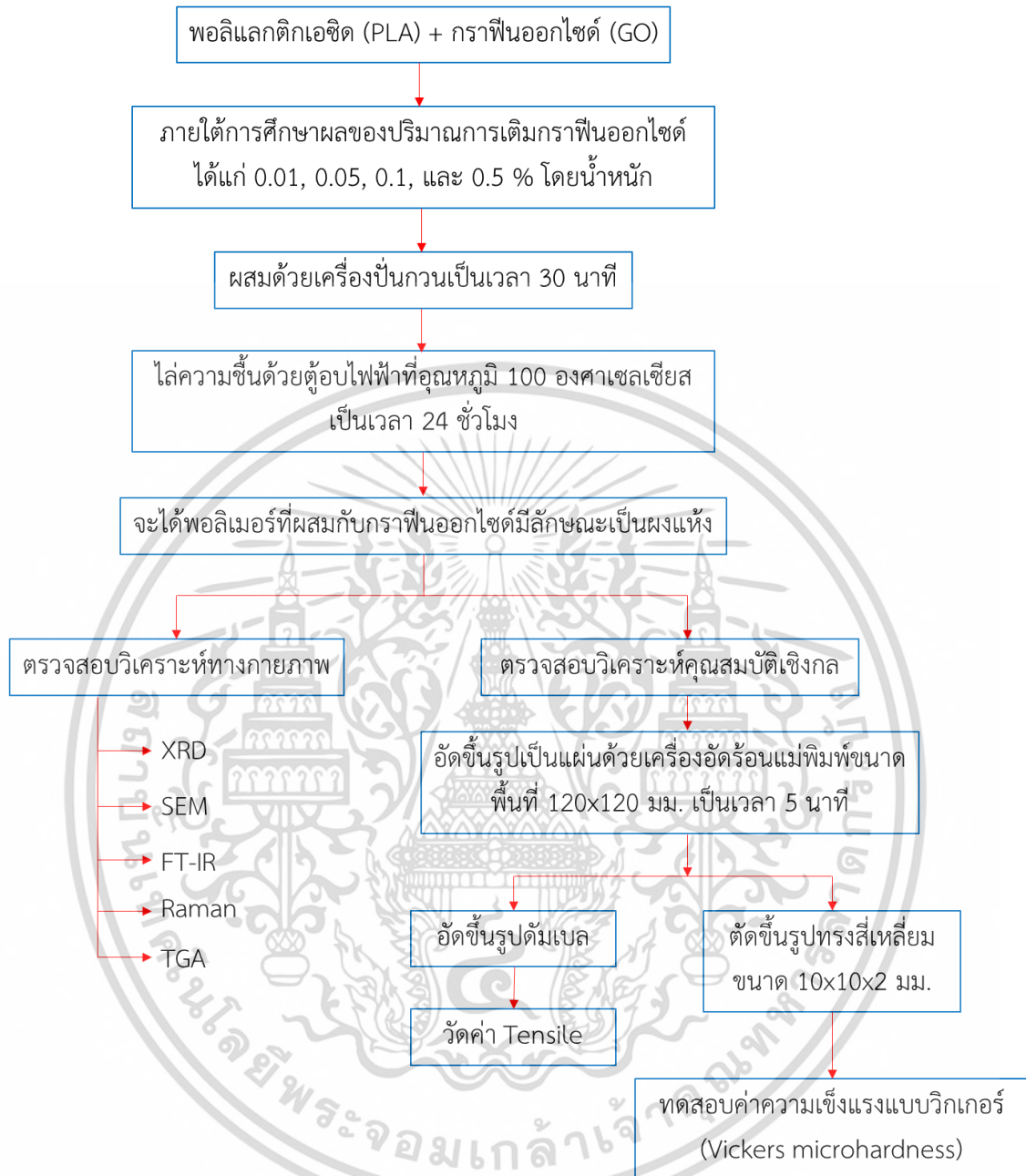
3.4.6 การวิเคราะห์ทดสอบความแข็งของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด และพอลิแลกติกเอซิดคอมโพสิทราฟีนออกไซด์ ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% นำไปทดสอบค่าความแข็งแรงเพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลดำเนินการโดยเครื่องวัดการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ Vickers Hardness Tester (รุ่น Shimadzu, HMV-2T, ประเทศญี่ปุ่น) ตัวอย่างขนาดชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.13 มีความยาว 10 มิลลิเมตร ความกว้าง 10 มิลลิเมตร และความหนา 2 มิลลิเมตร แรงสำหรับการกดเท่ากับ 1.961 นิวตัน ใช้เวลา 5 วินาทีต่อการกดหนึ่งครั้ง และการทดสอบแต่ละเงื่อนไขทำการทดสอบซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง และใช้ค่าเฉลี่ยเพื่อยืนยันผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การตัดชิ้นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 10x10x2 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แผนผังขั้นตอนวิธีการทดลองพอลิแลคติกเอซิดคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเตรียมแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ชนิดเอ็น

3.5.1 การเตรียมแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกจากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจากแก๊อินก๊อท Bi_2Te_3 ชนิดเอ็น



รูปที่ 3.15 แท่งอินก๊อท Bi_2Te_3 ชนิดเอ็น

3.5.2 นำแท่งอินก๊อทไปตัดให้ได้ขนาดและความสูงให้ใกล้เคียงกับขนาดและความสูงตามเงื่อนไข คือ $0.3 \times 0.3 \times 0.5$ ซม., $0.3 \times 0.3 \times 1.0$ ซม., $0.3 \times 0.3 \times 1.5$ ซม., $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ ซม., $0.5 \times 0.5 \times 1.0$ ซม., $0.7 \times 0.7 \times 0.5$ ซม., $0.7 \times 0.7 \times 1.0$ ซม. และ $0.7 \times 0.7 \times 1.5$ ซม.



รูปที่ 3.16 แท่งเซลล์ที่ตัดจากแท่งอินก๊อท Bi_2Te_3

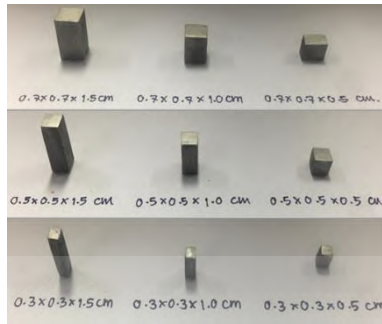
3.5.3 หลังจากนั้นนำแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ไปขัดกับเครื่องขัดสารจนได้ขนาดพื้นที่หน้าตัดและขนาดความสูงตามเงื่อนไขที่ได้กล่าวไว้ข้างบนแล้ว



รูปที่ 3.17 เครื่องขัดสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

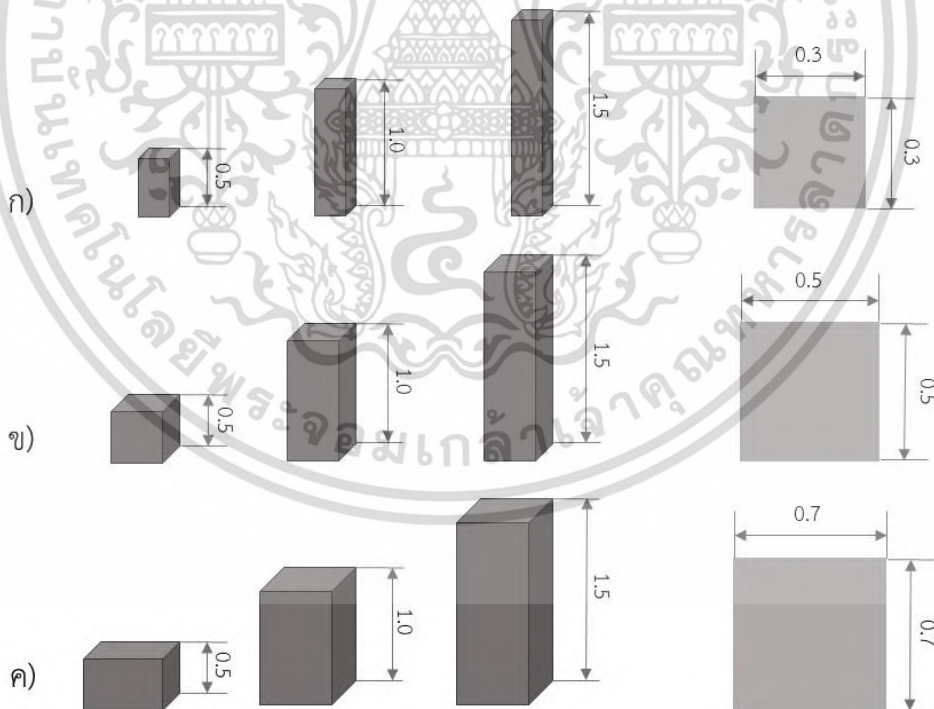
3.5.4 จะได้แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นที่ทำ การขัดเรียบเรียบร้อยแล้วตามเงื่อนไข



รูปที่ 3.18 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3

3.6 การศึกษาหาเงื่อนไขพื้นที่หน้าตัดและขนาดความสูงของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก จากแท่งอินกอท Bi_2Te_3

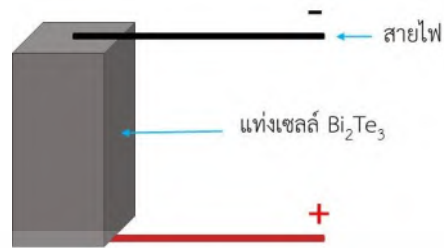
ในขั้นตอนนี้เพื่อศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของขนาดพื้นที่หน้าตัดและขนาดความสูงของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับทำความเย็นและนำไปออกแบบต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อนต่อไป โดยขั้นตอนนี้จะทำการทดลองตามเงื่อนไขดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ขนาดพื้นที่หน้าตัดและขนาดความสูงของแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ก) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.3×0.3 ซม. ที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม. ข) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5×0.5 ซม. ที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม. ค) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.7×0.7 ซม. ที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 นำแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ทุกเงื่อนไขมาต่อขั้วไฟฟ้าเพื่อทำการทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.20 แท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ที่ต่อขั้วไฟฟ้าแล้ว

3.6.2 นำแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 มาใส่ในอุปกรณ์ที่เตรียมไว้สำหรับจับแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าและวัดค่าความต่างของอุณหภูมิของแท่งเซลล์ออกมา



รูปที่ 3.21 อุปกรณ์ยึดแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

3.6.3 หลังจากนั้นทำการทดสอบกับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก ทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลทำการวัดที่แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ที่บริเวณด้านเชื่อมต่อขั้วบวกและขั้วลบ เชื่อมเข้ากับมัลติมิเตอร์เพื่ออ่านค่าของอุณหภูมิ มีการบันทึกการกระจายของอุณหภูมิด้วยกล้องอินฟราเรด เก็บข้อมูลของอุณหภูมิและภาพจากกล้องอินฟราเรดจะถูกบันทึกเป็นเรียลไทม์ จากนั้นจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.22



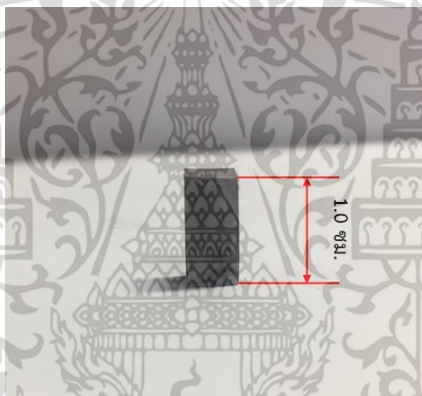
รูปที่ 3.22 ชุดอุปกรณ์ในการทดสอบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแท่งเซลล์ Bi_2Te_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์แบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน

การออกแบบต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์แบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน คำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนและการสร้างผลต่างของอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิด้านร้อนเทียบกับอุณหภูมิห้อง เนื่องจากการออกแบบพัฒนาไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อนจึงได้ทดลองและวิจัยวัสดุต่างๆที่จะนำมาเป็นส่วนประกอบสำหรับการออกแบบต้นแบบแผ่นทำความเย็น โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.7.1 หลังจากที่ได้เตรียมแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ตามเงื่อนไขต่างๆ ดังหัวข้อ 3.6 และทดสอบหาเงื่อนไขขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ต้องการทดลองซึ่งได้ขนาดแท่งที่เหมาะสมคือ $0.5 \times 0.5 \times 1.0$ ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3.23 เพื่อทำการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อนำไปเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกในการออกแบบต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน

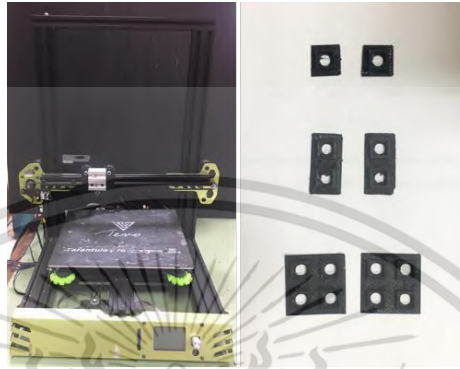


รูปที่ 3.23 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ขนาดพื้นที่ 0.5×0.5 ซม. ที่ความสูง 1.0 ซม.

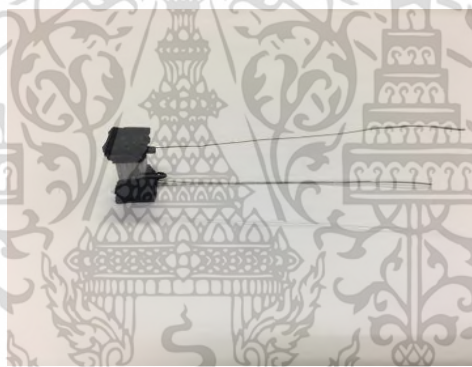
3.7.2 เมื่อเตรียมแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 เสร็จเรียบร้อยแล้ว นำมาทาขั้วด้วยกาวเงิน (Silver paint) ทั้งสองด้านของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกประกบด้วยแผ่นนิเกิลซึ่งป้องกันการเกิดออกไซด์ให้กับขั้วของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งการอบด้วยตู้อบสารนี้จะทำงานโดยใช้ความร้อนทำให้กาวเงินระเหยแห้งติดกับขั้วแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกได้เร็วขึ้น

3.7.3 ขั้นตอนการทำขั้วด้วยบล็อกพอลิเมอร์ที่ได้พัฒนาโดย PLA คอมโพสิตกราฟีนออกไซด์ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) เป็นการออกแบบขั้วไว้สำหรับประกอบแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ให้พอดีกับบล็อกของพอลิเมอร์เท่านั้น ทำการปรับขึ้นรูปบล็อกพอลิเมอร์สำหรับ 1 แท่ง 2 แท่ง และ 4 แท่งเซลล์ ออกแบบและสั่งปรับบล็อกพอลิเมอร์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS โดยจะออกแบบให้มีช่องว่างตรงกลางบล็อกที่ใส่แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละตัว เพื่อระบายความร้อนและความเย็นออกจากแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก และออกแบบเป็นร่องเพื่อร้อยสายไฟเชื่อมกับแท่งเซลล์

เทอร์โมอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 3.23 (ก) นำแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เตรียมไว้มาใส่ในบล็อกพอลิเมอร์ ทำการเชื่อมต่อด้วยบัดกรีสายไฟให้เชื่อมติดกับแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทาภาวเงินไว้แล้ว เพื่อทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.24 (ข)



(ก)



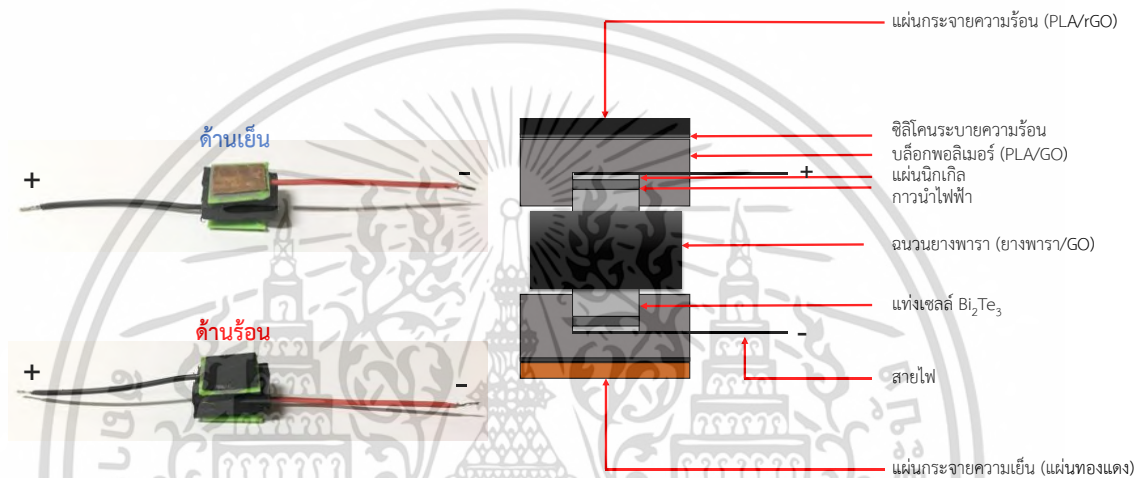
(ข)

รูปที่ 3.24 (ก) เครื่องพิมพ์สามมิติและบล็อกพอลิเมอร์สำหรับใส่แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก (ข) การต่อหัวโดยบัดกรีสายไฟให้เชื่อมติดกับ 1 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

3.7.4 จากนั้นทาด้วยกาวซิลิโคนที่แผ่นพอลิเมอร์ทั้งสองด้าน ซึ่งกาวซิลิโคนจะทำหน้าที่เชื่อมต่อประสานนำความร้อนจากโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ไปยังแผ่นกระจายความร้อนและความเย็น เพื่อให้พื้นที่ผิวสัมผัสกันได้ดียิ่งขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนได้ดีขึ้น เพราะหากไม่มีซิลิโคน คั่นระหว่างโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 และแผ่นกระจายความร้อน ความร้อนจะไม่ถ่ายเทไปแผ่นกระจายความร้อนได้เท่าที่ควรโดยที่จะใช้แผ่นพอลิเมอร์ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO + Polymer) ทำหน้าที่ในการดึงความร้อนออกมา ส่วนด้านเย็นจะใช้แผ่นทองแดงในการดึงความเย็น ทำการใส่ฉนวนกันความร้อนให้กับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น โดยฉนวนกันความร้อนที่ใช้คือ ฉนวนยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ (rubber+GO) ที่ได้ทำการศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการ

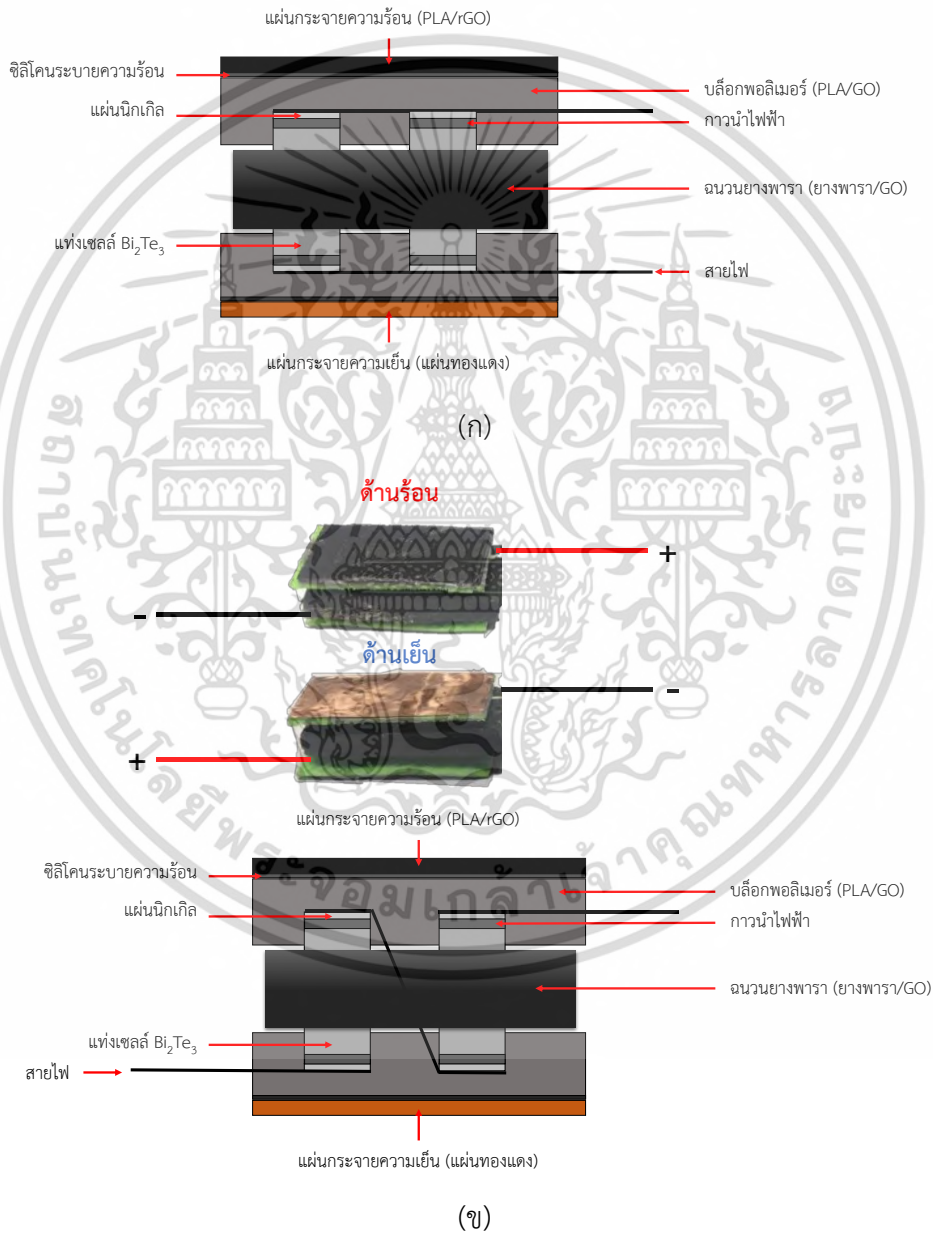
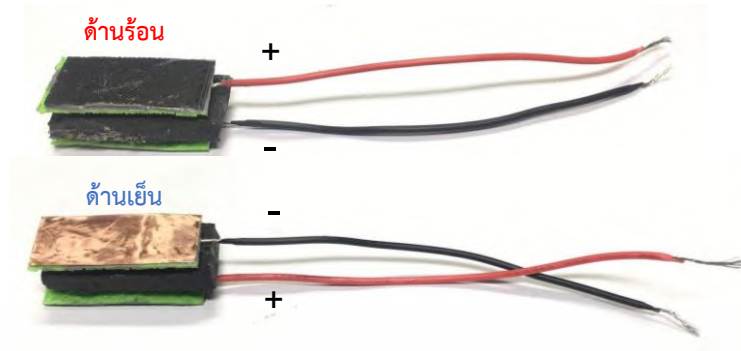
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นฉนวนความร้อนที่ดี เป็นวัสดุฉนวนกั้นความร้อนที่สามารถสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งได้ง่าย ปกติแล้วคุณสมบัติทั่วไปของยางพาราสามารถนำความร้อนได้ดีแต่เมื่อทำการคอมโพสิทกับกราฟีนออกไซด์ พบว่าสามารถเป็นฉนวนกั้นความร้อนได้ดี โดยฉนวนยางพาราคอมโพสิทกับกราฟีนออกไซด์สามารถผลิตขึ้นเองภายในห้องปฏิบัติการได้เอง ดังแสดงในรูปที่ 3.25 หลังจากนั้นนำไมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ขนาด $0.5 \times 0.5 \times 1.0$ ซม. ไปทำการวัดหาเงื่อนไขการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมกับไมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบด้วย 1 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 3.25 ส่วนประกอบไมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ที่ประกอบด้วย 1 เซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

3.7.5 ทำการเพิ่มจำนวนแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็น 2 แท่งเซลล์ เงื่อนไขของพื้นที่หน้าตัดและขนาดความสูงยังเท่าเดิม โดยมีการต่อวงจรไฟฟ้าของวิธีคือ ต่อแบบขนาน 2 แท่งเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.26 (ก) และต่อแบบอนุกรม 2 แท่งเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.26 (ข) เพื่อเปรียบเทียบการต่อวงจรที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน

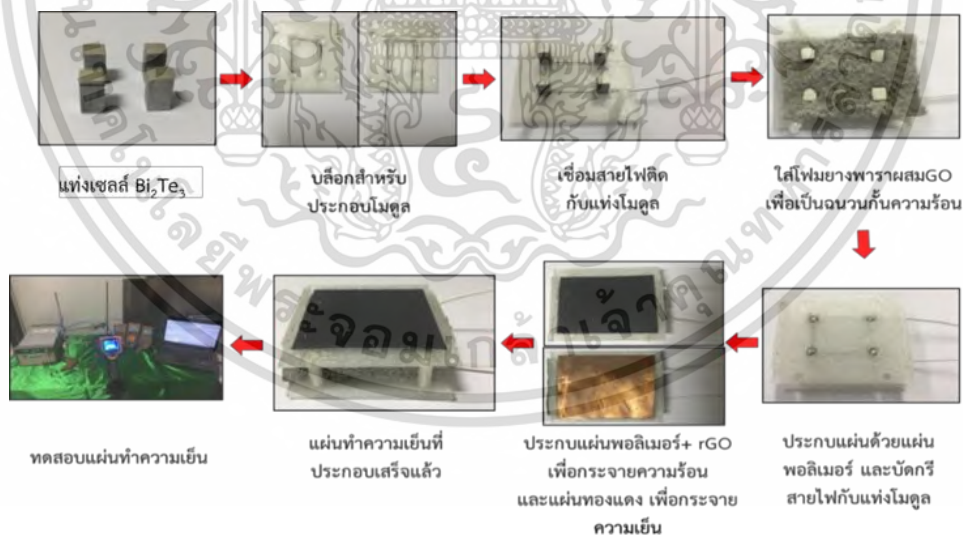


รูปที่ 3.26 (ก) ส่วนประกอบของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ต่อขนาน 2 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

(ข) ส่วนประกอบของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ต่ออนุกรม 2 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

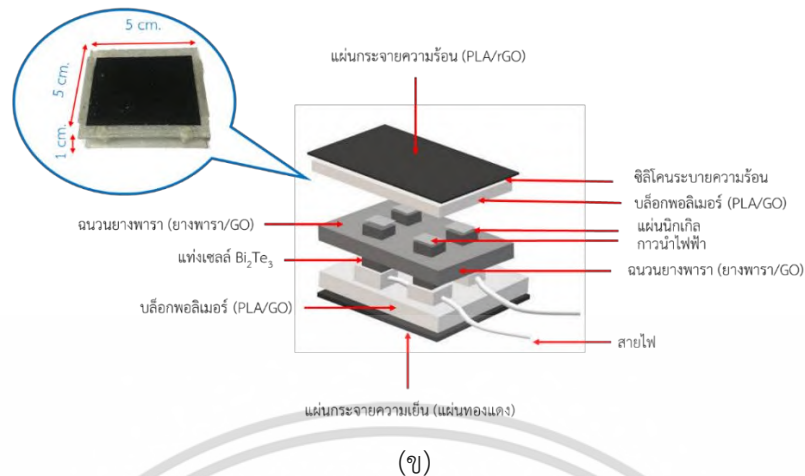
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.6 สุกท้ายเมื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบการต่อวงจรไฟฟ้าจากโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 2 แห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก เลือกลงไขการต่อที่ติกว่ามาออกแบบต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแห่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน สำหรับ 4 แห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก ขั้นตอนในการประกอบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 4 แห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 3.27 (ก) เริ่มจากการเตรียมแห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ทั้งหมด 4 แห่งเซลล์เสร็จแล้วนำสายไฟมาร้อยตามร่องสายไฟที่ออกแบบไว้เพื่อบัดกรีสายไฟให้ติดกับแห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก ทั้ง 4 แห่ง นำแห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกมาใส่ในบล็อกพอลิเมอร์ที่ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ และออกแบบจากโปรแกรม SOLIDWORKS แล้วบัดกรีสายไฟเชื่อมติดกับแห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับแห่งเทอร์โมอิเล็กทริกโดยตรง หลังจากนั้นทำการใส่ฉนวนยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ และประกบด้วยแผ่นพอลิเมอร์อีกครั้งเพื่อประกอบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกให้แน่น จากนั้นนำแผ่นพอลิเมอร์ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซึ่งจะทำหน้าที่ในการดึงความร้อนจากโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกผ่านแผ่นพอลิเมอร์ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ออกมาด้านนอกเพื่อระบายความร้อนผ่านในโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก และประกบแผ่นทองแดงเพื่อกระจายความเย็นในฝั่งที่มีการทำความเย็น จะได้เป็นต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแห่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน ที่ประกอบด้วย 4 แห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยไม่ต้องใช้ระบบระบายความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.27 (ข)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 (ก) ขั้นตอนในการประกอบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 4 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก (ข) ส่วนประกอบของต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัฒนาระบายความร้อน

3.8 ขั้นตอนการทดลองโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก

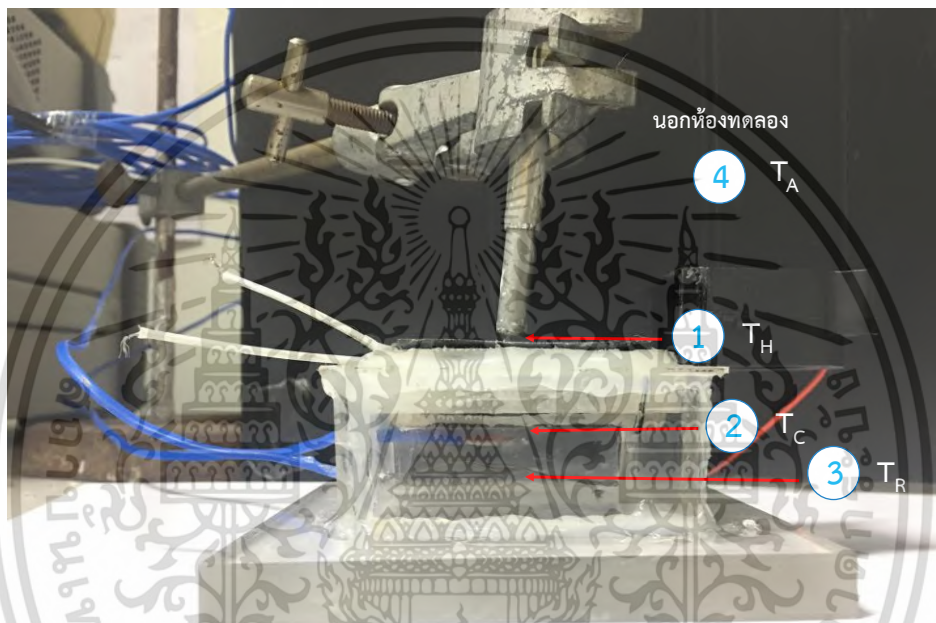
ขั้นตอนในการวัดอุณหภูมิและการจ่ายไฟฟ้าของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์แบบไม่มีระบบพัฒนาระบายความร้อนมีรายละเอียดการจตุอุปกรณ์และการทดลอง เริ่มจากทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดโดยจะมีอุปกรณ์ ได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power supply) สายเทอร์โมคอปเปิล โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก มัลติมิเตอร์ กล้องอินฟาเรด และคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูล โดยในการทดลองวัดค่าความต่างอุณหภูมิของแผ่นทำความเย็นจะวัด เมื่อทำการต่ออุปกรณ์เสร็จ ทำการเปลี่ยนค่าแรงดันของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อหาแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากอุณหภูมิด้านเย็นว่าที่ความดันไฟฟ้าเท่าใดให้อุณหภูมิที่แผ่นทองแดงอุณหภูมิต่ำที่สุดจากอุณหภูมิห้อง เครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้านี้สามารถจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ 8 V และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ถึง 3 A เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) โดยที่มีการเงื่อนไขการจ่ายศักย์ไฟฟ้า คือ 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.1, 0.3 และ 0.5 V และกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป

ในการทดลองต้นแบบแผ่นทำความเย็นได้มีการออกแบบห้องของการทดลองเพื่อทำการวัดในระบบปิดปริมาตรของห้องทดลองคือ 75, 120 และ 180 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้แผ่นอะคริลิกตัดตามขนาดทำเป็นห้องทดลองและยึดด้วยกาวซิลิโคนกันรอยรั่ว และทำการติดตั้งแผ่นโมดูลทำความเย็น โดยจะทำการติดตั้งแผ่นด้านร้อนไว้นอกห้องของการทดลอง และติดตั้งแผ่นด้านเย็นไว้ในห้องทดลอง สำหรับวัดค่าความต่างของอุณหภูมิของแผ่นด้านร้อนกับแผ่นด้านเย็นเพื่อหาค่าความแตกต่างระหว่างแผ่นของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก และมีการวัดอุณหภูมิภายในห้องกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เพื่อหาค่าความต่างของอุณหภูมิมะหว่างอุณหภูมิภายในห้องกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

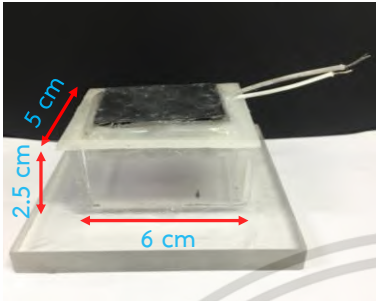
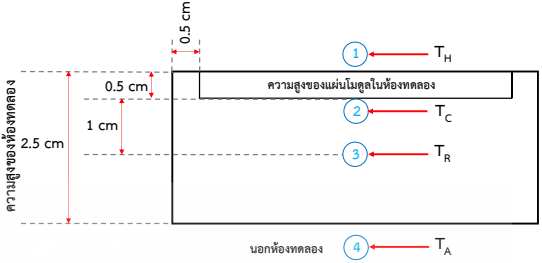
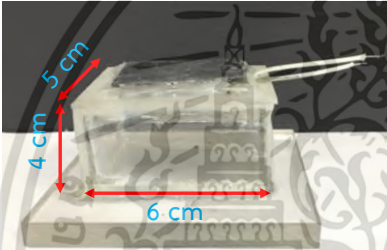
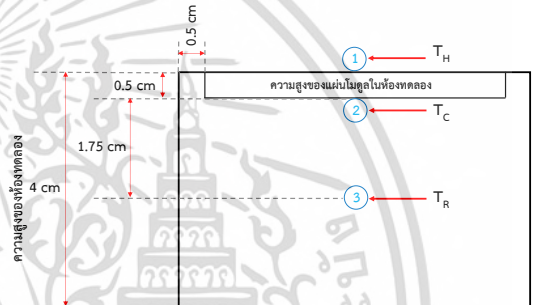
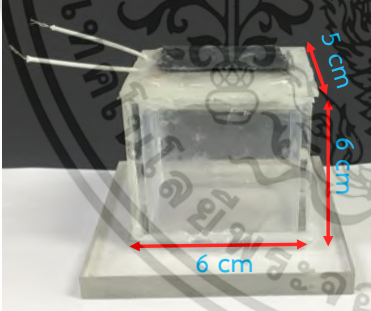
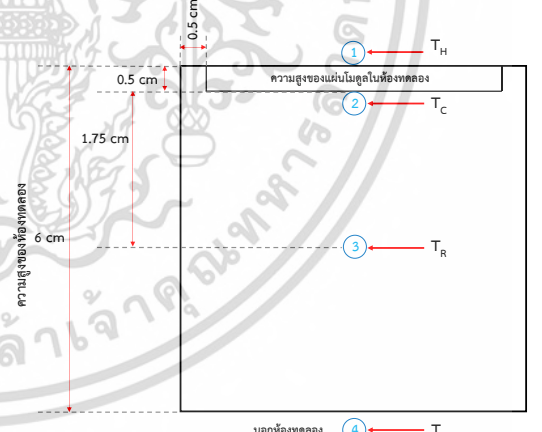
T_H	คือ	อุณหภูมิด้านร้อนของแผ่นทำความเย็น
T_C	คือ	อุณหภูมิด้านเย็นของแผ่นทำความเย็น
T_R	คือ	อุณหภูมิภายในห้องของการทดลอง
T_A	คือ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3.28 รูปแสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิของแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในห้องการทดลอง

โดยในการทดลองแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในห้องการทดลอง (ระบบปิด) จะทำการวัดโดยตำแหน่งที่ 1 จะวัดอุณหภูมิบริเวณแผ่นพอลิเมอร์/rGO ด้านร้อน ตำแหน่งที่ 2 จะวัดอุณหภูมิบริเวณแผ่นทองแดงซึ่งติดตั้งในด้านเย็น ตำแหน่งที่ 3 จะวัดอุณหภูมิภายในห้องการทดลอง ซึ่งวัดตำแหน่งบริเวณกลางห้อง และตำแหน่งที่ 4 จะวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (นอกห้องการทดลอง) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

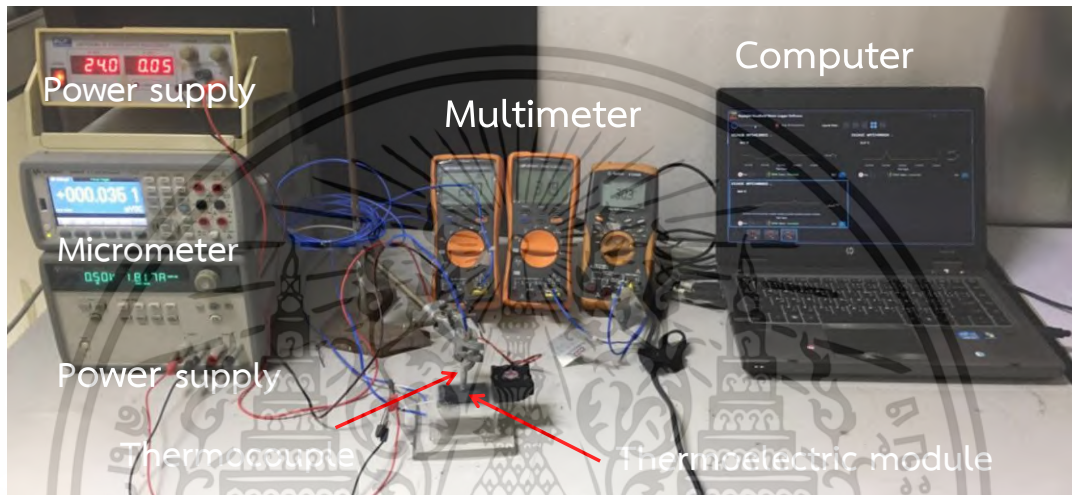
ตารางที่ 3.1 ขนาดห้องของการทดลองและตำแหน่งวัดของอุณหภูมิ

ขนาดห้องทดลอง	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ
 <p>75 ลูกบาศก์เซนติเมตร</p>	
 <p>120 ลูกบาศก์เซนติเมตร</p>	
 <p>180 ลูกบาศก์เซนติเมตร</p>	

เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วจะทำให้เกิดด้านร้อน และด้านเย็น ขึ้น จะทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคอปเปิล ทำการวัดที่แผ่นพอลิเมอร์ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (ด้านร้อน) และวัดที่แผ่นทองแดง (ด้านเย็น) เชื่อมเข้ากับมัลติมิเตอร์เพื่ออ่านค่าของอุณหภูมิ ในการทดลองวัดอุณหภูมิของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกทุกครั้งจะมีการดูการกระจายของอุณหภูมิด้วยกล้องอิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟาเรด (Thermal imaging camera) ซึ่งกล้องอินฟราเรดจะมองไม่เห็นภาพจริงแต่จะจับพลังงานรังสีอินฟราเรด โดยเซนเซอร์จะทำการแปลงรังสีอินฟราเรดให้อยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้า และหลังจากนั้น อิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์จะทำการแปลงข้อมูลที่ได้รับมาจากตัวตรวจจับแสดงผลบนจอภาพได้ ซึ่งวัตถุที่ร้อนกว่าจะแสดงสีสว่าง และวัตถุที่เย็นกว่าจะแสดงสีมืดกว่า ข้อมูลของอุณหภูมิ และภาพจากกล้องอินฟราเรด ดูการกระจายความร้อน และในการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมินั้นจะบันทึกเป็นเรียลไทม์ จากนั้นจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลเพื่อบันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.29



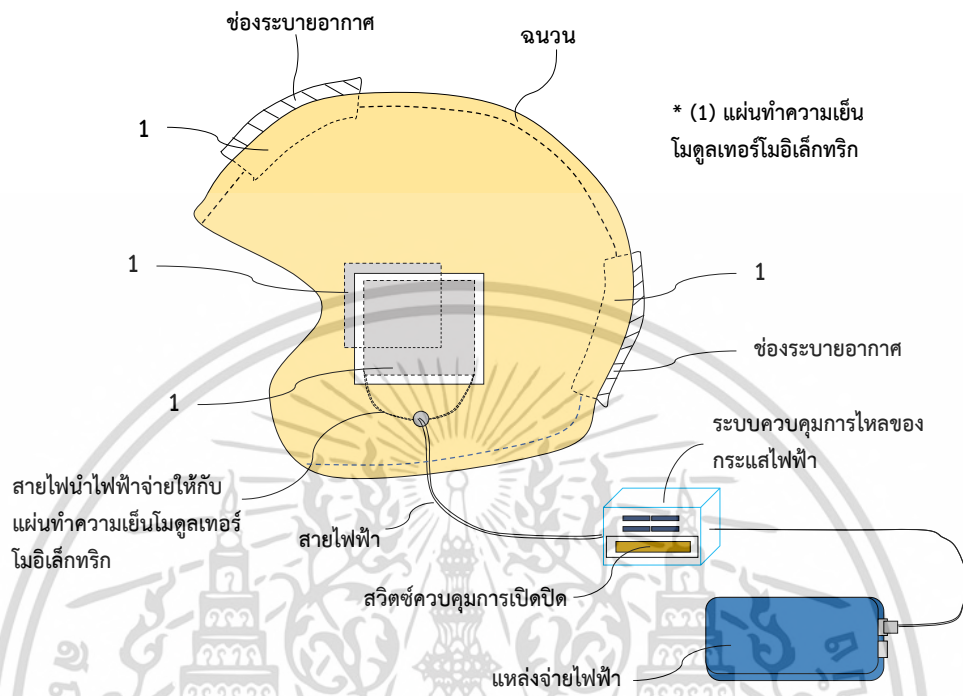
รูปที่ 3.29 ชุดอุปกรณ์ในการทดลองต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน

3.9 การติดตั้งต้นแบบแผ่นทำความเย็นในหมวกกันน็อก

การติดตั้งแผ่นทำความเย็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกในหมวกกันน็อกเพื่อการประยุกต์ใช้งานจริง โดยนำแผ่นทำความเย็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก นำไปติดตั้งทั้ง 3 จุด ในต้นแบบหมวกกันน็อกปรับอากาศ บริเวณด้านหน้าและด้านข้างทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และมีช่องระบายอากาศสำหรับการระบายความร้อนให้กับแผ่นทำความเย็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ในโครงสร้างของต้นแบบหมวกกันน็อกปรับอากาศแบบไร้พัดลมระบายความร้อนจะมีการใส่ฉนวนจากแผ่นยางธรรมชาติผสมกราฟีนออกไซด์เพื่อช่วยในการรองรับแรงกระแทกและสกัดกั้นความร้อนจากภายนอกหมวกได้ โดยทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเช่นตัวเก็บประจุ แบตเตอรี่ ให้กับแผ่นทำความเย็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกทั้ง 4 แผ่น ต่อสายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับสายโลหะนำไฟฟ้าจ่ายให้กับแผ่นทำความเย็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก โดยมีระบบควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีสวิตช์ควบคุมการเปิดปิด สำหรับควบคุมการเปิดปิดของการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแผ่นทำความเย็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบหมวกกันน็อกปรับอากาศแบบไร้พัดลมระบายความร้อน ติดตั้งจริงในหมวกกันน็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 แนวคิดในการออกแบบหมวกกันน็อกติดตั้งแผ่นทำความเย็นแบบไร้ระบบระบายความร้อน

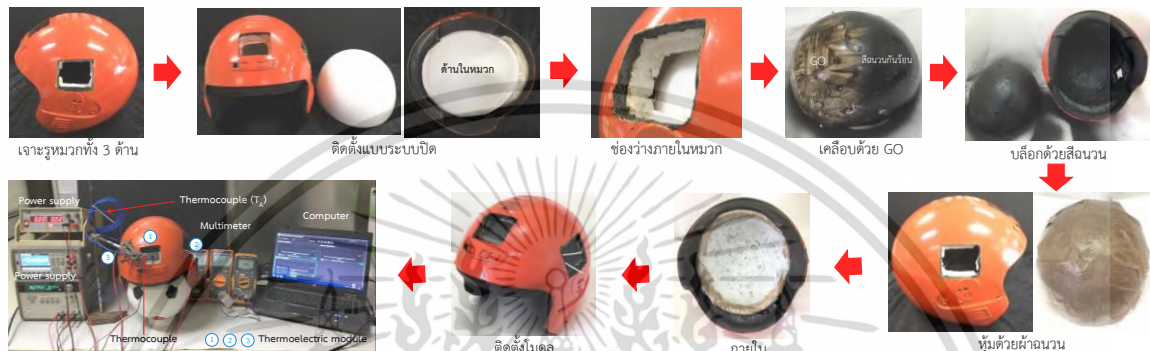


รูปที่ 3.31 การติดตั้งจริงในหมวกกันน็อกติดตั้งแผ่นทำความเย็นแบบไร้ระบบระบายความร้อน

วิธีการเซ็ระบบห้องปิดในหมวกกันน็อก เริ่มแรกนำโฟมที่มีขนาดความกว้าง 20 ซม. มาใส่เข้าไปในหมวก แต่โฟมยังสามารถที่จะให้อากาศไหลเข้า-ออกได้ จึงได้มีการเสริมความเป็นฉนวนด้วยการเคลือบกราฟีนออกไซด์ GO คุณสมบัติกราฟีนออกไซด์ไม่นำไฟฟ้าและไม่นำความร้อนสามารถเป็นฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ดี และฉีดสเปย์ฉนวนกันร้อนเคลือบเข้าไปทับอีกรอบ จากนั้นพอเริ่มแห้งใส่ผ้าฉนวนคลุมอีกชั้นเพื่อเพิ่มความฉนวน ด้านในของหมวกกันน็อกก็จะมีการทำงานเช่นเดียวกัน จากนั้นใส่ฟองที่หุ้มฉนวนเสร็จไปในหมวกกันน็อกเพื่อทำเป็นระบบห้องปิด และติดตั้งแผ่นโมดูลทำความเย็นเข้าไปในหมวกกันน็อก หลังจากนั้นนำไปทดสอบค่าความต่างของอุณหภูมิภายในห้องของหมวกกันน็อกและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 แผนผังการเซ็ทห้องปิดในหมวกกันน็อก

ขนาดของปริมาตรของห้องปิดในหมวกกันน็อกเราสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

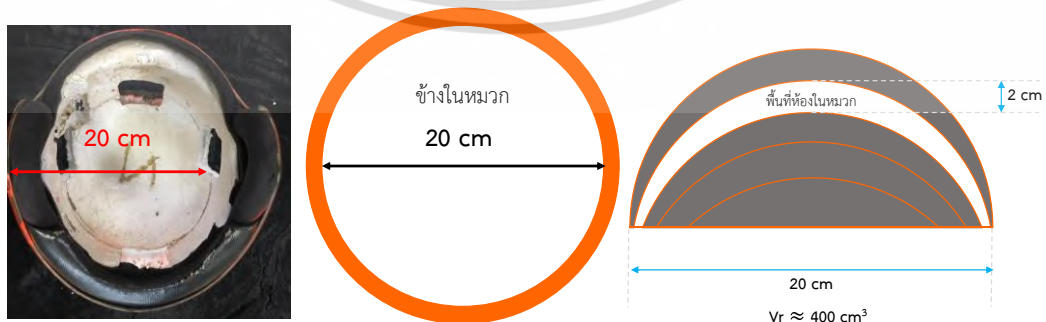
ปริมาตรทรงกลม
$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (3.1)$$

ดังนั้นปริมาตรครึ่งทรงกลม
$$V = \frac{2}{3} \pi r^3 \quad (3.2)$$

และปริมาตรของห้องปิดในหมวกเป็น 1/5 ของครึ่งทรงกลมสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.3

1/5 ของครึ่งทรงกลม
$$V = \frac{1}{5} \times \frac{2}{3} \pi r^3 \quad (3.3)$$

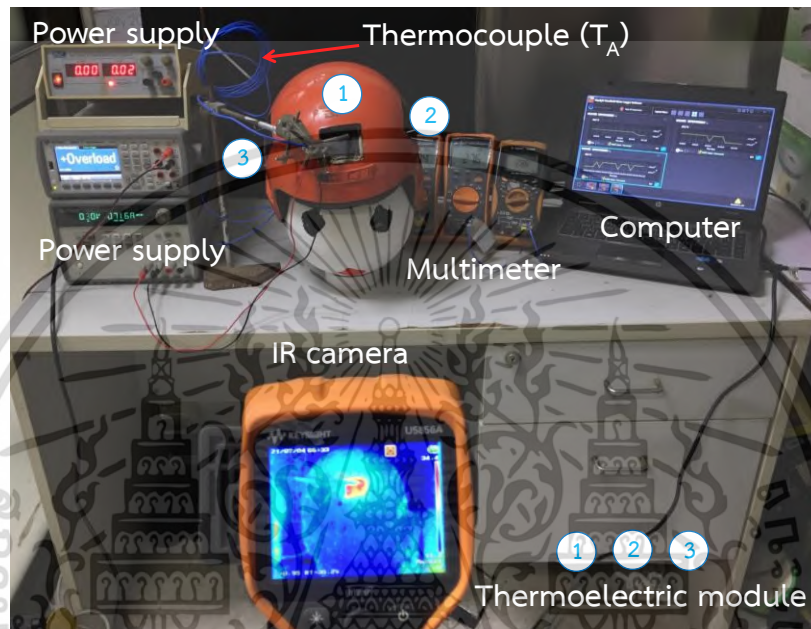
ดังนั้นปริมาตรของห้องปิดในหมวกกันน็อกดังแสดงในรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 ปริมาตรของห้องปิดในหมวกกันน็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการทดลองโดยแยกจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโมดูลแต่ละตัวจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และทำการวัดอุณหภูมิภายในห้องปิดในหมวกกันน็อกเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมข้างนอก จากนั้นทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าทดสอบวัดค่าอุณหภูมิ และวัดการกระจายอุณหภูมิด้วยกล้องอินฟราเรด จากนั้นบันทึกค่าลงในคอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 อุปกรณ์ในการทดสอบวัดอุณหภูมิในหมวกกันน็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

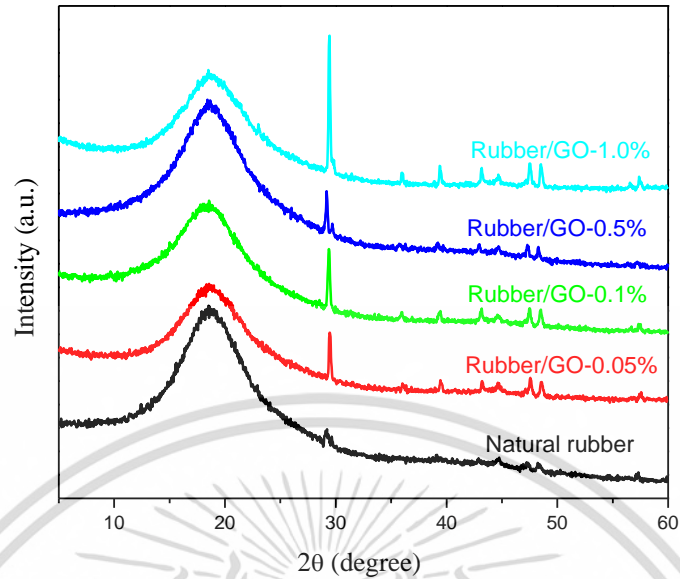
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและอภิปรายผลของงานวิจัย โดยใน ส่วนแรกเป็นผลทดลองของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ ในส่วนถัดมาเป็นผลทดลองการพัฒนาพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ เพื่อใช้สำหรับเป็นบล็อกประกอบแผ่นทำความเย็น รวมไปถึงการหาเงื่อนไขพื้นที่หน้าตัดและความสูงของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกบิล์มัสเทลลูไรด์ชนิดเอ็น ผลการวัดความแตกต่างอุณหภูมิของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกคูเลอร์แบบไม่มีพัดลมระบายความร้อน และติดตั้งแผ่นโมดูลทำความเย็นในหมวกกันน็อกเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นของแผ่นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ทั้งหมดที่กล่าวมาแสดงได้ในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ (rubber/GO)

4.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของยางพาราธรรมชาติและยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ (rubber/GO) ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

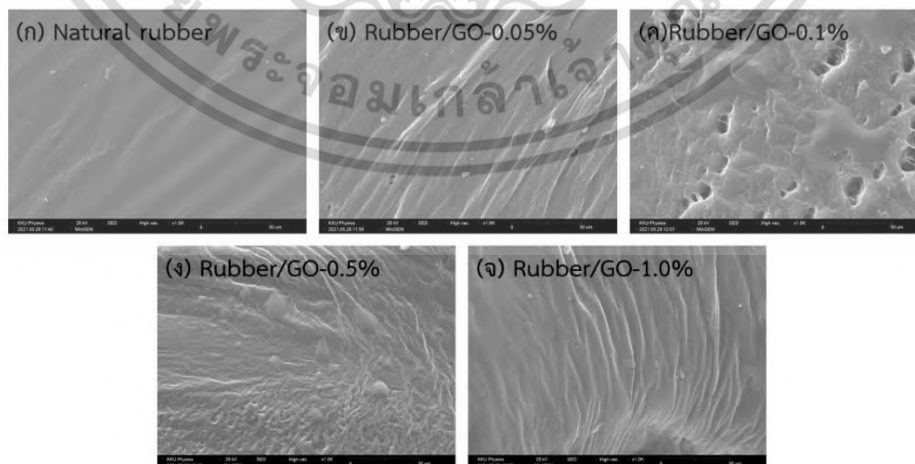
จากกราฟเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ในมุม 2θ ในช่วง 5-60 องศา ของยางพาราธรรมชาติและยางพาราคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ (rubber/GO) ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0% จะเห็นได้ว่าพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างทั้งหมดที่เด่นชัดมุม 2θ ประมาณ 16.70 องศา [40-41] อย่างไรก็ตามพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มุม 2θ เท่ากับ 10.80 องศา [37] ของกราฟีนออกไซด์ไม่สามารถแสดงให้เห็นในกราฟได้เนื่องจากพีคการเลี้ยวเบนของยางพาราสูงมากพีคของการเลี้ยวเบนของ rubber/GO ลดลงเมื่อมีการเติม GO แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงพีคของยางพาราเมื่อมีการเติม GO ลงไป ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแบบ XRD ของ rubber และ rubber/GO ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0%

4.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างลักษณะสัณฐานวิทยาของยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์ (rubber/GO) ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างลักษณะสัณฐานวิทยาภาพ SEM ของตัวอย่างแผ่นยางพาราธรรมชาติและแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์ (rubber/GO) ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0% ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เผยให้เห็นลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวหลังจากที่มีการคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์ลงไป ในยางพาราธรรมชาติ ในรูปที่ 4.2 (ข-จ) เมื่อเทียบกับยางพาราธรรมชาติ ในรูปที่ 4.2 (ก) พบว่าที่ กำลังขยาย 1000x เมื่อมีการเติม GO ลงไปลักษณะโครงสร้างพื้นผิวมีความขรุขระ และเกิดช่องว่างรูพรุน เล็กน้อยเมื่อเทียบกับยางพาราธรรมชาติ



รูปที่ 4.2 ภาพ SEM ของ natural rubber และ rubber/GO ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนของยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ (rubber/GO)

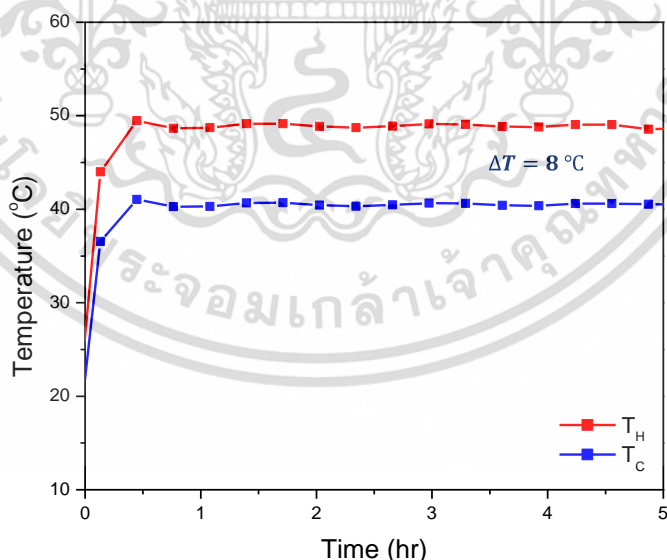
การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนความเป็นฉนวนกันความร้อนของยางพาราธรรมชาติ และยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0% ด้วยวิธีการวัดค่าความต่างของอุณหภูมิ และเทคนิคการทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity Testing)

4.1.3.1 ผลการวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของยางพาราธรรมชาติและยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ด้วยการวัดความต่างของอุณหภูมิ

จากการทดสอบความเป็นฉนวนกันความร้อนของแผ่นยางพาราธรรมชาติและยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ โดยทำการจำลองด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยเตาความร้อน (hot plate) อุณหภูมิหน้าเตาประมาณ 50 องศา ทำการวัดที่อุณหภูมิห้องและการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลด้านร้อน (T_H) และด้านเย็น (T_C) ซึ่งทำการวัดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แสดงผลแต่ละเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) ผลการวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของแผ่นยางพาราธรรมชาติ

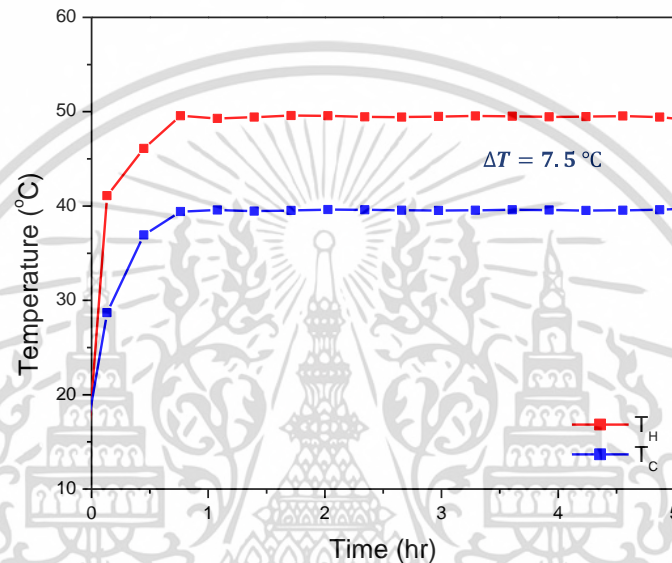
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (T_H , T_C) และเวลาของแผ่นยางพาราธรรมชาติพบว่าแผ่นยางพาราธรรมชาติเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที ให้ความแตกต่างอุณหภูมิเท่ากับ 8°C เห็นว่าความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ตลอดการทดลอง 5 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของแผ่นยางพาราธรรมชาติ

2) ผลการวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราไฟีนออกไซด์ที่ 0.05 %

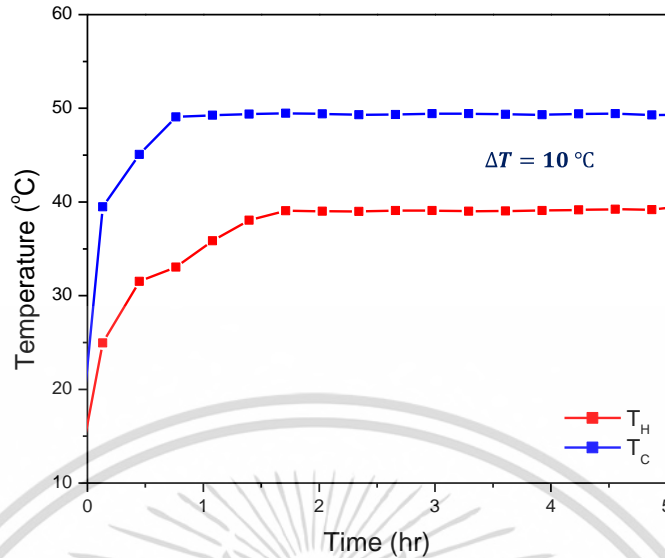
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (T_H , T_C) และเวลาของแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราไฟีนออกไซด์ที่ 0.05 % พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที ให้ความแตกต่างอุณหภูมิเท่ากับ $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ เห็นว่าความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ตลอดการทดลอง 5 ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับแผ่นยางพาราธรรมชาติแล้วความแตกต่างของอุณหภูมียังไม่มีการเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของยางพารา/GO-0.05 %

3) ผลการวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราไฟีนออกไซด์ที่ 0.1 %

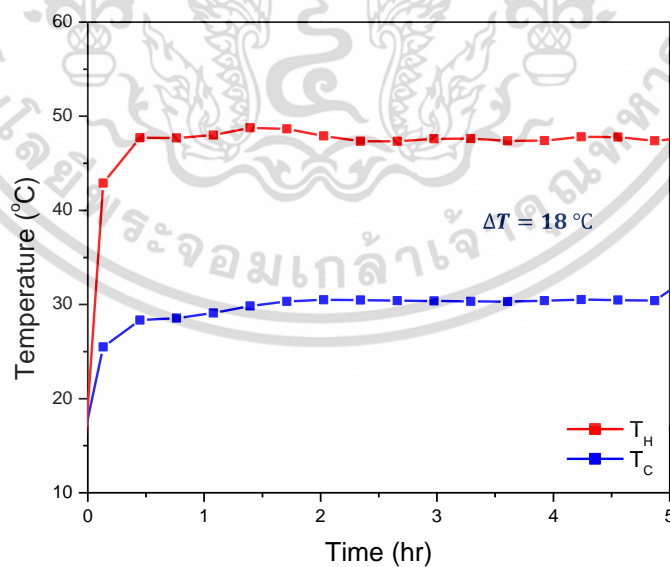
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (T_H , T_C) และเวลาของแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราไฟีนออกไซด์ที่ 0.1 % พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที ให้ความแตกต่างอุณหภูมิเท่ากับ $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ เห็นว่าความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ตลอดการทดลอง 5 ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับแผ่นยางพาราธรรมชาติ แผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราไฟีนออกไซด์ที่ 0.05 % แล้วความแตกต่างของอุณหภูมิมิมีการเพิ่มขึ้นจากเดิม ($\Delta T = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของยางพารา/GO-0.1 %

4) ผลการวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราไฟท์ออกไซด์ที่ 0.5 %

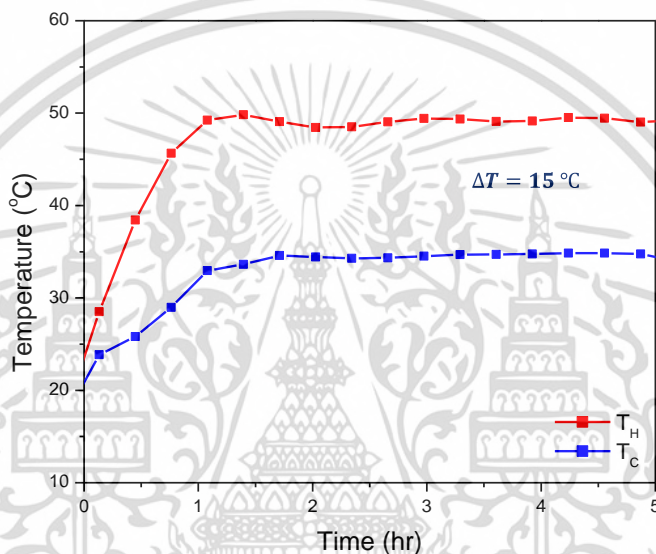
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (T_H , T_C) และเวลาของแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิตกราไฟท์ออกไซด์ที่ 0.5 % พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที ให้ความแตกต่างอุณหภูมิเท่ากับ 18°C เห็นว่าความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ตลอดการทดลอง 5 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบแล้วความแตกต่างของอุณหภูมิมิมีการเพิ่มขึ้นจากเดิม ($\Delta T = 8^\circ\text{C}$) ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของยางพารา/GO-0.5 %

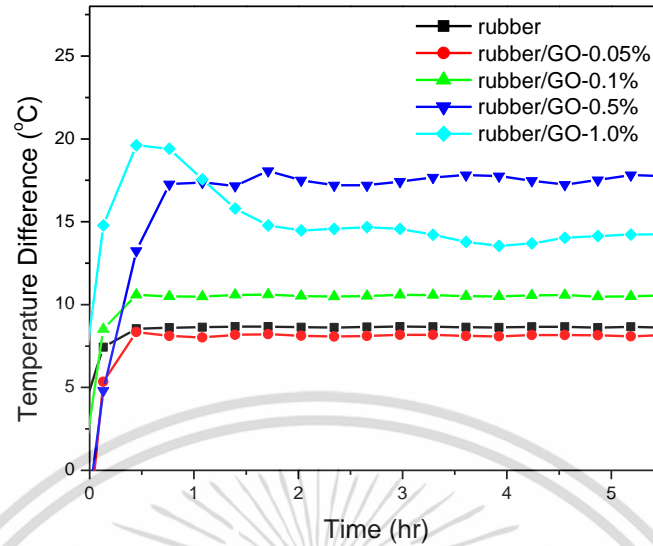
5) ผลการวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิท กราฟีนออกไซด์ที่ 1.0 %

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (T_H , T_C) และเวลาของแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ที่ 1.0 % พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที ให้ความแตกต่างอุณหภูมิเท่ากับ $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ เห็นว่าความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ตลอดการทดลอง 5 ชั่วโมง จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเทียบกับเงื่อนไขของยางพารา/GO-0.5 % ผลต่างของอุณหภูมิลดลงเมื่อทำการเพิ่มปริมาณ GO ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของยางพารา/GO-1.0 %

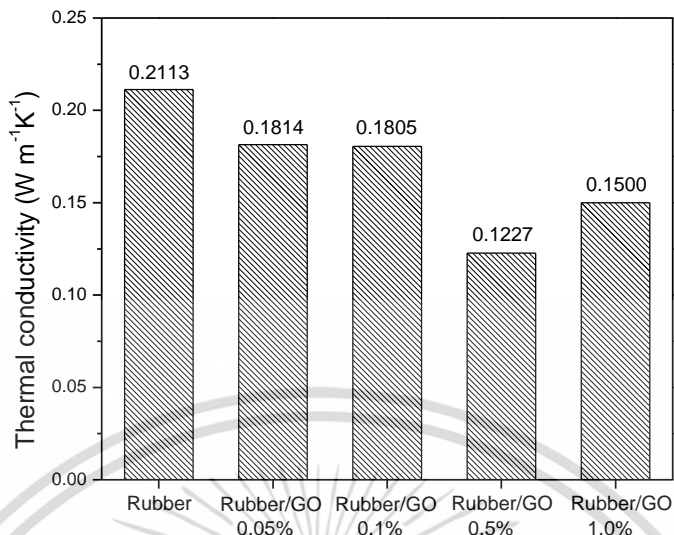
จากผลการวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของแผ่นยางพาราธรรมชาติและแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0 % ที่ได้กล่าวมาข้างต้น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างอุณหภูมิและเวลา พบว่าค่าความต่างของอุณหภูมิจากเงื่อนไขที่เติม GO 0.05% 0.1% และ 0.5% จะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของ GO ที่เติมลงไป แต่ค่าความต่างของอุณหภูมิที่เงื่อนไข GO-1.0% จะลดลงต่ำกว่าเงื่อนไข GO-0.5% จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่แผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ที่ 0.5% มีค่าความต่างของอุณหภูมิที่สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างอุณหภูมิและเวลาของแผ่นยางพาราธรรมชาติและแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0 %

4.1.3.2 ผลการวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของยางพาราธรรมชาติและยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิควัดค่าการนำความร้อน

จากผลการวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของยางพาราธรรมชาติและยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0 % พบว่าค่าการนำความร้อนของยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ (rubber/GO) ทุกเงื่อนไขมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าแผ่นยางพาราธรรมชาติ แต่ที่เงื่อนไขยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ rubber/GO-0.5% มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำที่สุดเท่ากับ $0.1227 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ เมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ แสดงว่าเมื่อวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนน้อยมากๆ จะเรียกว่า ฉนวนความร้อน หรือวัสดุที่ไม่ยอมให้พลังงานความร้อนไหลผ่านหรือไหลผ่านได้น้อย ดังนั้นที่ rubber/GO-0.5% จึงมีค่าความเป็นฉนวนที่ดีที่สุดซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าความต่างอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงค่าการนำความร้อนของแผ่นยางพาราธรรมชาติและแผ่นยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0 %

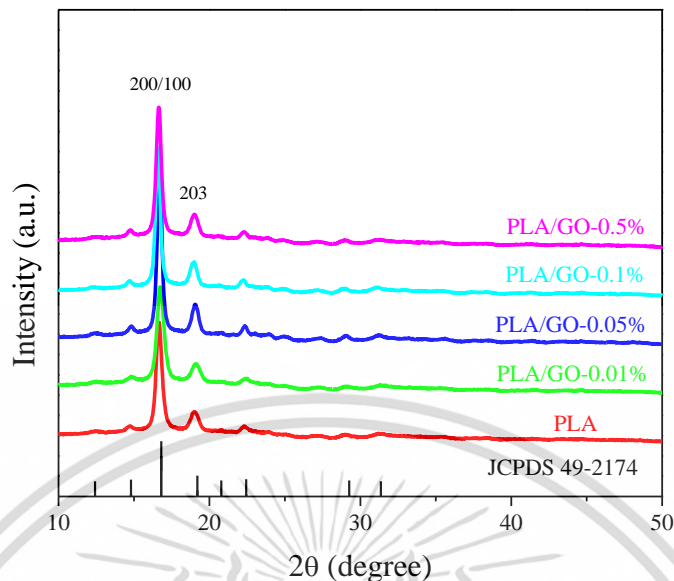
4.2 ผลการพัฒนาพอลิเมอร์ชนิดพอลิแล็กติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์

4.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแล็กติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์

การวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแล็กติกเอซิด และพอลิแล็กติกเอซิดคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% ด้วยเทคนิคต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแล็กติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

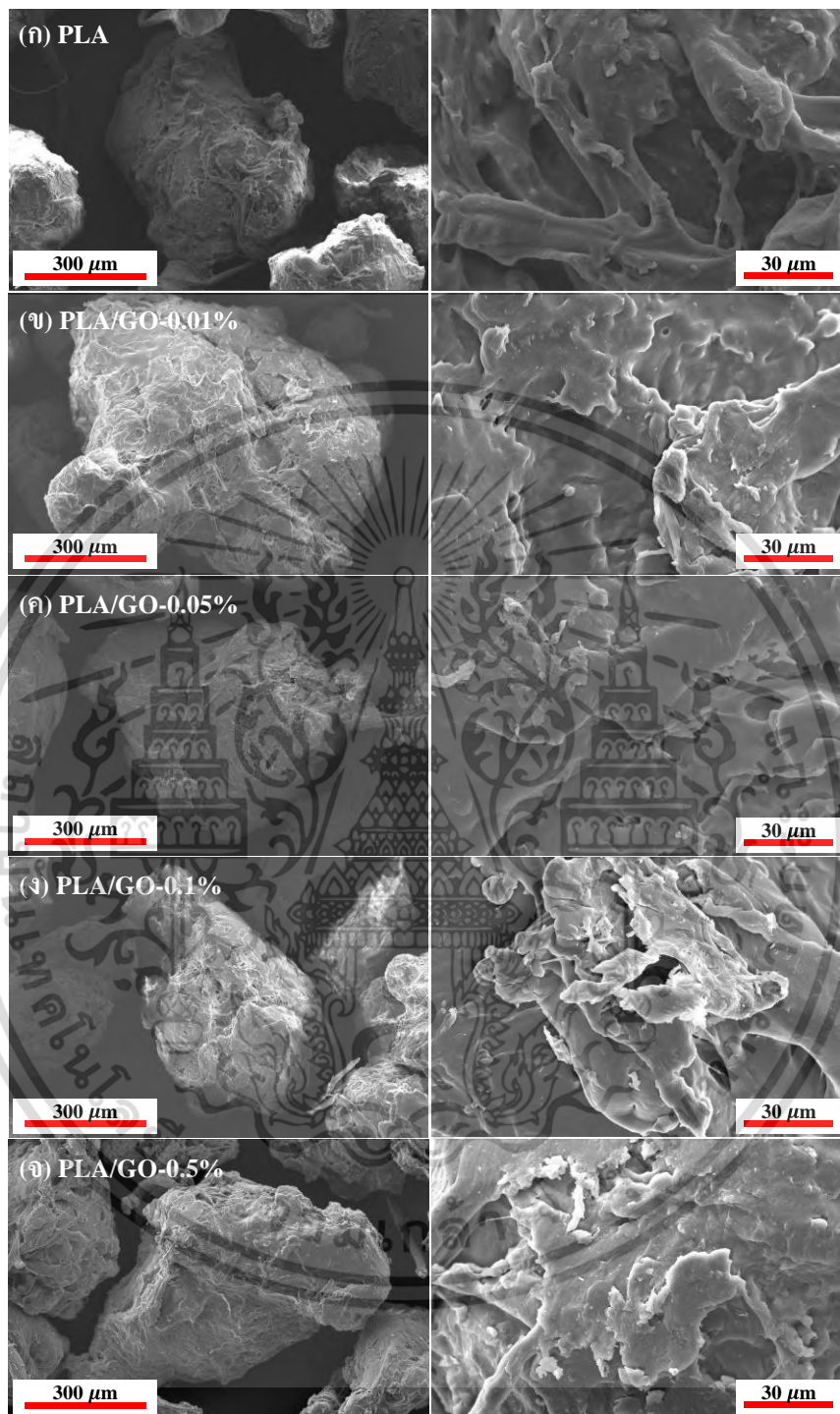
จากกราฟเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ในมุม 2θ ในช่วง 10-50 องศา ของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแล็กติกเอซิด (PLA) และพอลิแล็กติกเอซิดคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์(PLA/GO) ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% จะเห็นได้ว่าระนาบของการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นนั้นประกอบไปด้วย (200/100) และ (203) ซึ่งสอดคล้องกับพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่เด่นชัดมุม 2θ ได้แก่ 16.70 และ 19.12 องศา ตามลำดับ [35-36] ลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนดังกล่าวพีคที่ได้อ้างอิงจากชุดข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 49-2174 อย่างไรก็ตามพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มุม 2θ เท่ากับ 10.80 องศา [37] ของกราฟีนออกไซด์ไม่สามารถแสดงให้เห็นในกราฟได้เนื่องจากพีคการเลี้ยวเบนของ PLA สูงมาก ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเมื่อมีการเติมกราฟีนออกไซด์เงื่อนไขต่างๆ ในพอลิเมอร์ชนิดพอลิแล็กติกเอซิดพีคการเลี้ยวเบนไม่เปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 รูปแบบ XRD ของ PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%

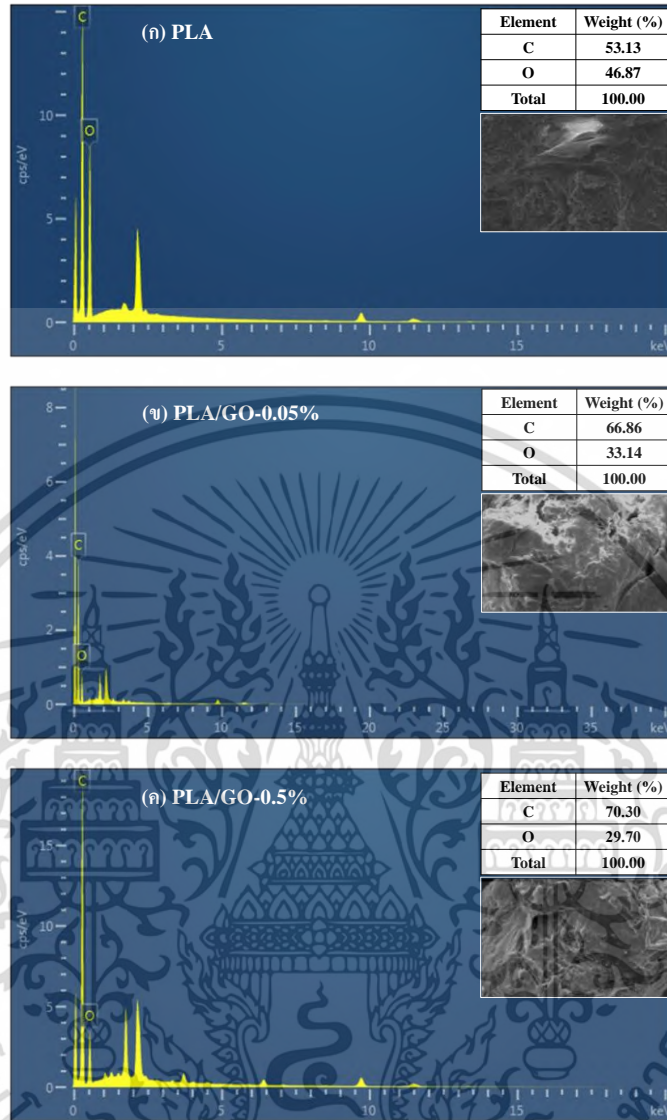
4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างลักษณะสัญญาณวิทยาและการวิเคราะห์ธาตุของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแล็กติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างลักษณะสัญญาณวิทยาภาพ SEM ของตัวอย่างผง PLA และผงพอลิแล็กติกเอซิดคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ (PLA/GO) ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% ดังแสดงในรูปที่ 4.11 เผยให้เห็นลักษณะสัญญาณของพื้นผิวหลังจากที่มีการคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ลงไปในผง PLA เมื่อเทียบกับผง PLA บริสุทธิ์ ในรูปที่ 4.11 (ก) เป็นภาพถ่าย SEM ของผง PLA บริสุทธิ์ ที่กำลังขยาย 500x และ 5,000x จะเห็นได้ว่ามีลักษณะเป็นก้อนรูปทรงต่างๆ ในรูปที่ 4.11 (ข-จ) เป็นภาพ SEM ของผง PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% กำลังขยาย 500x และ 5,000x จะเห็นได้ว่ามีส่วนผสมของกราฟีนออกไซด์ที่เคลือบอยู่กับผง PLA บริสุทธิ์ นอกจากนี้ผง PLA ที่มีการเติม GO ลงไปมีลักษณะคล้ายคลึงกับผง PLA บริสุทธิ์ นอกจากนี้สเปกตรัม EDS การวิเคราะห์ธาตุของผง PLA และผงพอลิแล็กติกเอซิดคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ (PLA/GO) ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% ดังแสดงในรูป 4.12 (ก-ค) ยืนยันการมีอยู่ของอะตอม C และ O อีกทั้งจำนวนอะตอมของธาตุเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่ม GO ดังนั้นผลเหล่านี้สามารถยืนยันการมีอยู่ของ GO ที่ทำการผสมกับผง PLA บริสุทธิ์ และองค์ประกอบทั้งหมดไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.11 ภาพ SEM ของตัวอย่างผง PLA และผง PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

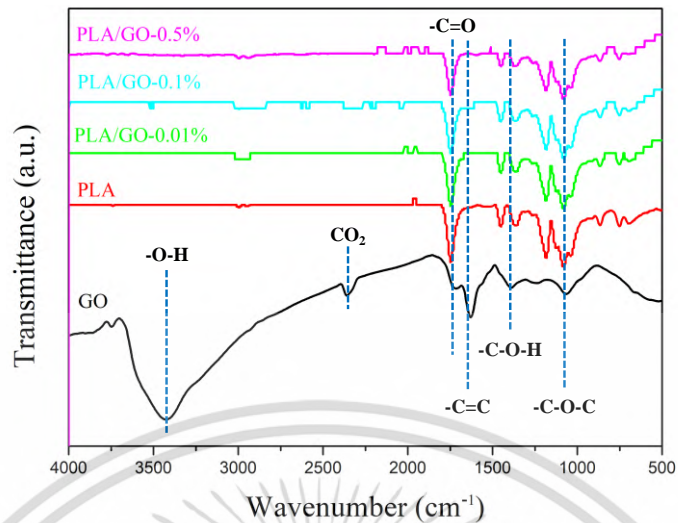


รูปที่ 4.12 ภาพ EDS Mapping ของตัวอย่างผง PLA และผง PLA/GO ที่ 0.05% และ 0.5%

4.2.1.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิคการศึกษาโครงสร้างหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุล (FTIR)

ผลการวิเคราะห์พันธะเคมีด้วยเทคนิค FTIR ของตัวอย่าง PLA และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.1% และ 0.5% จากรูปกลุ่มพันธะออกซิเจนเป็นพันธะที่เกี่ยวข้องกับกราฟีนออกไซด์ (GO) ได้แก่ พันธะของ (-O-H) ที่ช่วงเลขคลื่น 3,500-2,500 cm^{-1} พันธะของ (-C=O) ช่วงเลขคลื่น 1,740 cm^{-1} และพันธะของ (-C-O-C) ที่ช่วงเลขคลื่น 1,050 cm^{-1} [38] จากผลการทดลองสเปกตรัม FT-IR ของตัวอย่างพบว่ามีพันธะของ (-C=O) ช่วงเลขคลื่น 1,740 cm^{-1} และพันธะของ (-C-O-C) ของ GO ที่ช่วงเลขคลื่น 1,050 cm^{-1} ซึ่งการค่าการดูดกลืนของเลขคลื่นมีความสอดคล้องกับการเพิ่ม GO ในพอลิเมอร์ชนิด PLA ดังแสดงในรูปที่ 4.13

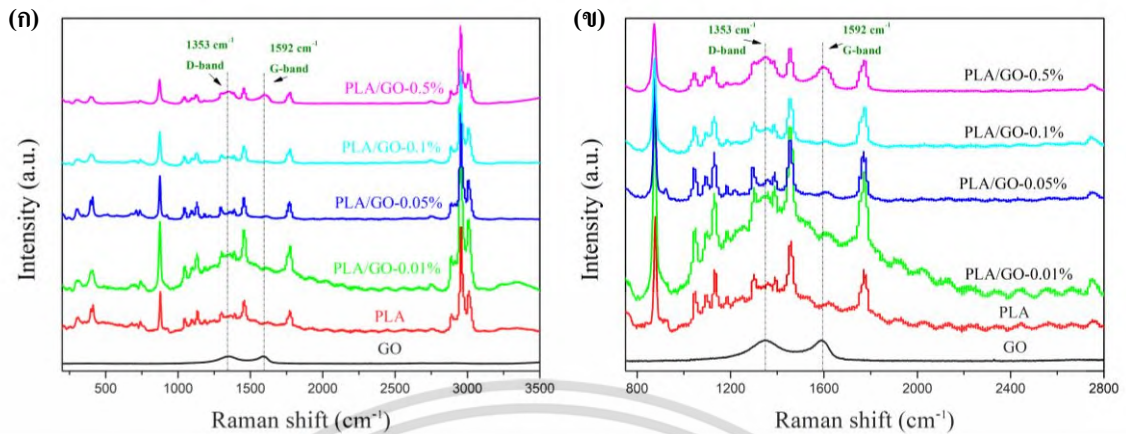
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนของตัวอย่าง PLA และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% ด้วยเทคนิค FT-IR

4.2.1.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี เป็นการยืนยันโครงสร้างลักษณะเฉพาะของกราฟีนออกไซด์ พอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) บริสุทธิ์ และ พอลิแลกติกเอซิดคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% ในช่วงสเปกตรัมตั้งแต่ 200 cm^{-1} – $3,500\text{ cm}^{-1}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ในรูปที่ 4.14 (ก) ในช่วงสเปกตรัมตั้งแต่ 200 cm^{-1} – $3,500\text{ cm}^{-1}$ แสดงสเปกตรัมของตัวอย่างทั้งหมดจะสังเกตเห็นพีคหลักที่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์ชนิด PLA ที่แสดงช่วงสเปกตรัมตั้งแต่ $2,750\text{ cm}^{-1}$ – $3,250\text{ cm}^{-1}$ ตำแหน่งเหล่านี้ได้ยืนยันโครงสร้างของพอลิแลกติกเอซิด (PLA) บริสุทธิ์ของพอลิแลกติกเอซิดคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ (PLA/GO) และในรูปที่ 4.14 (ข) แสดงช่วงสเปกตรัมตั้งแต่ 800 cm^{-1} – $2,800\text{ cm}^{-1}$ จะเห็นได้ว่ามีพีคหลักทั้งสองพีคที่แสดงโครงสร้างลักษณะเฉพาะของกราฟีนออกไซด์ได้แก่ D band และ G band โดยสเปกตรัมรามาน D band ที่เลขคลื่น $1,353\text{ cm}^{-1}$ และ G band ที่เลขคลื่น $1,592\text{ cm}^{-1}$ เป็นผลมาจากการสั่นสะเทือนของอะตอมไฮบริด ดังนั้นจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเหล่านี้ด้วยเทคนิครามานแสดงให้เห็นการมีอยู่ของกราฟีนออกไซด์ GO ที่ผสมกับพอลิแลกติกเอซิด



รูปที่ 4.14 สเปกตรัมรามานของตัวอย่าง PLA และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%

4.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกรฟีนออกไซด์

4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติความแข็ง (Micro hardness) ของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกรฟีนออกไซด์

ผลการวิเคราะห์การทดสอบความแข็งด้วยวิธีการทดสอบความแข็งขนาดเล็กแบบวิกเกอร์ (Vickers microhardness testing) ของพอลิเมอร์ชนิด PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% ลักษณะเครื่องทดสอบความแข็งจะมีลักษณะเป็นหัวกดเพชรรูปลี่เหลี่ยม ค่าความแข็งที่ได้คิดจากน้ำหนักกดที่กระทำต่อพื้นที่ของรอยกดสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ [39]

$$HV = 18544(P/d^2)$$

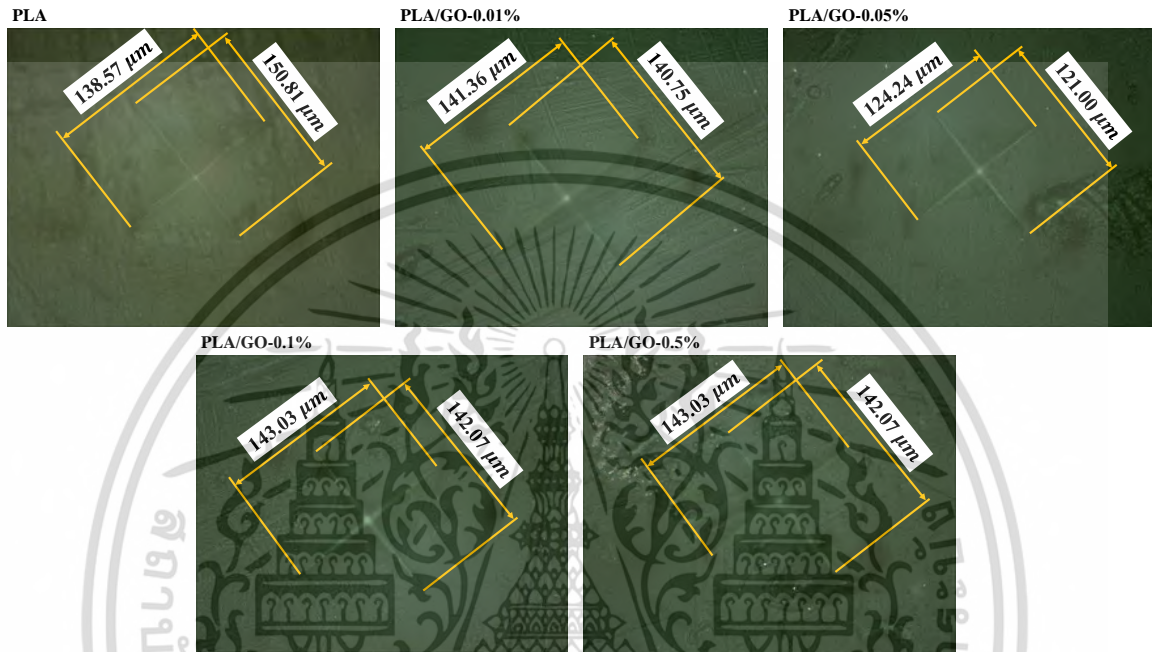
เมื่อ HV คือ ค่าความแข็งวิกเกอร์ (kg/mm²)

P คือ น้ำหนักกด (kg)

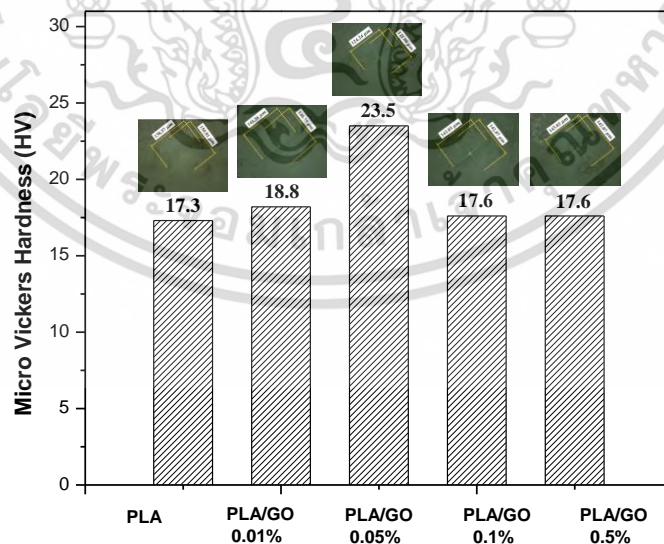
d² ความยาวเส้นแท่งมุมเฉลี่ย (mm)

ภาพถ่ายจากการทดสอบวัดค่าความแข็งของตัวอย่าง พบว่า PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% มีค่าความยาวเส้นแท่งมุมเฉลี่ย (d) เท่ากับ 0.141, 0.144, 0.122, 0.142 และ 0.142 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ PLA/GO-0.05% จะมีค่าความยาวเส้นแท่งมุมต่ำที่สุดและจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสสามารถมองเห็นได้ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และค่าความแข็งวิกเกอร์ 17.3, 18.8, 23.5, 17.6 และ 17.6 kg/mm² แสดงให้เห็นว่าที่ PLA/GO-0.05% มีค่าความแข็งวิกเกอร์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขต่างๆ จากการทดลองผสมกรฟีนออกไซด์ใน PLA จะเห็นได้ว่าความแข็งแรง

ของ PLA ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ GO ที่เติมลงไป สำหรับ PLA นั้นเมื่อเติม GO เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติความแข็งแรงไม่ใช่เงื่อนไขที่เติม GO สูงที่สุด แต่เป็นเงื่อนไขเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมสำหรับวัสดุหรือสารที่จะนำมาคอมโพสิต ดังนั้น PLA/GO-0.05% มีค่าความแข็งสูงสุดที่สามารถสังเกตได้จากความยาวของเส้นแท่งยวมุม ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 แสดงค่าความยาวเส้นแท่งยวมุมเฉลี่ยของ PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%

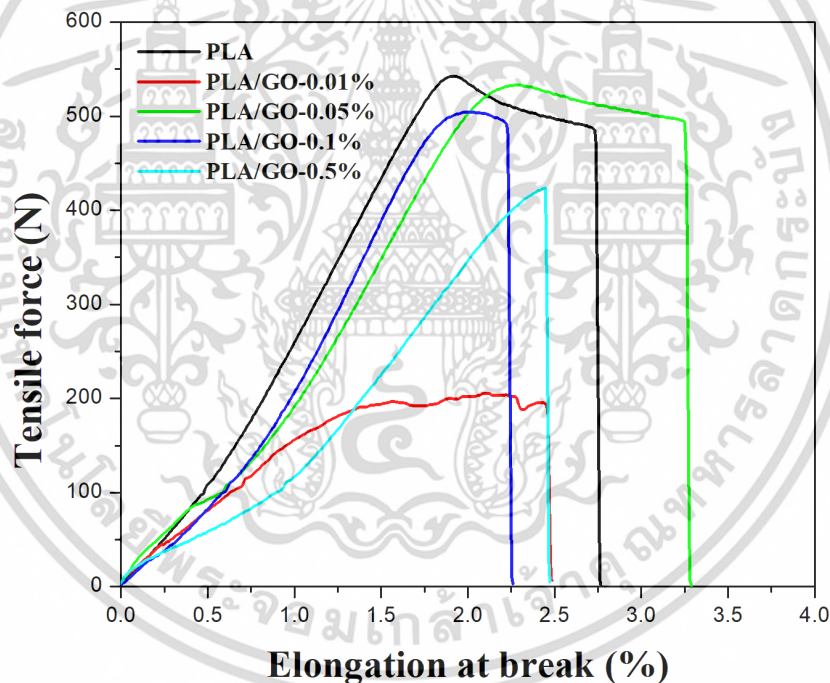


รูปที่ 4.16 แสดงค่าค่าความแข็งวิคเกอร์ของ PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 ผลการวิเคราะห์แรงดึง (Tensile test) ของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์

ผลการวิเคราะห์การทดสอบแรงดึงของพอลิเมอร์ชนิด PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของ PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานของ ASTM D638 ที่ความเร็ว 10 มม./นาที และโหลดรับแรง 5,000 นิวตัน การทดสอบจะทำการวัด 5 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย พบว่า PLA บริสุทธิ์มีแรงดึง 542.5 N และค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเท่ากับ 2.767% ในขณะที่ PLA/GO โดยเฉพาะอย่างยิ่ง PLA/GO-0.05% มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่ 3.288% และแรงดึง 532.9 นิวตัน ดังนั้น PLA/GO-0.05% จะมีความยืดหยุ่นมากกว่าเมื่อเทียบกับ PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่เงื่อนไขต่างๆ นอกจากนี้ยังเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมของ GO จะปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของ PLA ซึ่งสอดคล้องกันค่าการทดสอบความแข็งแรง ดังแสดงในรูปที่ 4.17

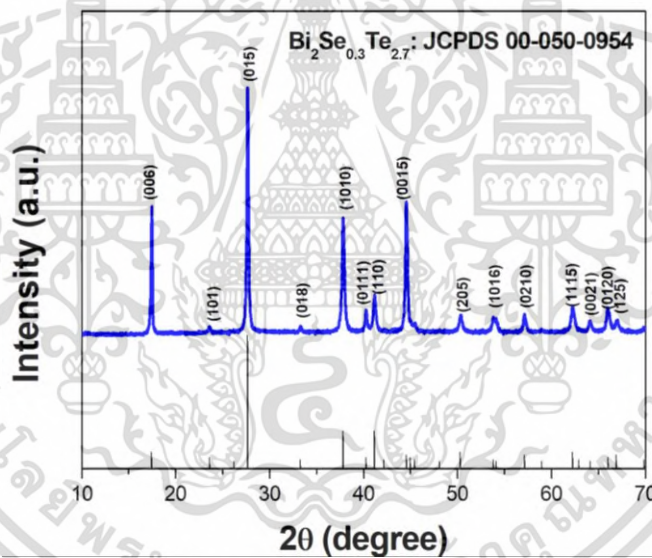


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของ PLA บริสุทธิ์ และ PLA/GO ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5%

4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างของบิสมีสเทลลูไรด์และผลการศึกษาหาเงื่อนไขขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงของแท่งเซลล์บิสมีสเทลลูไรด์

4.3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของบิสมีสเทลลูไรด์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction: XRD)

จากกราฟเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เพื่อยืนยันลักษณะเฉพาะเฟสของบิสมีสเทลลูไรด์ชนิดเอ็น (n-type Bi_2Te_3) ที่มีการโด๊ปซีลีเนียม (Se) 0.3 % ลงในเทลลูไรด์ (Te) ในมุม 2θ ในช่วง 10-70 องศา จะเห็นได้ว่าระนาบของการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นนั้นประกอบไปด้วย (006), (015), (1010), (0111), (110), (0015), (205), (1016) และ (0210) ซึ่งสอดคล้องกับฟิสิกการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่เด่นชัดมุม 2θ ได้แก่ 17.46, 27.61, 34.60, 40.04, 41.26, 44.61, 50.18, 53.82 และ 57.06 องศา ตามลำดับ [42] ลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนดังกล่าวฟิสิกที่ได้อ้างอิงจากชุดข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 050-0954 ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 รูปแบบ XRD ของอินก้อทบิสมีสเทลลูไรด์

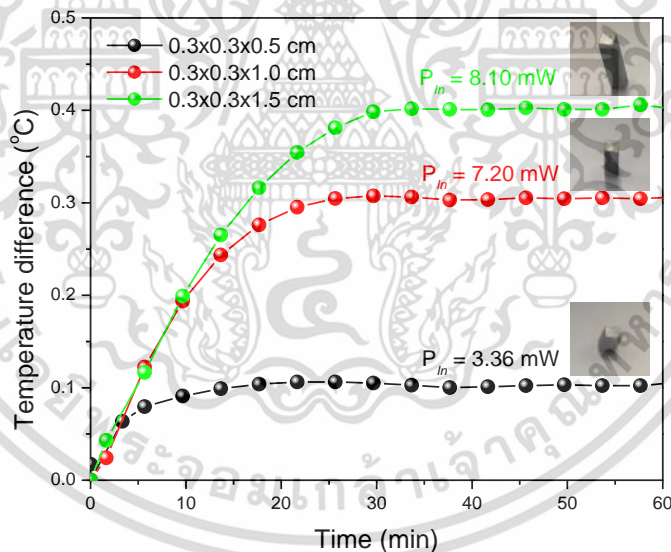
4.3.2 ผลการวิเคราะห์เงื่อนไขขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิสมีสเทลลูไรด์อินก้อท

จากการทดลองศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของขนาดพื้นที่หน้าตัดและขนาดความสูงของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 ชนิดเอ็นสำหรับทำความเย็นและนำไปออกแบบต้นแบบแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์จากแท่งเซลล์ Bi_2Te_3 แบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อนต่อไป โดยเงื่อนไขที่ได้ทำการทดลองคือ $0.3 \times 0.3 \times 0.5$, $0.3 \times 0.3 \times 1.0$, $0.3 \times 0.3 \times 1.5$,

0.5x0.5x0.5, 0.5x0.5x1.0, 0.5x0.5x1.5, 0.7x0.7x0.5, 0.7x0.7x1.0 และ 0.7x0.7x1.5 ลูกบาศก์ เซนติเมตร และผลการทดลองแสดงดังกราฟต่อไปนี้

4.3.2.1 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของแท่งเซลล์บิสเมทเทลลูไรด์ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.3x0.3 ซม. และที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม.

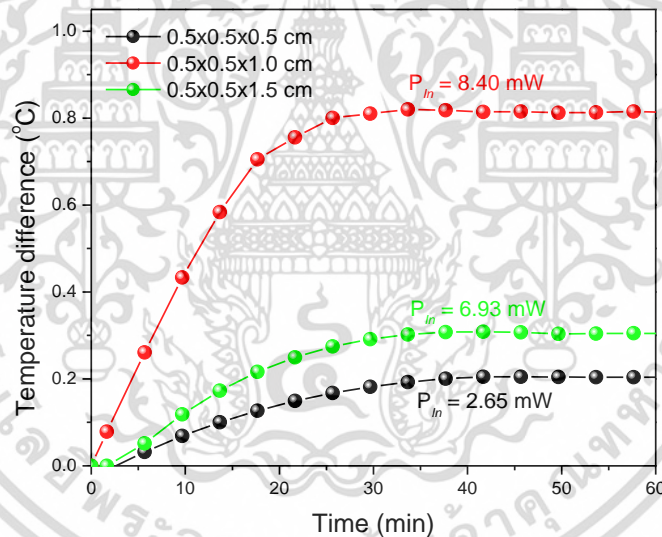
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิและเวลา ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.3x0.3 เซนติเมตร ที่ความสูง 0.5, 1.0 and 1.5 เซนติเมตร ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแท่งเซลล์ที่ความสูง 0.5 เซนติเมตร เท่ากับ 3.36 มิลลิวัตต์ (0.07 V, 0.048 A) ที่ความสูง 1.0 เซนติเมตร เท่ากับ 7.20 มิลลิวัตต์ (0.1 V, 0.072 A) และที่ความสูง 1.5 เซนติเมตร เท่ากับ 8.10 มิลลิวัตต์ (0.1 V, 0.081 A) พบว่าสามารถสร้างความต่างอุณหภูมิได้เป็น 0.1 °C, 0.3 °C และ 0.4 °C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตามเงื่อนไขข้างบนที่กล่าวมา ซึ่งจากผลการทดลองที่พื้นที่เดียวกันและที่ความสูง 1.5 cm ให้ความต่างอุณหภูมิสูงสุดเมื่อเทียบกับความสูงที่ 0.5 และ 1.0 ซม. เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง ส่วนกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแท่งเซลล์และความต่างของอุณหภูมิมิมีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของอุณหภูมิและเวลา ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.3x0.3 เซนติเมตร ที่ความสูง 0.5, 1.0 and 1.5 เซนติเมตร

4.3.2.2 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของแท่งเซลล์บิสมัทเทลลูไรด์ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5×0.5 ซม. และที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม.

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิและเวลา ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5×0.5 เซนติเมตร ที่ความสูง 0.5, 1.0 and 1.5 เซนติเมตร ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแท่งเซลล์ที่ความสูง 0.5 เซนติเมตร เท่ากับ 2.65 มิลลิวัตต์ (0.05 V, 0.053 A) ที่ความสูง 1.0 เซนติเมตร เท่ากับ 6.93 มิลลิวัตต์ (0.07 V, 0.099 A) และที่ความสูง 1.5 เซนติเมตร เท่ากับ 8.40 มิลลิวัตต์ (0.07 V, 0.12 A) พบว่าสามารถสร้างความต่างอุณหภูมิได้เป็น 0.2 °C, 0.8 °C และ 0.3 °C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตามเงื่อนไขข้างบนที่กล่าวมา ซึ่งจากผลการทดลองที่พื้นที่เดียวกันเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ที่ความสูง 1.0 cm ให้ความต่างอุณหภูมิสูงสุดเมื่อเทียบกับความสูงที่ 0.5 และ 1.5 ซม. จะเห็นว่าความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง ส่วนกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแท่งเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูงแต่พื้นที่หน้าตัดนี้ความต่างของอุณหภูมิไม่ได้ขึ้นกับความสูงของแท่งเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 4.20

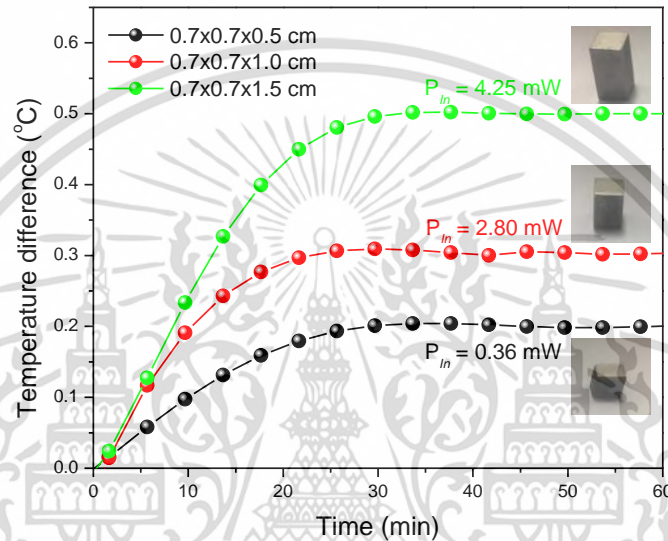


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิและเวลา ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5×0.5 เซนติเมตร ที่ความสูง 0.5, 1.0 and 1.5 เซนติเมตร

4.3.2.3 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของแท่งเซลล์บิสมัทเทลลูไรด์ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.7×0.7 ซม. และที่ความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ซม.

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิและเวลา ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.7×0.7 เซนติเมตร ที่ความสูง 0.5, 1.0 and 1.5 เซนติเมตร ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแท่งเซลล์ที่ความสูง 0.5 เซนติเมตร เท่ากับ 0.36 มิลลิวัตต์ (0.03 V, 0.012 A) ที่ความสูง 1.0 เซนติเมตร เท่ากับ 2.80 มิลลิวัตต์ (0.05 V, 0.056 A) และที่ความสูง 1.5 เซนติเมตร เท่ากับ 4.25 มิลลิวัตต์ (0.05

V, 4.25 A) พบว่าสามารถสร้างความต่างอุณหภูมิได้เป็น 0.2 °C, 0.3 °C และ 0.5 °C เมื่อเทียบกับ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตามเงื่อนไขข้างบนที่กล่าวมา ซึ่งจากผลการทดลองที่พื้นที่เดียวกัน เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ที่ความสูง 1.5 cm ให้ความต่างอุณหภูมิสูงสุดเมื่อเทียบกับความสูงที่ 0.5 และ 1.0 ซม. ทำให้ ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง ส่วนกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแท่งเซลล์มี คำน้อยกว่าเมื่อเทียบกับขนาดพื้นที่หน้าตัดก่อนหน้านี้ และความต่างของอุณหภูมิมิค่าเพิ่มขึ้นตามความสูง ของแท่งเซลล์ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิและเวลา ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.7x0.7 เซนติเมตร ที่ความสูง 0.5, 1.0 and 1.5 เซนติเมตร

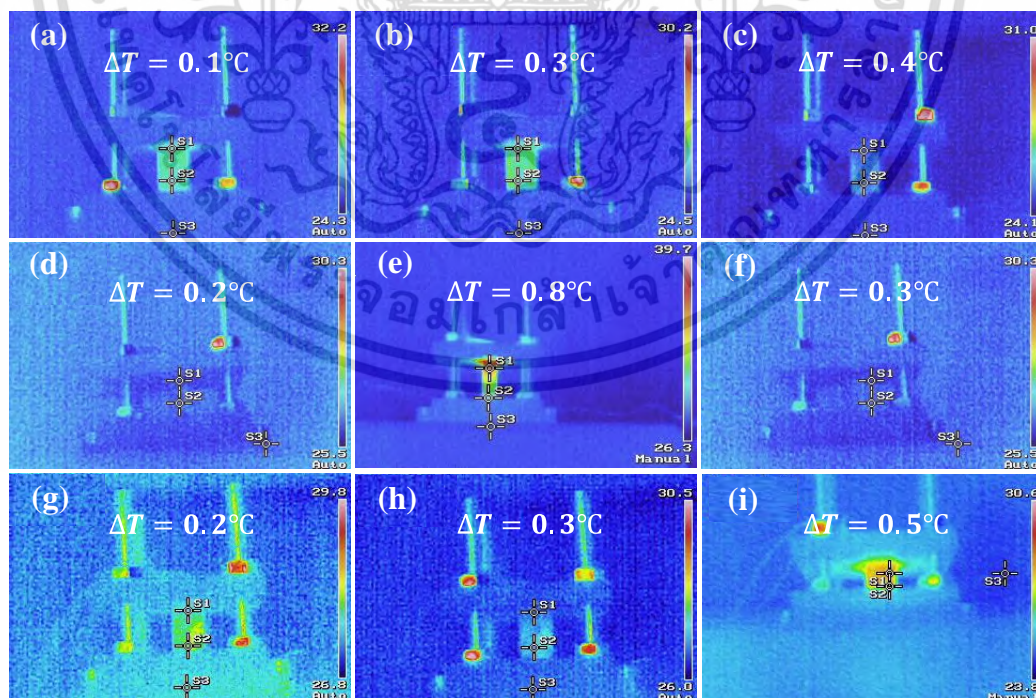
4.4 ผลการทดลองหาเงื่อนไขพื้นที่และความสูงที่เหมาะสมสำหรับการจ่ายกำลังไฟฟ้าและการกระจายอุณหภูมิของแท่งเซลล์

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาเงื่อนไขพื้นที่และความสูงที่เหมาะสมของแท่งเซลล์สำหรับการจ่ายกำลังไฟฟ้า พบว่าที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5x0.5 เซนติเมตร ที่ความสูง 1.0 เซนติเมตร มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 0.8 °C เมื่อเทียบกับเงื่อนไขต่างๆ ซึ่งเห็นได้ว่าพื้นที่และความสูงของแท่งเซลล์มีผลต่อความต่างของอุณหภูมิและการจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยที่ความสูงขนาดต่ำและพื้นที่น้อยของแท่งเซลล์ส่งผลให้ค่าการจ่ายกำลังไฟฟ้าน้อยและผลความต่างอุณหภูมิต่ำ ส่วนที่ความสูงขนาดสูงขึ้นและพื้นที่มากขึ้นของแท่งเซลล์ส่งผลให้ค่าการจ่ายกำลังไฟฟ้ามากและผลความต่างอุณหภูมิที่สูงมากขึ้นด้วย ดังนั้นที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5x0.5 เซนติเมตร ที่ความสูง 1.0 เซนติเมตร จึงเป็นความสูงและพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาแผ่นโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ส่วนผลของการกระจายอุณหภูมิของแท่งเซลล์ทุกเงื่อนไขที่ทดลองได้ทำการวัดการกระจายอุณหภูมิด้วยกล้องอินฟราเรดดังแสดงในรูปที่ 4.22 พบว่ารูปที่

4.22 (e) ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.5×0.5 เซนติเมตร ที่ความสูง 1.0 เซนติเมตร มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุด $0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้นที่กล่าวมา

ตาราง 4.1 การทดลองหาเงื่อนไขพื้นที่และความสูงที่เหมาะสมสำหรับการจ่ายกำลังไฟฟ้าและผลความต่างอุณหภูมิของแท่งเซลล์

Volume (cm ³)	Volt (V)	Current (A)	Power input (mW)	ΔT (°C)	R (ohm)
0.3x0.3x0.5	0.07	0.048	3.36	0.1	0.3
0.3x0.3x1.0	0.1	0.072	7.20	0.3	0.3
0.3x0.3x1.5	0.1	0.081	8.10	0.4	0.3
0.5x0.5x0.5	0.05	0.053	2.65	0.2	0.3
0.5x0.5x1.0	0.07	0.099	6.93	0.8	0.3
0.5x0.5x1.5	0.07	0.12	8.40	0.3	0.3
0.7x0.7x0.5	0.03	0.012	0.36	0.2	0.2
0.7x0.7x1.0	0.05	0.056	2.80	0.3	0.2
0.7x0.7x1.5	0.05	0.085	4.25	0.5	0.2



รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิของแท่งเซลล์บิสเมทเทลลูไรด์

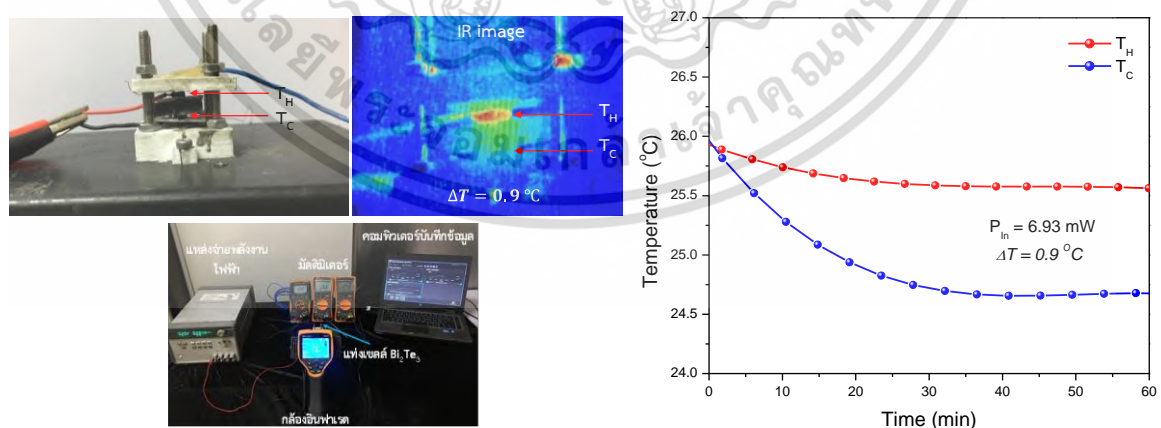
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 1 แห่งเซลล์

ในส่วนของการทดลองในหัวข้อนี้ แสดงผลการวิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างโมดูลทำ ความเย็นที่ประกอบไปด้วย 1 แห่งเซลล์ที่มีแผ่นดึงความร้อนและไม่มีแผ่นดึงความร้อน ซึ่งใช้แผ่นดึงความ ร้อยเป็นแผ่นพอลิเมอร์ (PLA) คอมโพสิท rGO มีผลแสดงดังนี้

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 1 แห่งเซลล์ ที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นดึงความร้อน

จากการทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแห่งเซลล์ Bi_2Te_3 โดยได้เงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ $0.5 \times 0.5 \times 1.0$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ให้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดและกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม นำมาประกอบ เป็นโมดูลโดยไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน ทำการออกแบบและทดสอบโดยไม่มีการติดตั้งแผ่นดึง ความร้อนแต่มีฉนวนกันความร้อนให้กับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น โดยฉนวน กันความร้อนที่ใช้คือ ฉนวนยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ (rubber/GO) ที่ได้ทำการศึกษาหาเงื่อนไขที่ เหมาะสมสำหรับการเป็นฉนวนความร้อนที่ดีและมีค่านำความร้อนเท่ากับ 0.12 W/m.K เป็นวัสดุฉนวน กันความร้อนที่สามารถสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งได้ ซึ่งผลการ ทดลองพบว่าช่วงแรกเริ่มต้นจากผลต่างอุณหภูมิเท่ากันที่อุณหภูมิห้องและเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ และสามารถคงความต่างของ อุณหภูมิไว้ที่ $0.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง ส่วนกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแห่งเซลล์มีค่าเท่ากับ 6.93 มิลลิวัตต์ ความต้านทาน 0.6 โอห์ม จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความต่างของอุณหภูมิเล็กน้อย ($\Delta T = 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$) เมื่อเทียบกับแห่งเซลล์ Bi_2Te_3 1 แห่งเซลล์ ดังนั้แสดงในรูปที่ 4.23

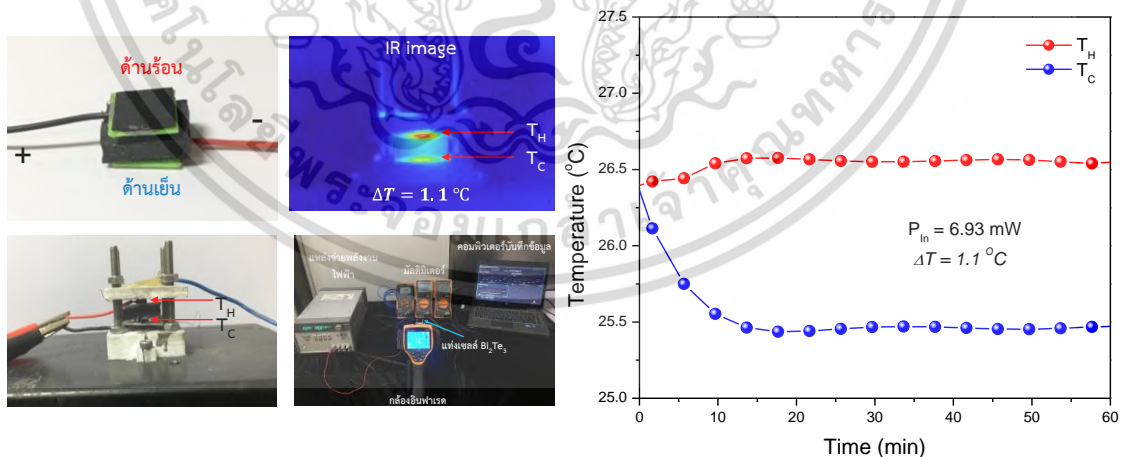


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 1 แห่งเซลล์ ที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นดึงความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 1 แห่งเซลล์ที่มีการติดตั้งแผ่นดึงความร้อน

จากการทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแห่งเซลล์ Bi_2Te_3 โดยได้เงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ $0.5 \times 0.5 \times 1.0$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ให้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดและกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม นำมาประกอบเป็นโมดูลโดยไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน ทำการออกแบบและทดสอบแผ่นกระจายความร้อนโดยที่จะใช้แผ่นพอลิเมอร์สมรติวส์กราฟีนออกไซด์ (Polymer/rGO) ทำหน้าที่ในการดึงความร้อนออกมา ส่วนด้านเย็นจะใช้แผ่นทองแดงในการดึงความเย็น ทำการใส่ฉนวนกันความร้อนให้กับโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น พบว่าช่วงแรกเริ่มต้นจากผลต่างอุณหภูมิเท่ากันที่อุณหภูมิห้องและเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ และสามารถคงความต่างของอุณหภูมิไว้ที่ $1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง ส่วนกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแห่งเซลล์มีค่าเท่ากับ 6.93 มิลลิวัตต์ ความต้านทาน 0.6 โอห์ม ดังนั้นการออกแบบใช้แผ่นดึงความร้อนและฉนวนกันความร้อนอย่างพาราสมกราฟีนออกไซด์สามารถใช้ทดแทนการใช้ระบบพัดลมระบายความร้อนได้ จะเห็นได้ว่าความต่างของอุณหภูมิเพิ่ม $0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโมดูลที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นดึงความร้อน และเมื่อวัดอุณหภูมิอินฟราเรดด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ได้ภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมสามารถยืนยันผลระหว่างความต่างอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) และอุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ตรงกับผลที่ได้แสดงในกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.24



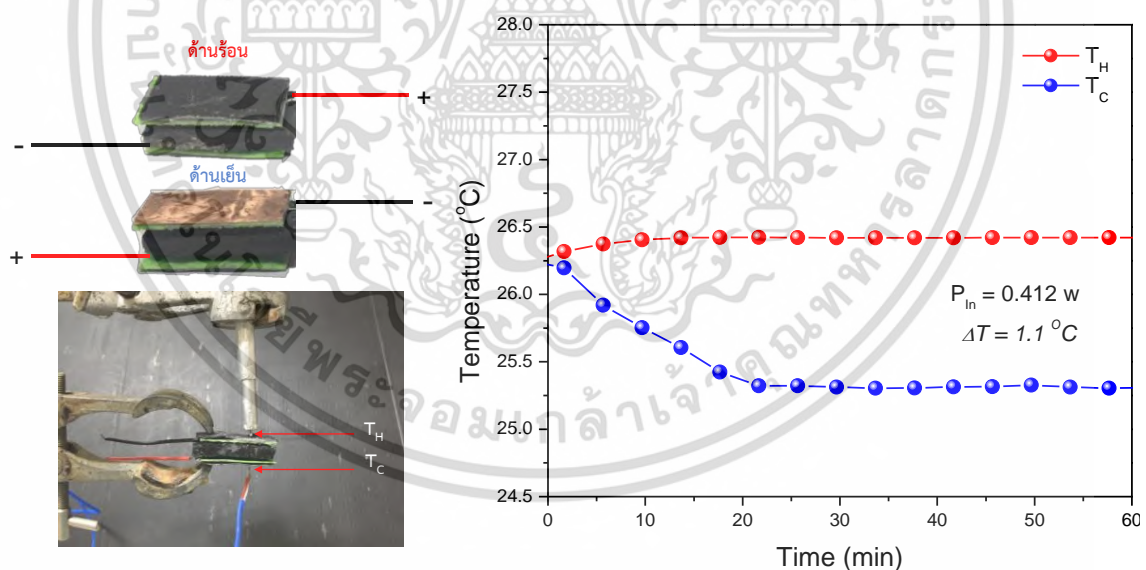
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 1 แห่งเซลล์ที่มีการติดตั้งแผ่นดึงความร้อนและภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน

4.6 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์

การวิเคราะห์ความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์ นั้น ทำการศึกษาหาเงื่อนไขการต่อวงจรไฟฟ้าที่เหมาะสมประกอบไปด้วย วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและ วงจรไฟฟ้าแบบขนาน รายละเอียดดังแสดงต่อไปนี้

4.6.1 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์ ต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

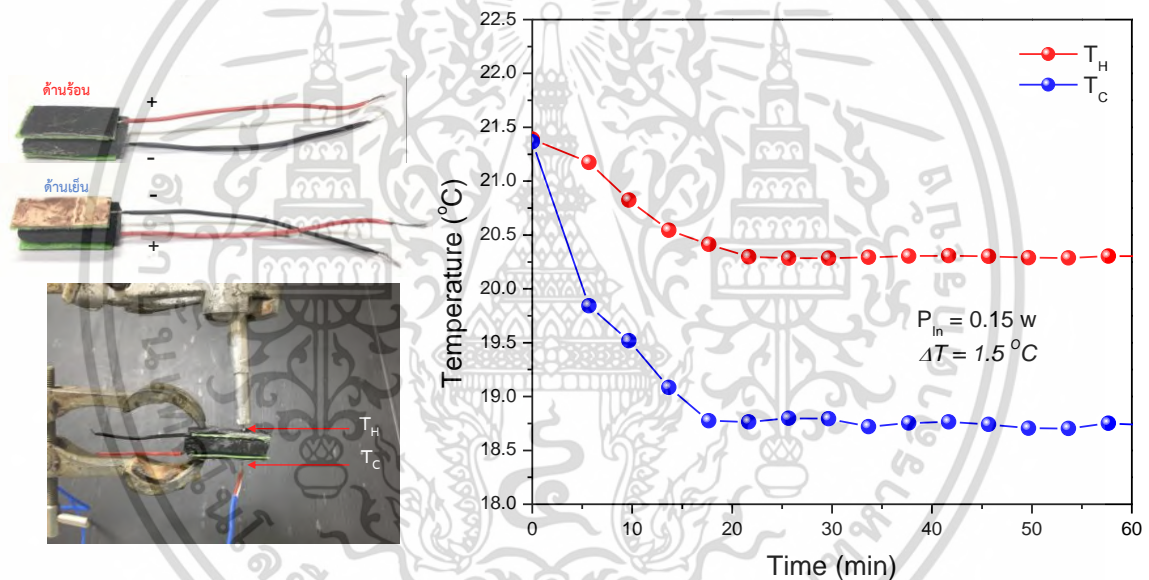
วงจรอนุกรม: จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย บิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม จากผลการทดลองพบว่าช่วงแรกเริ่มต้นจาก อุณหภูมิเท่ากันที่อุณหภูมิห้องและเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาทีทำให้ความ แตกต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่และสามารถคงความแตกต่างของอุณหภูมิไว้ที่ $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตลอดการ ทดลอง 1 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบมีค่าเท่ากับ 0.412 วัตต์ (0.3 V, 0.372 A) ความต้านทาน 0.8 โอห์ม จะเห็นได้ว่าจากผลการทดลองค่าความแตกต่างของ อุณหภูมิไม่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 1 แห่งเซลล์ ดังแสดงรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

4.6.2 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน

วงจรรขนาน: จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน จากผลการทดลองพบว่าช่วงแรกเริ่มต้นจากอุณหภูมิเท่ากันที่อุณหภูมิห้องและเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาทีทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่และสามารถคงความต่างของอุณหภูมิไว้ที่ $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบมีค่าเท่ากับ 0.14 วัตต์ (0.1 V, 1.5 A) ความต้านทาน 0.7 โอห์ม จะเห็นได้ว่ามีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ต่ำเมื่อเทียบกับโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน ดังแสดงรูปที่ 4.26

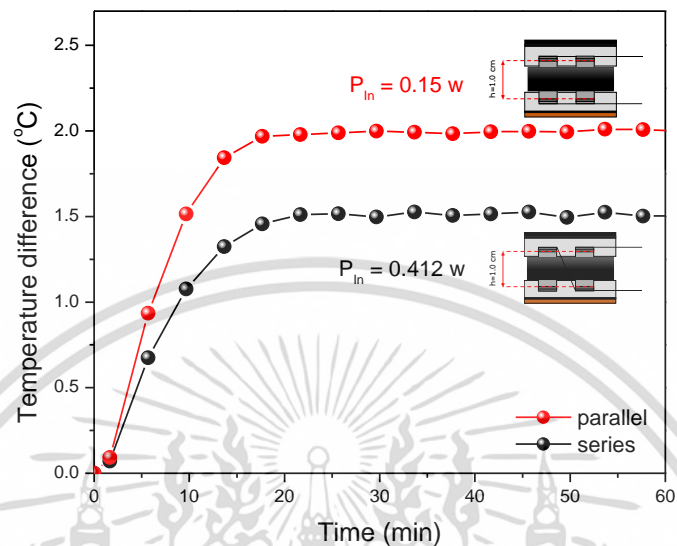


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานและภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน

จากกราฟเป็นการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 2 แห่งเซลล์ พบว่าการต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานสามารถให้ความแตกต่างอุณหภูมิมากกว่าการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมซึ่งมีค่าความแตกต่างอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T = 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$) และการจ่ายกำลังไฟฟ้าของการต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานต้องใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.15 วัตต์ ($P_{in} = 0.150\text{ W}$) ในขณะที่การวงจรรไฟฟ้าแบบอนุกรมต้องใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.142 วัตต์ ($P_{in} = 0.142\text{ W}$) ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ดังนั้นจึงเลือกการต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน และเลือกขนาดแห่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกบิสมัทเทลลูไรด์ที่พื้นที่หน้าตัด 0.5×0.5 เซนติเมตร ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูง 1.0 เซนติเมตร ในการการออกแบบและพัฒนาต้นแบบโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิลมัสเทลลูไรด์แบบไร้ระบบพัดลมระบายความร้อน



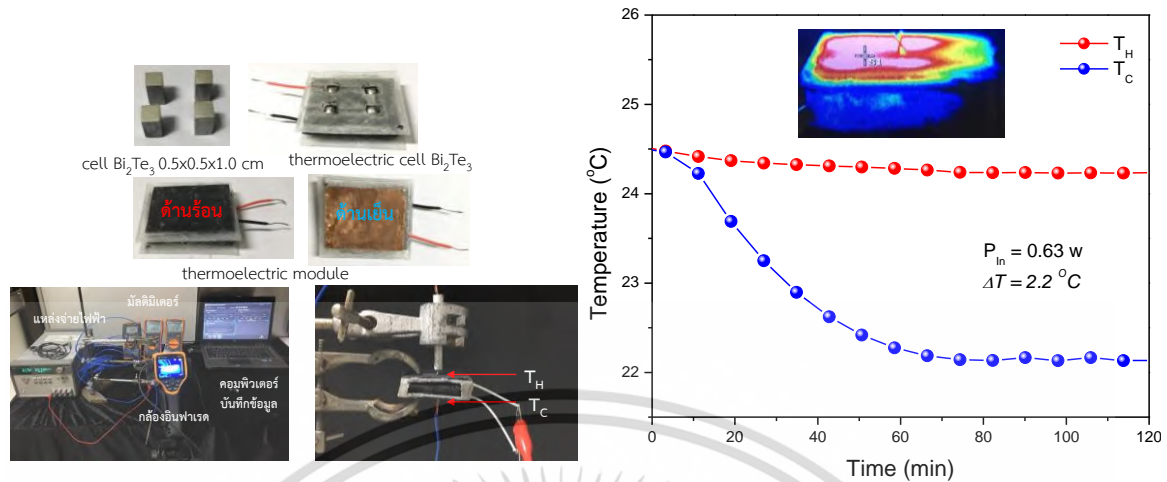
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างอุณหภูมิและเวลาของการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและการต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานของโมดูลที่ประกอบด้วยบิลมัสเทลลูไรด์ 2 แท่งเซลล์

4.7 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิลมัสเทลลูไรด์ 4 แท่งเซลล์เพื่อเป็นต้นแบบแผ่นโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

4.7.1 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิลมัสเทลลูไรด์ 4 แท่งเซลล์ในระบบเปิด

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิลมัสเทลลูไรด์ 4 แท่งเซลล์ ทำการทดลองวัดค่าความต่างอุณหภูมิของโมดูลในระบบเปิด พบว่าช่วงแรกเริ่มต้นจากผลต่างอุณหภูมิเท่ากันที่อุณหภูมิห้องและทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบเมื่อเวลาผ่านไป 50 นาทีทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ และสามารถคงความต่างของอุณหภูมิไว้ที่ 2.2 °C ตลอดการทดลอง 2 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.63 วัตต์ ($P_{in} = 0.63$ W (0.3 V, 2.1 A) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม จะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนของแท่งเซลล์แต่มีขนาดเท่าเดิมสามารถเพิ่มค่าความต่างของอุณหภูมิได้ ดังนั้นจำนวนของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกบิลมัสเทลลูไรด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดของอุณหภูมิด้วยเย็น ในขณะที่กำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ลดลง เมื่อวัดอุณหภูมิอินฟราเรดด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนได้ภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิลมัสเทลลูไรด์ 4 แท่งเซลล์ สามารถยืนยันผลระหว่างความต่างอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) และอุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ตรงกับผลที่ได้แสดงในกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แท่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน

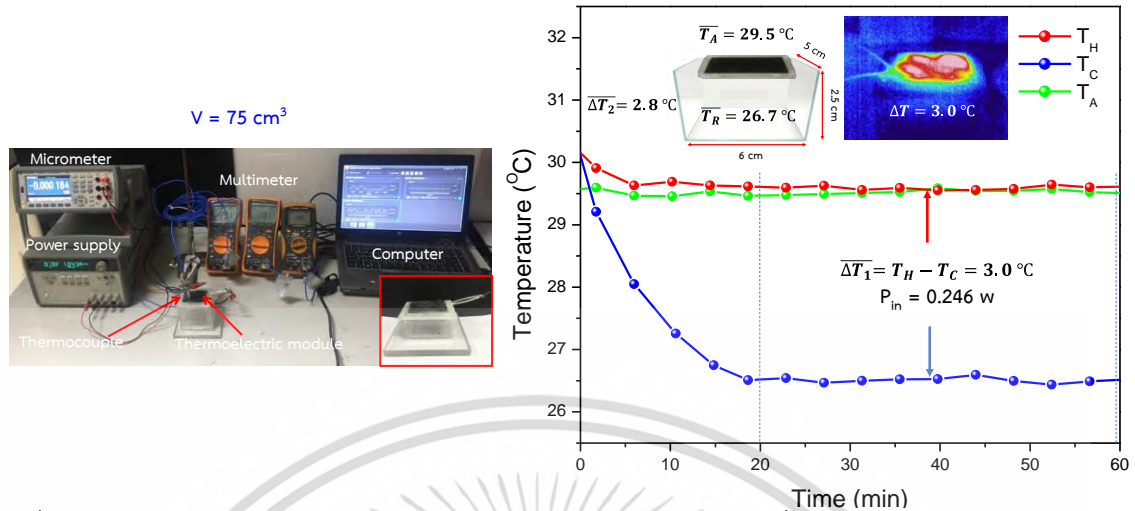
4.7.2 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แท่งเซลล์ในระบบปิด

ในการทดลองวัดค่าความต่างของอุณหภูมิของโมดูลทำความเข้าใจในระบบปิด เป็นการออกแบบพื้นที่ขนาดของกล่องในการทดลองโดยมีขนาดกล่อง 75 120 และ 180 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผลการทดลองดังนี้

4.7.2.1 ผลการทดลองความต่างอุณหภูมิของโมดูลในกล่องปริมาตร 75 cm^3

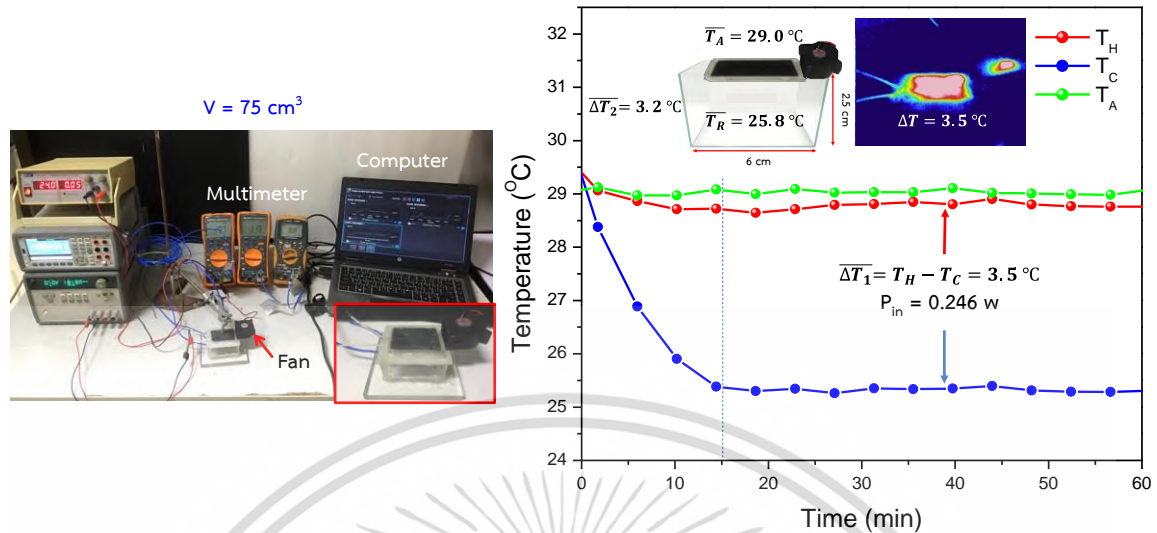
ไม่มีพัดลม : จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แท่งเซลล์ ทำการทดลองวัดค่าความต่างอุณหภูมิของโมดูลในระบบปิดที่ขนาดปริมาตรกล่องเท่ากับ 75 cm^3 โดยทำการวัดอุณหภูมิพร้อมกัน 4 ตำแหน่งได้แก่ ด้านร้อนบนแผ่นพอลิเมอร์/rGO (T_H) ด้านเย็นของแผ่นทองแดง (T_C) อุณหภูมิภายในกล่อง (T_R) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) การทดลองเริ่มต้นจากที่อุณหภูมิห้องเท่ากันและทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ สามารถคงความต่างของอุณหภูมิ ($T_H - T_C$) ไว้ที่ 3.0 $^\circ\text{C}$ และมีค่าความต่างอุณหภูมิของ $T_A - T_R$ เท่ากับ 2.8 $^\circ\text{C}$ ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง และการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.246 วัตต์ ($P_{in} = 0.246 \text{ W}$ (0.3 V, 0.820 A)) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม จะเห็นได้ว่าโมดูลทำความเข้าใจพื้นที่กล่องปริมาตร 75 cm^3 สามารถลดอุณหภูมิภายในกล่องได้ถึง 2.8 $^\circ\text{C}$ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เมื่อวัดอุณหภูมิอินฟราเรดด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนได้ภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แท่งเซลล์ สามารถยืนยันผลระหว่างความต่างอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) และอุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ตรงกับผลที่ได้แสดงในกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในหีองปริมาตร 75 cm^3

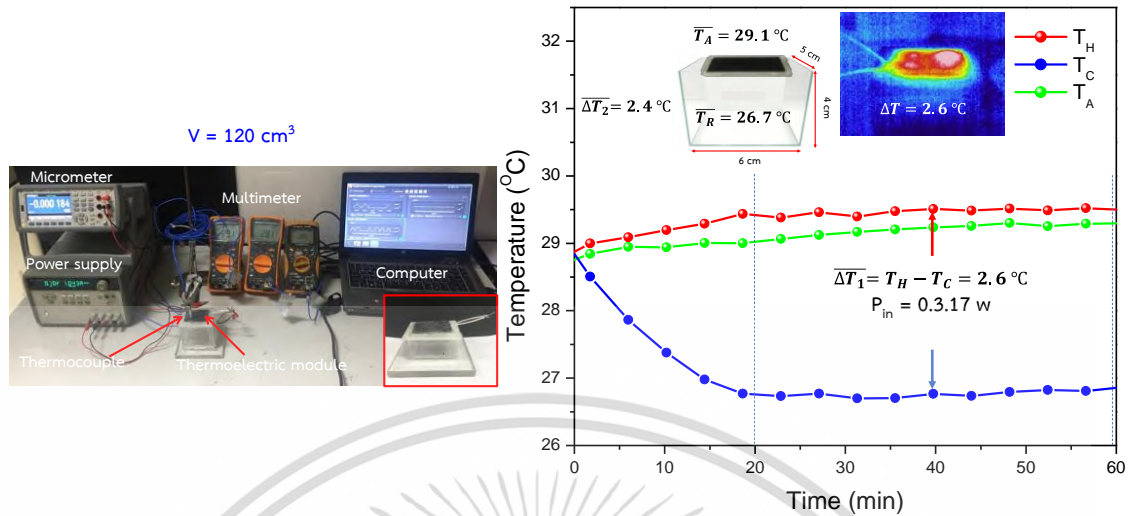
มีพัตลม : จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ ทำการทดลองวัดค่าความต่างอุณหภูมิของโมดูลในระบบปิดที่ขนาดปริมาตรใกล้เคียงเท่ากับ 75 cm^3 โดยมีการกระจายความร้อนด้วยพัตลมเพื่อจำลองในการใช้งานจริงกับหมวกกันน็อก ทำการวัดอุณหภูมิพร้อมกัน 4 ตำแหน่งได้แก่ ด้านร้อนบนแผ่นพอลิเมอร์/rGO (T_H) ด้านเย็นของแผ่นทองแดง (T_C) อุณหภูมิภายในกล่อง (T_R) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) การทดลองเริ่มต้นจากที่อุณหภูมิห้องเท่ากันและทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ สามารถคงความต่างของอุณหภูมิ ($T_H - T_C$) ไว้ที่ 3.5°C และมีค่าความต่างอุณหภูมิของ $T_A - T_R$ เท่ากับ 3.2°C ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง และการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.246 วัตต์ ($P_{in} = 0.246 \text{ W}$ (0.3 V , 0.820 A)) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม จะเห็นได้ว่าโมดูลทำความเย็นพื้นที่หีองปริมาตร 75 cm^3 สามารถลดอุณหภูมิภายในกล่องได้ถึง 3.2°C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และมีค่าผลต่างอุณหภูมิสูงกว่าแบบไม่มีพัตลม เมื่อวัดอุณหภูมิอินฟราเรดด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนได้ภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ สามารถยืนยันผลระหว่างความต่างอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) และอุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ตรงกับผลที่ได้แสดงในกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในกล่องปริมาตร 75 cm^3 แบบมีพัดลมระบายความร้อน

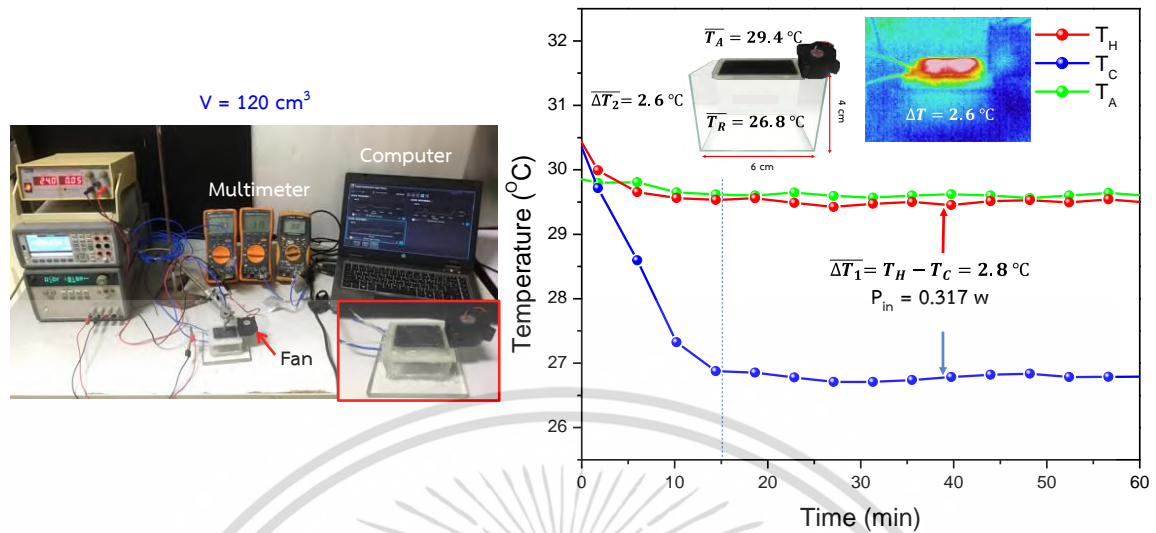
4.7.2.2 ผลการทดลองความต่างอุณหภูมิของโมดูลในกล่องปริมาตรขนาด 120 cm^3

ไม่มีพัดลม : จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ ทำการทดลองวัดค่าความต่างอุณหภูมิของโมดูลในระบบปิดที่ขนาดปริมาตรกล่องเท่ากับ 120 cm^3 โดยทำการวัดอุณหภูมิพร้อมกัน 4 ตำแหน่งได้แก่ ด้านร้อนบนแผ่นพอลิเมอร์/rGO (T_H) ด้านเย็นของแผ่นทองแดง (T_C) อุณหภูมิภายในกล่อง (T_R) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) การทดลองเริ่มต้นจากที่อุณหภูมิห้องเท่ากันและทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ สามารถคงความต่างของอุณหภูมิ ($T_H - T_C$) ไว้ที่ $2.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความต่างอุณหภูมิของ $T_A - T_R$ เท่ากับ $2.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง และการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.317 วัตต์ ($P_{in} = 0.317 \text{ W}$ (0.3 V , 1.057 A)) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม จะเห็นได้ว่าโมดูลทำความเย็นพื้นที่กล่องปริมาตร 120 cm^3 สามารถลดอุณหภูมิภายในกล่องได้ $2.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เมื่อวัดอุณหภูมิอินฟราเรดด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนได้ภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ สามารถยืนยันผลระหว่างความต่างอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) และอุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ตรงกับผลที่ได้แสดงในกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในกล่องปริมาตร 120 cm^3

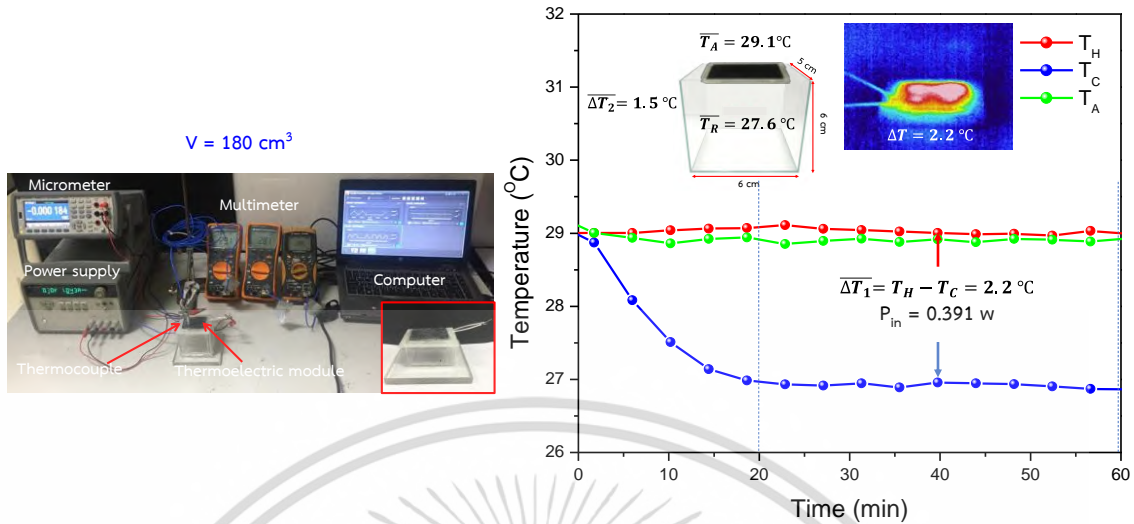
มีพัตลม : จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ ทำการทดลองวัดค่าความต่างอุณหภูมิของโมดูลในระบบปิดที่ขนาดปริมาตรกล่องเท่ากับ 120 cm^3 โดยมีการกระจายความร้อนด้วยพัตลมเพื่อจำลองในการใช้งานจริงกับหมวกกันน็อก ทำการวัดอุณหภูมิพร้อมกัน 4 ตำแหน่งได้แก่ ด้านร้อนบนแผ่นพอลิเมอร์/rGO (T_H) ด้านเย็นของแผ่นทองแดง (T_C) อุณหภูมิภายในกล่อง (T_R) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) การทดลองเริ่มต้นจากที่อุณหภูมิห้องเท่ากันและทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ สามารถคงความต่างของอุณหภูมิ ($T_H - T_C$) ไว้ที่ $2.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความต่างอุณหภูมิของ $T_A - T_R$ เท่ากับ $2.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง และการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.317 วัตต์ ($P_{in} = 0.317 \text{ W}$ (0.3 V , 1.057 A)) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม จะเห็นได้ว่าโมดูลทำความเย็นพื้นที่กล่องปริมาตร 120 cm^3 สามารถลดอุณหภูมิภายในกล่องได้ถึง $2.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และมีค่าผลต่างอุณหภูมิสูงกว่าแบบไม่มีพัตลม เมื่อวัดอุณหภูมิอินฟราเรดด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนได้ภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ สามารถยืนยันผลระหว่างความต่างอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) และอุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ตรงกับผลที่ได้แสดงในกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของไมคูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในกล่องปริมาตร 120 cm^3 แบบมีพัดลมระบายความร้อน

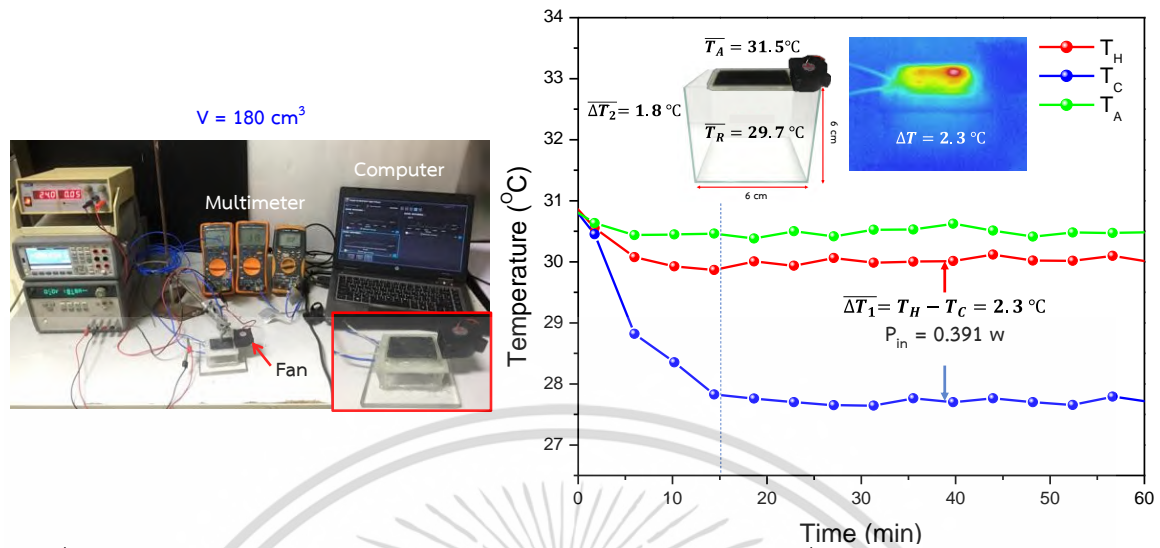
4.7.2.3 ผลการทดลองความต่างอุณหภูมิของไมคูลในกล่องปริมาตรขนาด 180 cm^3

ไม่มีพัดลม : จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของไมคูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ ทำการทดลองวัดค่าความต่างอุณหภูมิของไมคูลในระบบปิดที่ขนาดปริมาตรกล่องเท่ากับ 180 cm^3 โดยทำการวัดอุณหภูมิพร้อมกัน 4 ตำแหน่งได้แก่ ด้านร้อนบนแผ่นพอลิเมอร์/rGO (T_H) ด้านเย็นของแผ่นทองแดง (T_C) อุณหภูมิภายในกล่อง (T_R) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) การทดลองเริ่มต้นจากที่อุณหภูมิห้องเท่ากันและทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ สามารถคงความต่างของอุณหภูมิ ($T_H - T_C$) ไว้ที่ $2.2 \text{ }^\circ\text{C}$ และมีค่าความต่างอุณหภูมิของ $T_A - T_R$ เท่ากับ $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง และการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.391 วัตต์ ($P_{in} = 0.391 \text{ W}$ (0.3 V , 1.302 A)) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม จะเห็นได้ว่าไมคูลทำความเย็นพื้นที่กล่องปริมาตร 180 cm^3 สามารถลดอุณหภูมิภายในกล่องได้ $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เมื่อวัดอุณหภูมิอินฟราเรดด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนได้ภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิของไมคูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ สามารถยืนยันผลระหว่างความต่างอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) และอุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ตรงกับผลที่ได้แสดงในกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัสเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในกล่องปริมาตร 180 cm^3

มีพีดลัม : จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัสเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ ทำการทดลองวัดค่าความต่างอุณหภูมิของโมดูลในระบบปิดที่ขนาดปริมาตรกล่องเท่ากับ 180 cm^3 โดยมีการกระจายความร้อนด้วยพีดลัมเพื่อจำลองในการใช้งานจริงกับหมวกกันน็อก ทำการวัดอุณหภูมิพร้อมกัน 4 ตำแหน่งได้แก่ ด้านร้อนบนแผ่นพอลิเมอร์/rGO (T_H) ด้านเย็นของแผ่นทองแดง (T_C) อุณหภูมิภายในกล่อง (T_R) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) การทดลองเริ่มต้นจากที่อุณหภูมิห้องเท่ากันและทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ สามารถคงความต่างของอุณหภูมิ ($T_H - T_C$) ไว้ที่ $2.3 \text{ }^\circ\text{C}$ และมีค่าความต่างอุณหภูมิของ $T_A - T_R$ เท่ากับ $1.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง และการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.391 วัตต์ ($P_{in} = 0.391 \text{ W}$ (0.3 V , 1.302 A)) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม จะเห็นได้ว่าโมดูลทำความเย็นพื้นที่กล่องปริมาตร 180 cm^3 สามารถลดอุณหภูมิภายในกล่องได้ถึง $1.8 \text{ }^\circ\text{C}$ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และมีค่าผลต่างอุณหภูมิสูงกว่าแบบไม่มีพีดลัม เมื่อวัดอุณหภูมิอินฟราเรดด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนได้ภาพถ่ายการกระจายอุณหภูมิของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัสเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ สามารถยืนยันผลระหว่างความต่างอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) และอุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ตรงกับผลที่ได้แสดงในกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสเมทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ในกล่องปริมาตร 180 cm^3 แบบมีพัดลมระบายความร้อน

จากผลการทดลองของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสเมทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ ในระบบปิดโดยทำการหาเงื่อนไขปริมาตรขนาดของกล่องที่เหมาะสมสำหรับการทำความเย็นของแผ่นทำความเย็น และได้มีการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนเพื่อจำลองในการใช้งานจริงกับหมวกกันน็อก พบว่าขนาดปริมาตรของพื้นที่กล่องเพิ่มขึ้นจะมีกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นแต่ค่าความต่างของอุณหภูมิที่ลดลง เนื่องจากประสิทธิภาพทำความเย็นของแผ่นทำความเย็นมีข้อจำกัด ขนาดปริมาตรของกล่องจึงเป็นปัจจัยในการทำให้เกิดความเย็น ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดพื้นที่กล่อง 75 cm^3 มีค่าความต่างอุณหภูมิมากที่สุด และเมื่อมีการช่วยระบายความร้อนด้วยพัดลมแล้วนั้น สามารถเพิ่มความต่างอุณหภูมิได้ เพราะมีการถ่ายเทความร้อนออกไปได้เร็ว จึงช่วยเพิ่มการทำความเย็นให้กับกล่องที่เราทำการทดลองได้

4.8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) ของต้นแบบโมดูลทำความเย็น

$$COP = \frac{\dot{Q}_C}{P_{in}} \quad [43] \quad (4.1)$$

เมื่อ

COP	คือ	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น
\dot{Q}_C	คือ	อัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (W)
P_{in}	คือ	กำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกใช้ไป (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$\dot{Q}_c = \frac{mc\Delta T}{t} \quad (4.2)$$

$$m = \rho v$$

เมื่อ

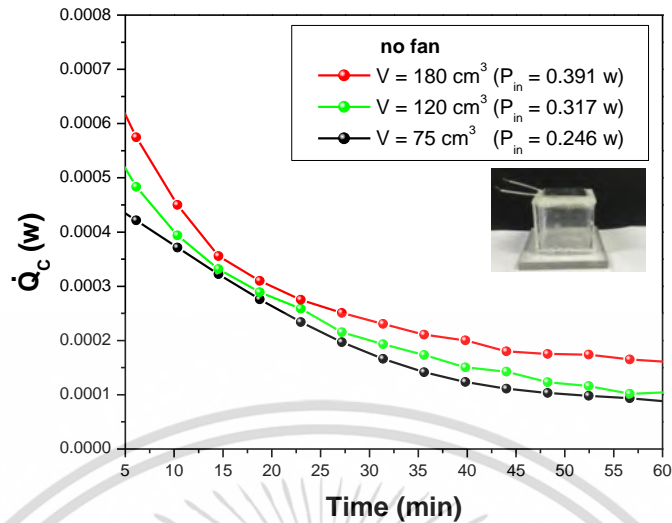
\dot{Q}_c	คือ	ปริมาณทางความร้อนที่ไหลเข้าด้านเย็น (J หรือ Cal)
m	คือ	มวลของอากาศ (Kg)
c	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศเท่ากับ 1012 (J/kg.K)
ΔT	คือ	ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ($^{\circ}\text{C}$ หรือ K)
t	คือ	เวลาในการทดลอง (วินาที)
ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 1.2 kg/m ³
v	คือ	ปริมาตรของกล่องที่ทดลองเท่ากับ 75, 120 และ 180 cm ³

ซึ่ง 1 จูล = 0.2388 Cal และ 1 Cal = 1.163x10⁻⁶ kW/hr

1 วัตต์ เท่ากับ จูล/วินาที

4.8.1 อัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_c) ของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้อง ปริมาตร 75 120 และ 180 cm³ แบบไม่มีพัดลม

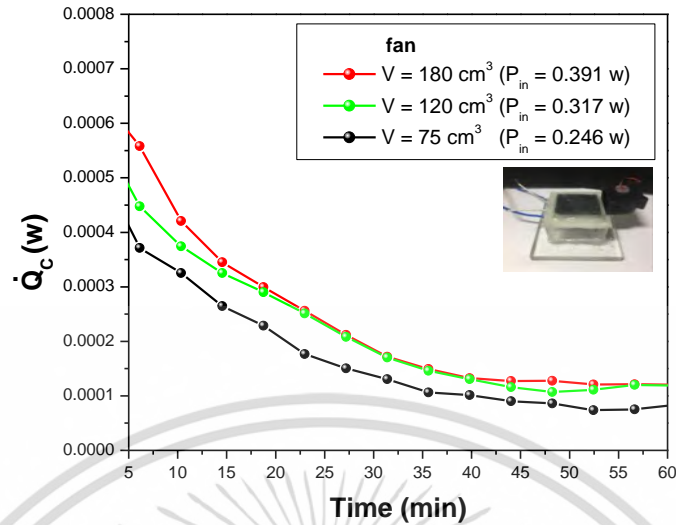
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนที่ไหลเข้าด้านเย็น (\dot{Q}_c) และเวลาที่ใช้ในการทดลองในกล่องปริมาตรขนาด 75, 120 และ 180 cm³ แบบไม่มีการติดตั้งพัดลม เพื่อทดสอบปริมาณอัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในกล่องแต่ละขนาด จากเงื่อนไขกำลังไฟฟ้าหัวข้อที่ 4.7.1 ได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม ทดสอบโดยการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับโมดูลทำความเย็นคงที่เท่ากับ 0.3 V กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 75 cm³ เท่ากับ 0.246 วัตต์ ($P_{in} = 0.246 \text{ W (0.3 V, 0.820 A)}$) กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 120 cm³ เท่ากับ 0.317 วัตต์ ($P_{in} = 0.317 \text{ W (0.3 V, 1.060 A)}$) และกำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 180 cm³ เท่ากับ 0.391 วัตต์ ($P_{in} = 0.391 \text{ W (0.3 V, 1.303 A)}$) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในกล่องขนาด 75, 120 และ 180 cm³ แบบไม่มีการติดตั้งพัดลมมีค่าลดลงตามเวลาที่ทดลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.00936%, 0.0120% และ 0.0160% ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าอัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_c) ที่กล่องขนาด 180 cm³ มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการร้อนที่ไหลด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_c) และเวลาของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm^3 แบบไม่มีพัดลม

4.8.2 อัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_c) ของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm^3 แบบมีพัดลม

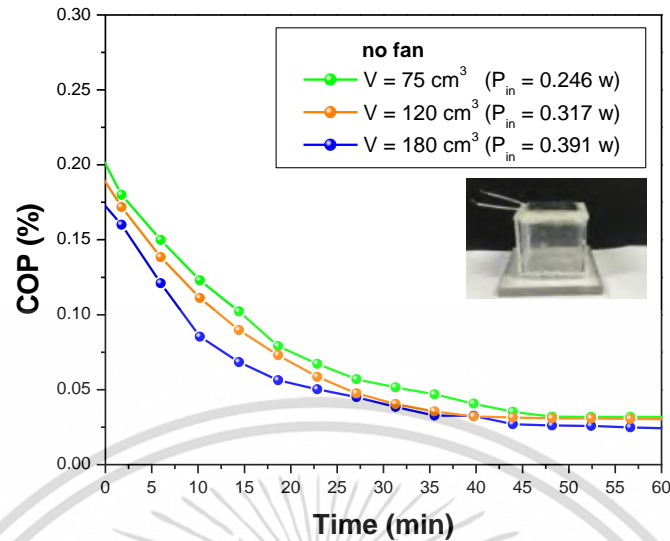
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการร้อนที่ไหลด้านเย็น (\dot{Q}_c) และเวลาที่ใช้ในการทดลองในกล่องปริมาตรขนาด 75, 120 และ 180 cm^3 แบบมีการติดตั้งพัดลม เพื่อทดสอบปริมาณอัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในกล่องแต่ละขนาด ทดสอบโดยการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับโมดูลทำความเย็นคงที่เท่ากับ 0.3 V กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 75 cm^3 เท่ากับ 0.246 วัตต์ ($P_{in} = 0.246 \text{ W}$ (0.3 V, 0.820 A)) กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 120 cm^3 เท่ากับ 0.317 วัตต์ ($P_{in} = 0.317 \text{ W}$ (0.3 V, 1.060 A)) และกำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 180 cm^3 เท่ากับ 0.391 วัตต์ ($P_{in} = 0.391 \text{ W}$ (0.3 V, 1.303 A)) ความต้านทาน 1.5 โอห์มพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในกล่องขนาด 75, 120 และ 180 cm^3 แบบติดตั้งพัดลมมีค่าลดลงตามเวลาที่ทดลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.00754%, 0.0120% และ 0.0121% ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าอัตราการร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_c) ที่กล่องขนาด 180 cm^3 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ และเมื่อเทียบกับการทดลองแบบไม่มีการติดตั้งพัดลมแล้วมีอัตราการร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำลดลงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการความร้อนที่ไหลผ่านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_c) และเวลาของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm^3 แบบไม่มีพัดลม

4.8.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm^3 แบบไม่มีพัดลม

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และเวลาที่ใช้ในการทดลองในกล่องปริมาตรขนาด 75, 120 และ 180 cm^3 แบบไม่มีการติดตั้งพัดลม เพื่อทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในกล่องแต่ละขนาด ทดสอบโดยการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับโมดูลทำความเย็นคงที่เท่ากับ 0.3 V กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 75 cm^3 เท่ากับ 0.246 วัตต์ ($P_{in} = 0.246 \text{ W}$ (0.3 V, 0.820 A)) กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 120 cm^3 เท่ากับ 0.317 วัตต์ ($P_{in} = 0.317 \text{ W}$ (0.3 V, 1.060 A)) และกำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 180 cm^3 เท่ากับ 0.391 วัตต์ ($P_{in} = 0.391 \text{ W}$ (0.3 V, 1.303 A)) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในกล่องขนาด 75, 120 และ 180 cm^3 แบบไม่มีการติดตั้งพัดลมมีค่าลดลงตามเวลาที่ทดลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.031%, 0.030% และ 0.025% ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่กล่องขนาด 75 cm^3 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.37

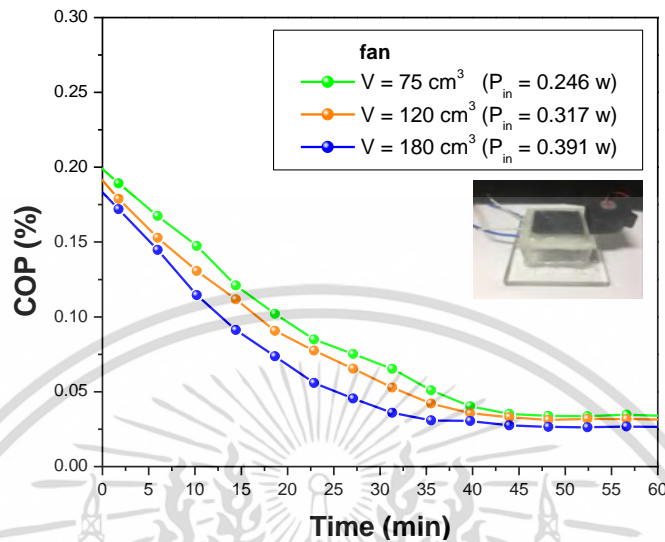


รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็น (COP) และเวลาของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm³ แบบไม่มีพัดลม

4.8.4 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm³ แบบมีพัดลม

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และเวลาที่ใช้ในการทดลองในกล่องปริมาตรขนาด 75, 120 และ 180 cm³ แบบติดตั้งพัดลม เพื่อทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในกล่องแต่ละขนาด ทดสอบโดยการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับโมดูลทำความเย็นคงที่เท่ากับ 0.3 V กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 75 cm³ เท่ากับ 0.246 วัตต์ (P_{in} = 0.246 W (0.3 V, 0.820 A)) กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 120 cm³ เท่ากับ 0.317 วัตต์ (P_{in} = 0.317 W (0.3 V, 1.060 A)) และกำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในกล่องปริมาตร 180 cm³ เท่ากับ 0.391 วัตต์ (P_{in} = 0.391 W (0.3 V, 1.303 A)) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในกล่องขนาด 75, 120 และ 180 cm³ แบบติดตั้งพัดลมมีค่าลดลงตามเวลาที่ทดลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.026%, 0.031% และ 0.033% ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่กล่องขนาด 75 cm³ มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ และเมื่อเทียบกับการทดลองแบบไม่มีการติดตั้งพัดลมแล้วมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ากล่องทดลองขนาด 75 cm³ มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นสูงสุดเมื่อเทียบกับขนาดเงื่อนไขกล่องทดลองอื่นๆ และการติดตั้งพัดลมไม่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น

เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะ เพราะฉะนั้นการติดพัดลมไม่มีผลต่อการเพิ่มค่า COP ของโมดูลทำความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 4.38



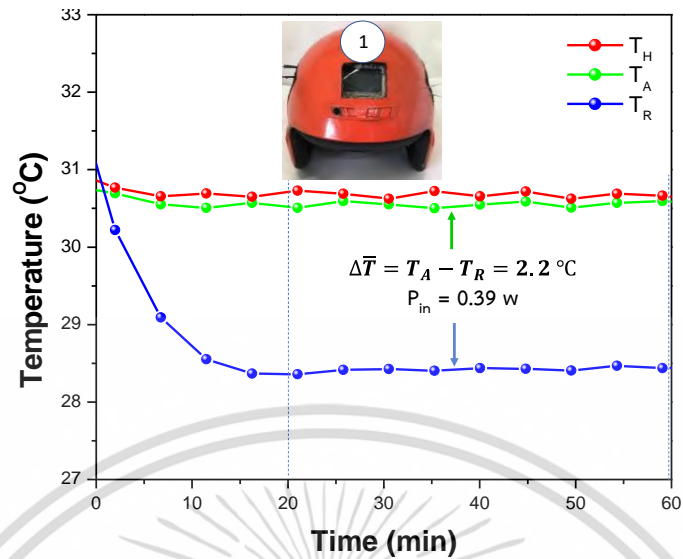
รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็น (COP) และเวลาของต้นแบบโมดูลทำความเย็นในห้องปริมาตร 75 120 และ 180 cm³ แบบมีพัดลม

4.9 ผลการทดลองความต่างของอุณหภูมิของโมดูลแผ่นทำความเย็นที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

4.9.1 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลแผ่นทำความเย็น 1 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานที่ทำการติดตั้งในหมวกกันน็อกโดยทำการวัดในระบบปิดภายในห้องของหมวกกันน็อกจำนวน 1 โมดูล ติดตั้งบริเวณด้านหน้าของหมวกกันน็อก เมื่อมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแผ่นโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำให้เกิดความต่างของอุณหภูมิขึ้น ในการวัดอุณหภูมิในครั้งนี้เราจะหาค่าความต่างของอุณหภูมิภายในห้องของหมวก (T_R) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) ผลการทดลองพบว่าแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อกแบบไม่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมและฮีตซิงค์ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาทีทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่และสามารถคงความต่างอุณหภูมิของ ($T_A - T_R$) ไว้ที่ 2.2 °C ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง และคงอุณหภูมิด้านร้อนของโมดูลทำความเย็น (T_H) ไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.39 วัตต์ ($P_{in} = 0.39 \text{ W}$ (0.3 V, 1.3 A)) ความต้านทาน 1.5 โอห์ม สามารถยืนยันผลได้ดังแสดงในรูปที่ 4.39

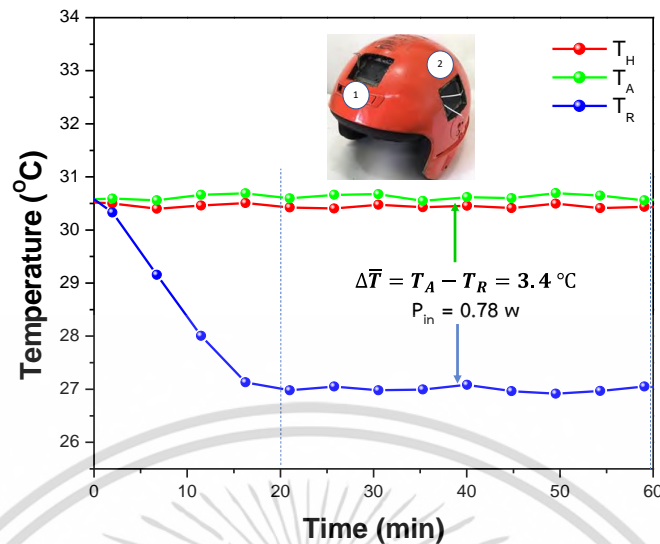
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลแผ่นทำความเย็น 1 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

4.9.2 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลแผ่นทำความเย็น 2 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

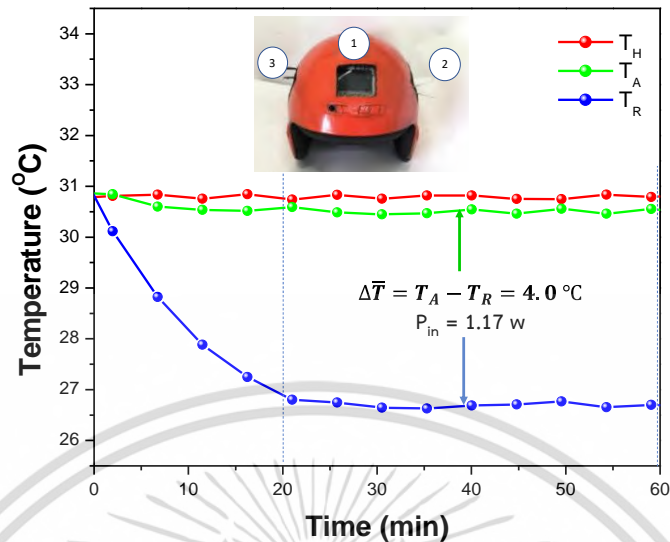
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานที่ทำการติดตั้งในหมวกกันน็อกโดยทำการวัดในระบบปิดภายในห้องของหมวกกันน็อกจำนวน 2 โมดูล ติดตั้งบริเวณด้านหน้าและด้านข้างของหมวกกันน็อก เมื่อมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแผ่นโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำให้เกิดความต่างของอุณหภูมิขึ้น ในการวัดอุณหภูมิในครั้งนี้เราจะหาค่าความต่างของอุณหภูมิภายในห้องของหมวก (T_R) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) ผลการทดลองพบว่าแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อกแบบไม่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมและฮีตซิงค์ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาทีทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่และสามารถคงความต่างอุณหภูมิของ ($T_A - T_R$) ไว้ที่ $3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง และคงอุณหภูมิด้านร้อนของโมดูลทำความเย็น (T_H) ไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 0.78 วัตต์ ($P_{in} = 0.78\text{ W}$ (0.3 V , 2.6 A)) ความต้านทาน 3 โอห์ม จะเห็นได้ว่าการเพิ่มโมดูลทำความเย็นในหมวกกันน็อกเป็น 2 โมดูล สามารถเพิ่มความต่างอุณหภูมิเมื่อเปรียบเทียบกับที่ติดตั้ง 1 โมดูล เป็น $3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสามารถเพิ่มความต่างอุณหภูมิได้ถึง $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T = 1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) สามารถยืนยันผลได้ดังแสดงในรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลแผ่นทำความเย็น 2 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

4.9.3 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิของโมดูลแผ่นทำความเย็น 3 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วยบิสมัทเทลลูไรด์ 4 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานที่ทำการติดตั้งในหมวกกันน็อกโดยทำการวัดในระบบปิดภายในห้องของหมวกกันน็อกจำนวน 2 โมดูล ติดตั้งบริเวณด้านหน้าและด้านข้างของหมวกกันน็อก เมื่อมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแผ่นโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำให้เกิดความต่างของอุณหภูมิขึ้น ในการวัดอุณหภูมิในครั้งนี้เราจะหาค่าความต่างของอุณหภูมิภายในห้องของหมวก (T_R) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) ผลการทดลองพบว่าแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อกแบบไม่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมและฮีตซิงค์ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาทีทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่และสามารถคงความต่างอุณหภูมิของ ($T_A - T_R$) ไว้ที่ 4.0 °C ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง และคงอุณหภูมิด้านร้อนของโมดูลทำความเย็น (T_H) ไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 1.17 วัตต์ ($P_{in} = 1.17 \text{ W}$ (0.3 V, 3.9 A)) ความต้านทาน 4.5 โอห์ม จะเห็นได้ว่าการเพิ่มโมดูลทำความเย็นในหมวกกันน็อกเป็น 2 โมดูล สามารถเพิ่มความต่างอุณหภูมิเมื่อเปรียบเทียบกับที่ติดตั้ง 2 โมดูล เป็น 4 °C ซึ่งสามารถเพิ่มความต่างอุณหภูมิได้ถึง 0.6 °C ($\Delta T = 0.6 \text{ °C}$) ดังนั้นสรุปได้ว่าจำนวนโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกันน็อกมีผลต่อการเพิ่มของกำลังไฟฟ้าที่ต้องจ่ายและการเพิ่มของความต่างอุณหภูมิได้ สามารถยืนยันผลได้ดังแสดงในรูปที่ 4.41



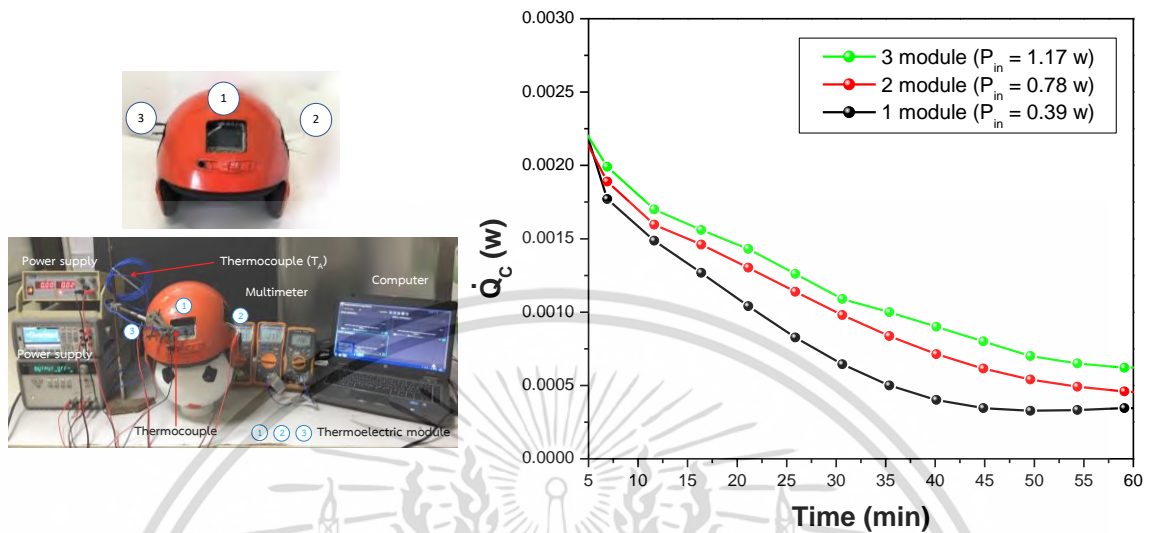
รูปที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลแผ่นทำความเย็น 3 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

4.10 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และอัตราการร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) ของโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกันน็อก

4.10.1 อัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) ของโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกันน็อก

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการร้อนที่ไหลด้านเย็น (\dot{Q}_C) และเวลาที่ใช้ในการทดลองติดตั้งโมดูลทำความเย็น 1, 2 และ 3 โมดูล ในหมวกกันน็อกแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน เพื่อทดสอบปริมาณอัตราการร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในแต่ละเงื่อนไขในการติดตั้งจำนวนโมดูลทำความเย็น ทดสอบโดยการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับโมดูลทำความเย็นคงที่เท่ากับ 0.3 V โดยทำการจ่ายดั่งลั้งไฟฟ้าแยกให้แต่ละโมดูลทำความเย็น กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้ง 1 โมดูลในหมวกกันน็อก เท่ากับ 0.39 วัตต์ ($P_{in} = 0.39$ W (0.3 V, 1.3 A)) กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้ง 2 โมดูลในหมวกกันน็อก เท่ากับ 0.78 วัตต์ ($P_{in} = 0.39$ W (0.3 V, 2.6 A)) และกำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้ง 3 โมดูลในหมวกกันน็อก เท่ากับ 1.17 วัตต์ ($P_{in} = 1.17$ W (0.3 V, 3.9 A)) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งโมดูลทำความเย็น 1, 2 และ 3 โมดูลในหมวกกันน็อกแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อนมีค่าลดลงตามเวลาที่ทดลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.033%, 0.046% และ 0.062% ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าอัตราการร้อนไหล

เข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกันน็อก ดังแสดงในรูปที่ 4.42



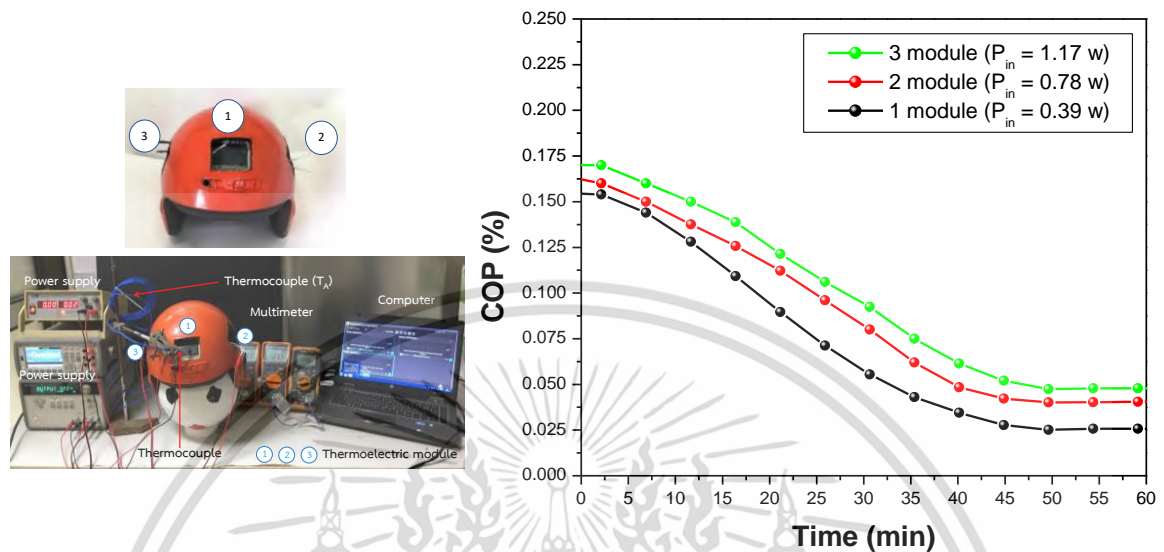
รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ \dot{Q}_C กับเวลาของโมดูลทำความเย็นให้ห้องปิดในหมวกกันน็อก

4.10.2 สัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็น (COP) ของโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกัน

น็อก

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็น (COP) และเวลาที่ใช้ในการทดลองติดตั้งโมดูลทำความเย็น 1, 2 และ 3 โมดูล ในหมวกกันน็อกแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อน เพื่อทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในกล่องแต่ละเงื่อนไข ในการติดตั้งจำนวนโมดูลทำความเย็น ทดสอบโดยการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับโมดูลทำความเย็น คงที่เท่ากับ 0.3 V โดยทำการจ่ายค่าลงไฟฟ้าแยกให้แต่ละโมดูลทำความเย็น กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้ง 1 โมดูลในหมวกกันน็อก เท่ากับ 0.39 วัตต์ ($P_{in} = 0.39$ W (0.3 V, 1.3 A)) กำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้ง 2 โมดูลในหมวกกันน็อก เท่ากับ 0.78 วัตต์ ($P_{in} = 0.39$ W (0.3 V, 2.6 A)) และกำลังไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายให้กับโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้ง 3 โมดูลในหมวกกันน็อก เท่ากับ 1.17 วัตต์ ($P_{in} = 1.17$ W (0.3 V, 3.9 A)) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นของโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งโมดูลทำความเย็น 1, 2 และ 3 โมดูลในหมวกกันน็อกแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อนมีค่าลดลงตามเวลาที่ทดลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.025%, 0.040% และ 0.047% ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกันน็อก ดังนั้นสรุปได้ว่าหมวกกันน็อกที่ติดตั้งโมดูลทำความเย็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อนสามารถสร้างความต่างของอุณหภูมิได้ถึง

4.0 °C และมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นเท่ากับ 0.00047 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.047% ดังแสดงในรูปที่ 4.43



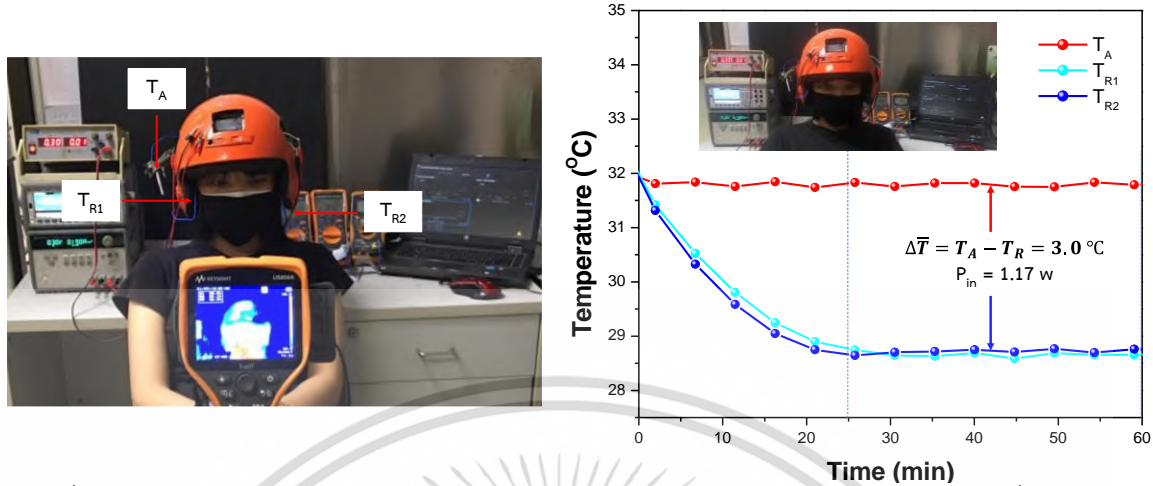
รูปที่ 4.43 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) กับเวลาของโมดูลทำความเย็นให้ห้องปิดในหมวกกันน็อก

4.11 ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกันน็อกสวมใส่จริง

4.11.1 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิในหมวกกันน็อกสวมใส่จริง

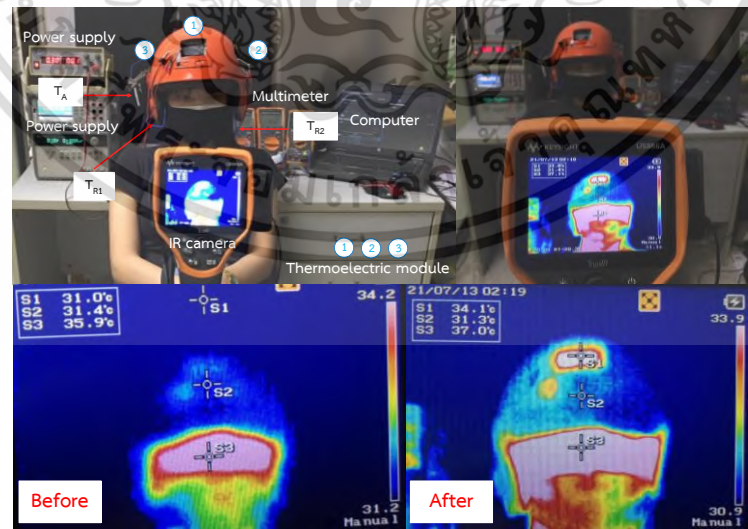
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อกที่สวมใส่จริง ทำการวัดอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อกทั้งหมด 2 ตำแหน่งบริเวณตรงกลางทั้ง 2 ข้างของหมวกกันน็อก เมื่อมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแผ่นโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำให้เกิดความต่างของอุณหภูมิขึ้น ในการวัดอุณหภูมิในครั้งนี้เราจะหาค่าความต่างของอุณหภูมิภายในห้องของหมวก (T_{R1} , T_{R2}) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) ผลการทดลองพบว่าแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อกแบบไม่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมและฮีตซิงค์ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 25 นาทีทำให้ความต่างของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่และสามารถคงความต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของ ($T_A - T_R$) ไว้ที่ 3.2 °C ตลอดการทดลอง 1 ชั่วโมง และการจ่ายกำลังไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าจ่ายแยกให้กับโมดูลทำความเย็นรวมเท่ากับ 1.17 วัตต์ ($P_{in} = 1.17 \text{ W}$ (0.3 V, 3.9 A)) ความต้านทาน 4.5 โอห์ม จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการสวมใส่จริงสามารถสร้างความต่างอุณหภูมิได้ แต่เมื่อเทียบกับการทดลองที่เป็นระบบปิดภายในหมวกกันน็อกแล้วนั้นการทดลองแบบสวมใส่จริงจะสร้างความต่างอุณหภูมิได้ต่ำกว่า อาจเกิดจากการสวมใส่หมวกกันน็อกแล้วมีช่องว่างที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสามารถถ่ายเทเข้าไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อกที่สวมใส่จริง

โมดูลที่ประกอบด้วยบิสมีสเทลลูไรต์ 4 แห่งเซลล์ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน ผลการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิของโมดูลประกอบด้วยบิสมีสเทลลูไรต์ 4 แห่งเซลล์ที่ทำการติดตั้ง 3 โมดูล ในหมวกกันน็อก และได้ทำการสวมหมวกกันน็อกกับหัวคนจริงวัดค่าการกระจายอุณหภูมิด้วยกล้อง IR พบว่าเมื่อทำการสวมหมวกกันน็อกจริงและทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโมดูลความรู้สึกถึงการทำความเย็นของแผ่นโมดูลทำความเย็นในหมวกกันน็อกไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากอุณหภูมิภายในหมวกลดลงจากอุณหภูมิห้องประมาณ 3 องศา จากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และจากกล้อง IR จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิร่างกายของคนเราทั่วไปจะมีความร้อนแต่ความร้อนนั้นจะไม่มีมีการกระจายไปยังหมวกกันน็อกที่สวมอยู่ เพราะในหมวกกันน็อกมีระบบทำความเย็นของโมดูลที่ติดตั้งในหมวกทำความเย็นให้กับหมวกกันน็อกอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.45

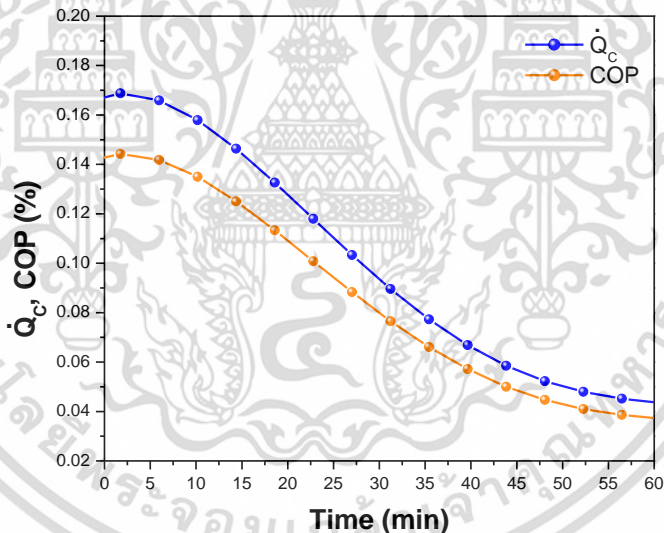


รูปที่ 4.45 ผลการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลแผ่นทำความเย็น 3 โมดูล ที่ทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11.2 อัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำ (\dot{Q}_C) และสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็น (COP) ในหมวกกันน็อกสวมใส่จริง

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง \dot{Q}_C , COP และเวลาของอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อกที่สวมใส่จริง ทำการวัดอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อกทั้งหมด 2 ตำแหน่งบริเวณตรงกลางทั้ง 2 ข้างของหมวกกันน็อก เมื่อมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแผ่นโมดูทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำให้เกิดความต่างของอุณหภูมิขึ้น ในการวัดอุณหภูมิในครั้งนี้เราจะหาค่าความต่างของอุณหภูมิภายในห้องของหมวก (T_{R1} , T_{R2}) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_A) ผลการทดลองพบว่าแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกทำการประยุกต์ติดตั้งในหมวกกันน็อกแบบไม่มีพัดลมระบายความร้อน พบว่าเริ่มต้นในการทดลองอัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำจะมีค่าสูง และเมื่อเวลาผ่านไปอัตราความร้อนไหลเข้าด้านอุณหภูมิต่ำและสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็น (COP) ของอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อกที่สวมใส่จริงมีค่าลดลงตามเวลาที่ทดลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ \dot{Q}_C เท่ากับ 0.037% และ COP เท่ากับ 0.045% (ที่เวลาผ่านไปเมื่อค่าคงที่) ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.46 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง \dot{Q}_C , COP และเวลาของอุณหภูมิภายในหมวกกันน็อกที่สวมใส่จริง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิล์มสเทลลูไรด์แบบไร้ระบบพัดลมระบายความร้อนมีผลการทดลองหลักๆอยู่ 5 หัวข้อดังนี้

1. การวิเคราะห์ความเป็นฉนวนกันความร้อนของยางพาราธรรมชาติ และยางพาราธรรมชาติคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ ที่ 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0% ด้วยวิธีการวัดค่าความต่างของอุณหภูมิพบว่า และเทคนิคการทดสอบค่าการนำความร้อน จากการจำลองให้ความร้อนประมาณ 50 องศา เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าที่ rubber/GO-0.5% มีค่าความต่างของอุณหภูมิที่สูงที่สุด และได้ทำการวัดค่าการนำความร้อนพบว่า rubber/GO-0.5% มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ $0.1227 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงมีค่าความเป็นฉนวนที่ดีที่สุดซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าความต่างอุณหภูมิ

2. การพัฒนาพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลคติกเอซิด (PLA) คอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลคติกเอซิด และพอลิแลคติกเอซิดคอมโพสิทกราฟีนออกไซด์ ที่ 0.01%, 0.05%, 0.1% และ 0.5% ด้วยเทคนิค XRD, SEM-EDS Mapping, FT-IR และ Raman พบว่าสอดคล้องกับเฟสมาตรฐานของ PLA และยืนยันการมีอยู่ของกราฟีนออกไซด์ และผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลการทดสอบการวัดค่าความแข็งแบบวิกเกอร์และวัดค่าแรงดึง พบว่า PLA/GO-0.05% มีค่าความแข็งวิกเกอร์และค่าแรงดึงสูงที่สุด ซึ่งผลการทดลองทั้งสองมีค่าที่สอดคล้องกัน

3. ผลวิเคราะห์เงื่อนไขขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงของแท่งเซลล์บิล์มสเทลลูไรด์ พบว่าโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบด้วย 1 แท่งเซลล์ ที่พื้นที่หน้าตัด 0.5×0.5 ซม. ความสูง 1 ซม. ให้ผลค่าความต่างอุณหภูมิที่สูงที่สุด กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเท่ากับ 6.93 มิลลิวัตต์ เกิดความต่างของอุณหภูมิในย่านความเย็นเท่ากับ $0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำการเพิ่มจำนวนแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็น 2 แท่งเซลล์ เงื่อนไขของพื้นที่หน้าตัดและขนาดความสูงยังเท่าเดิม โดยมีการต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานและต่อแบบอนุกรม พบว่าการต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน ($\Delta T = 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) สามารถให้ความแตกต่างอุณหภูมิมากกว่าการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม ($\Delta T = 1.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ซึ่งมีค่าความแตกต่างอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง $0.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T = 0.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$) และกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้น้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกการต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน และเพิ่มจำนวนแท่งเซลล์เป็น 4 แท่งเซลล์ พบว่าสามารถสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิไว้ที่ $2.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตลอดการทดลอง 2 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จะเห็นได้ว่าจำนวนของแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกบิล์มสเทลลูไรด์ที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิด้วยเย็น ดังนั้นสามารถพัฒนาต้นแบบโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิล์มสเทลลูไรด์แบบไร้ระบบพัดลมระบายความร้อนได้

4. การวิเคราะห์ผลจากการทดลองของโมดูลที่ประกอบด้วยบิลัมส์เทลลูไรต์ 4 แท่งเซลล์ ในระบบปิดโดยทำการหาเงื่อนไขปริมาตรขนาดของกล่องที่เหมาะสมสำหรับการทำความเย็นของแผ่นทำความเย็นพบว่าขนาดปริมาตรของพื้นที่กล่องเพิ่มขึ้นจะมีกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นแต่ค่าความต่างของอุณหภูมิที่ลดลง เนื่องจากประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นทำความเย็นมีข้อจำกัด ขนาดปริมาตรของกล่องจึงเป็นปัจจัยในการทำให้เกิดความเย็น ดังนั้นสรุปได้ว่าขนาดกล่อง 75 cm³ มีค่าความต่างอุณหภูมิมากที่สุด และมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นสูงที่สุด

5. จากการติดตั้งโมดูลทำความเย็นในหมวกกันน็อก 1 2 และ 3 โมดูล พบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมดูลทำความเย็นที่ติดตั้งในหมวกกันน็อก ดังนั้นสรุปได้ว่าหมวกกันน็อกที่ติดตั้งโมดูลทำความเย็นแบบไม่มีระบบพัดลมระบายความร้อนสามารถสร้างความต่างของอุณหภูมิได้ถึง 4.0 °C และมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะความเย็นเท่ากับ 0.00047 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.047%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลองพัฒนาต้นแบบโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิลัมส์เทลลูไรต์แบบไร้ระบบพัดลมระบายความร้อน พบว่าเมื่อหาขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงที่เหมาะสมแล้วมีการเพิ่มจำนวนแท่งเซลล์ของวัสดุ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมียี่ค่าลดลงจากอุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตสามารถที่จะเพิ่มจำนวนแท่งเซลล์เพื่อเพิ่มความต่างของอุณหภูมิตามการใช้งานที่เหมาะสม
2. นำต้นแบบโมดูลทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจากแท่งบิลัมส์เทลลูไรต์แบบไร้ระบบพัดลมระบายความร้อนไปติดตั้งในหมวกกันน็อก และหาเงื่อนไขการจ่ายกำลังให้เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Banchong Phonchai and Uthaiwan Sukimanil, The Nursing Student's Behavior of Helmet Use, Nakhon Phanom University, Journal of Nursing and Health Sciences, 5 2011 2.
- [2] YU. G. GUREVICH and J. E. VELAZQUEZ-PEREZ, Peltier Effect in Semiconductors, Publisher: John Wiley and Sons, In book: Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, 2014 1-21.
- [3] Johan Mardini-Bovea, Gabriel Torres-Díaz, Marian Sabau, Emiro De-la-Hoz-Franco, Jose Nino-Moreno and Pedro Jessid Pacheco-Torres, A review to refrigeration with thermoelectric energy based on the Peltier effect, Mardini-Bovea et al / Revista DYNA, 86(208) 2019 9-18.
- [4] Achim Harzheim, Jean Spiece, Charalambos Evangelis, Edward McCann, Vladimir Falko, Yuewen Sheng, Jamie H. Warner, G. Andrew D. Briggs, Jan A. Mol, Pascal Gehring and Oleg V. Kolosov, Geometrically Enhanced Thermoelectric Effects in Graphene Nanoconstrictions, Nano Lett. 2018, 18, 7719–7725.
- [5] Shetty A. S. and Singh S. M., Air cooled helmet using Peltier effect, International journal of scientific research engineering and technology, 8(1) 2019 2278-0882.
- [6] Lee K H and Kim O J, Analysis on the cooling performance of the thermoelectric micro-cooler, International journal of heat and mass transfer, 50 (2007) 1982-1992.
- [7] M. Hrairi, A.F. Abdullah and M.I. Ahmed, Cooling of Motorcyclist Helmet with Thermoelectric Module, Journal of Scientific Research, 13 (2013) 103-108.
- [8] H. Yavuz and R. Ahiska, Thermoelectric Brain Cooler Helmet, International Advanced Technologies Symposium, (2011)
- [9] รศ.ดร.เชษฐา รัตน์พันธ์. 2562. เทอร์โมอิเล็กทริก. กรุงเทพฯ : สาขาวิชาฟิสิกส์ ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [10] จิรายุสวัฒน์ ประสม, สิทธิโชค สืบแต่ตระกูล และ ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์. 2562. การศึกษาคุณลักษณะของการทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 33

- [11] Aittitep Phungmuang. 2016. Water condensation generator based on peltier cooler module. A Thesis Degree of Master of Engineering in Electronic and Photonic Engineering, Suranaree University of Technology Academic.
- [12] นวระวัฒน์ เจริญสุข, วิศวกรรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2020, <http://www.thaiphysoc.org>
- [13] ฟิสิกส์ discovery การค้นพบทางฟิสิกส์, เทอร์โมอิเล็กทริก <http://www.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/howstuff2/refrigerator/refrigeratorthai6.htm>
- [14] วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกจี๋วและแจ๋ว, ดร.วรวิทย์ โกสลาทิพย์, ผศ.ดร.ทัศวัลย์ คัมภีระพันธุ์, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, URL : <http://webstaff.kmutt.ac.th/~ivorthip/TE/>, access on 18/03/2019.
- [15] ดร.ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, ที่มา : รวบรวมจาก หนังสือสารานุกรมธาตุ, ฟิสิกส์ราชมงคล, URL : <http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/periodic-table/Bi.html>
- [16] Wikipedia, the free encyclopedia. Bismuth telluride. [3 April 2020]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Bismuth_telluride
- [17] Praewpanit Nuamcharoen. Physical properties of reduce graphene oxide/poly (butylenesuccinate) composite. The Degree of Master of Science Program in Petro Chemistry and Polymer Science, Chulalongkorn University, 2015. [3 April 2020]. Available from: <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/63502>
- [18] Nanoscience & Nanotechnology, Synthesis of Carbon Nanotubes. [4 April 2020]. Available from: <https://sites.google.com/site/nanomodern/Home/CNT/syncnt>.
- [19] กราฟีน (Graphene), ผศ.ดร.ศุภรัตน์ นาคสิทธิพันธุ์ สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- [20] รายงานการศึกษาระดับสมบูรณ (Final Report) โครงการเพิ่มศักยภาพฐานข้อมูลอุตสาหกรรมฐานชีวภาพ, รายละเอียดข้อมูลพลาสติกชีวภาพประเภท พอลิแลคติกแอซิด (Poly(Lactic Acid))
- [21] Datta R and Henry M (2006) Lactic acid: Recent advances in products, processes and technologies-a review, J Chem Technol Biotechnol 81:1119-1129.
- [22] Auras R, Harte B and Selke S (2004a) An overview of polylactides as packaging materials, Macromol Biosci 4:835-864.
- [23] Garlotta D (2001) A literature review of polylactic acid, J Polym Environ 9:63-84.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [24] Conn R E, Kolstad J J, Borzelleca J F, Dixler D S, Filler Jr L J, LaDu Jr B N and Pariza M W (1995) Safety assessment of polylactide (PLA) for use as a food-contact polymer, Food Chem Toxicol 33:273-283.
- [25] พลาสติกที่สลายตัวได้ทางชีวภาพ: Polylactic acid (PLA), กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ กองอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [26] อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล. 2554. พอลิแลคติกแอซิด: พอลิเอสเทอร์จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้. วิศวกรรมศาสตร์ สาร มก. 77: 99-110.
- [27] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. ปราณีย์ ชุมสำโรง. 2560. การสังเคราะห์การตรวจสอบสมบัติและการใช้ประโยชน์บล็อกโคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและยางธรรมชาติ. สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [28] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
- [29] <http://il.mahidol.ac.th>
- [30] ร.ศ.แมน อมรสิทธิ์. 2534. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.
- [31] ห้องวิเคราะห์ FTIR & Raman Micro-Spectroscopy. โซนห้องปฏิบัติการส่วนวิจัยประยุกต์เพื่ออุตสาหกรรม ฝ่ายสถานีวิจัย ชั้น 3 อาคารสิริธรวิซโซทัย. สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. จังหวัดนครราชสีมา
- [32] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย. จ.ปทุมธานี 12120
- [33] ศูนย์บริการเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุและนาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology and Material Analytical Instrument Service Unit: NMIS). วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ
- [34] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ศูนย์นวัตกรรมวัสดุคณะวิศวกรรมศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุคณะวิศวกรรมศาสตร์.
- [35] Gong, M.; Zhao, Q.; Dai, L.; Li, Y.; and Jiang, T. 2017. Fabrication of polylactic acid/hydroxyapatite/graphene oxide composite and their thermal stability, hydrophobic and mechanical properties. Journal of Asian Ceramic Societies. 5(2); 160–168.
- [36] Manafi, P.; Ghasemi, I.; Karrabi, M.; Azizi, H.; Manafi, M.R.; and Ehsaninamin, P. 2015. Thermal stability and thermal degradation kinetics (model-free kinetics) of

nanocomposites based on poly (lactic acid)/graphene: the influence of functionalization. *Polymer Bulletin*. 72(5); 1095-1112.

[37] Phrompet, C.; Sriwong, C.; and Ruttanapun, C. 2019. Mechanical, dielectric, thermal and antibacterial properties of reduced graphene oxide (rGO)-nanosized C₃AH₆ cement nanocomposites for smart cement-based materials. *Composites Part B: Engineering*. 175; 107128.

[38] Sriwong, C.; Phrompet, C.; Tuichai, W.; Karaphun, A.; Kurosaki, K.; and Ruttanapun, C. 2020. Synthesis, microstructure, multifunctional properties of mayenite Ca₁₂Al₁₄O₃₃ (C₁₂A₇) cement and graphene oxide (GO) composites. *Scientific Reports*. 10(1); 11077.

[39] Kamalak H, Erdem M, Altin E, Dimirel S, Oz E and Altin S. 2016. “Giant Dielectric Constant and Mechanical, Heat Conducting and Structural Properties of Dental Composites by Adding Ca Ions”. *J Dent Oro Surg*. 1(3); 112.

[40] Dias Murbach, H., Jaques Ogawa, G., Azevedo Borges, F., Romeiro Miranda, M. C., Lopes, R., Roberto de Barros, N., Vinicius Guedes Mazalli, A., Gonçalves da Silva, R., Luiz Ferreira Cinman, J., de Camargo Drago, B. and Donizetti Herculano, R. (2014). Ciprofloxacin Release Using Natural Rubber Latex Membranes as Carrier. *International Journal of Biomaterials*, 2014, 1–7.

[41] Johns, J., & Rao, V. (2008). Characterization of Natural Rubber Latex/Chitosan Blends. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 13(4), 280–291.

[42] Thongsamrit, W., Phrompet, C., Maneesai, K., Karaphun, A., Tuichai, W., Sriwong, C., & Ruttanapun, C. (2020). Effect of grain boundary interfaces on electrochemical and thermoelectric properties of a Bi₂Te₃/reduced graphene oxide composites. *Materials Chemistry and Physics*, 123196.

[43] Cao, L., Han, J., Duan, L., & Huo, C. (2017). Design and Experiment Study of a New Thermoelectric Cooling Helmet. *Procedia Engineering*, 205, 1426–1432.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงข้อมูล JCPDS ของบิสมัทเทลลูไรด์ชนิดเอ็น (Bi_2Te_3)

00-015-083

PDF Card Report

Status: Primar

QM: Star (S)

Pressure/Temperature: Ambient

Chemical Formula: Bi_2Te_3 Empirical Formula: Bi_2Te_3

Weight %: Bi52.20 Te47.80

Atomic %: Bi40.00 Te60.00

Compound Name: Bismuth Telluride

Mineral Name: Tellurobismuthite, syn

Experimental

Author's Reported Data

Radiation: $\text{CuK}\alpha_1$: 1.5406Å

Filter: Ni Beta

d-Spacing: Diff

Intensity: Diffractometer

I/c: 6.3

Physical

SYS: Rhombohedral **SPGR:** R-3m (166)

Author's Cell

AuthCell a: 4.3852Å

AuthCell c: 30.483Å

AuthCell Vol: 507.65Å³

AuthCell Z: 3.00

AuthCell MolVol: 169.22

Author's Cell Axial Ratio

AuthCell c/a: 6.951

Dcalc: 7.858g/cm³Dmeas: 7.815g/cm³

SS/FOM: F(30) = 36.4(0.0147, 56)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Crystal

ICDD Calculated Parameters

Space Group: R-3m (166)

Molecular Weight: 800.76

Crystal Data

XtlCell a: 4.385Å XtlCell b: 4.385Å XtlCell c: 30.483Å

XtlCell : 90.00° XtlCell : 90.00° XtlCell : 120.00°

XtlCell Vol: 507.65Å³ XtlCell Z: 3.00

Crystal Data Axial Ratio

XtlCell c/a: 6.952 XtlCell a/b: 1.000 XtlCell c/b: 6.952

Reduced Cell

RedCell a: 4.385Å RedCell b: 4.385Å RedCell c: 10.472Å

RedCell : 77.91° RedCell : 77.91° RedCell : 60.00°

RedCell Vol: 169.22Å³

Structure

Crystal (Symmetry Allowed): Centrosymmetric

Miscellaneous

Pearson: hR5.00

Prototype Structure: Bi₂Te₃

Prototype Structure (Alpha Order): Bi₂Te₃

Mineral Classification: Tetradymite (Supergroup), 5R (Group)

Subfile(s): NBS Pattern, Inorganic, Thermoelectric Material, Metals & Alloys, Mineral

Related (Mineral , Synthetic), Primary Pattern

Last Modification Date: 01/14/2012

Cross-Ref PDF #'s: 00-002-0524 (Alternate), 00-008-0021 (Deleted), 04-002-0233,
04-002-0234, 04-002-0580, 04-002-5479, 04-003-2510, 04-003-5939,
04-004-5233, 04-004-5238, 04-004-5529, 04-004-5960, 04-004-7432,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

04-004-7571, 04-004-7783, 04-004-7785, 04-004-8858, 04-005-5906,
04-005-6292, 04-006-8100, 04-006-8147, 04-007-1004

References

Type	Reference
Primary Reference	Natl. Bur. Stand. (U. S.) Monogr. 25 3, 16 (1964).
Color	Dana's System of Mineralogy, 7th Ed. I, 160.
Density measured	Dana's System of Mineralogy, 7th Ed. I, 160.

Comments

Database Comments: Analysis: Spectroscopic analysis (wt.%): 0.0001 to 0.001 each of Mg and Si. Color: Gray. Opaque Optical Data: Opaque mineral optical data on specimen from Oya mine, Japan: R1Ro=61.3, RR2Re=58.7, Disp.=16, Color values 1 .315, .320, 61.6, 2 .312, .317, 59.0, Ref.: IMA Commission on Ore Microscopy QDF. Sample Source or Locality: Sample was obtained from Semitronics Inc., Winchester, Massachusetts, USA. Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K. Unit Cell: Rhombohedral cell: a=10.472, $\alpha=24.17^\circ$. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

d-Spacings (62) - 00-015-0863 (Fixed Slit Intensity) - Cu K1 1.54056Å

No.	h	k	l	d [Å]	I [%]
1	0	0	3	10.16000	4.0
2	0	0	6	5.07800	8.0
3	1	0	1	3.76700	4.0
4	1	0	4	3.39800	1.0
5	0	1	5	3.22200	100.0
6	0	1	8	2.68900	2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

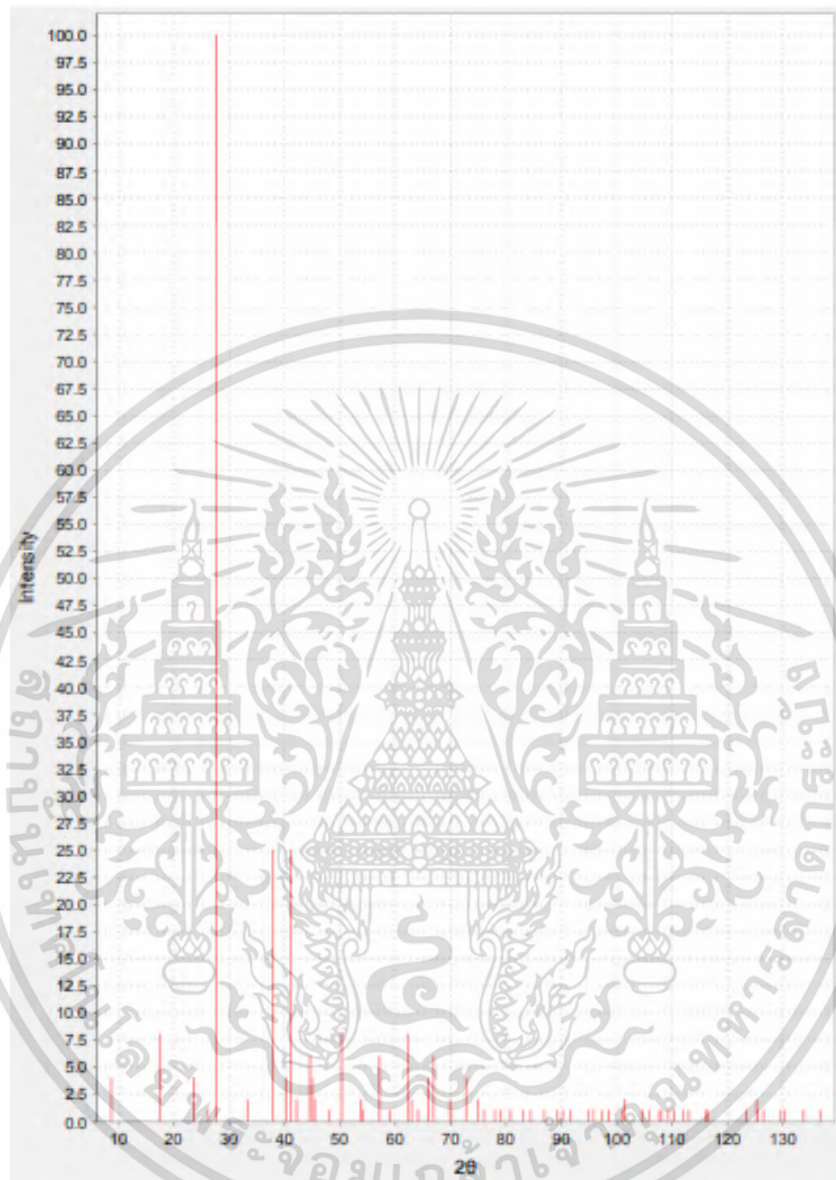
No.	h	k	l	d [Å]	I [%]
7	1	0	10	2.37600	25.0
8	0	1	11	2.23800	4.0
9	1	1	0	2.19200	25.0
10	1	1	3	2.14200	2.0
11	0	0	15	2.03100	6.0
12	1	1	6	2.01300	4.0
13	1	0	13	1.99500	2.0
14	0	1	14	1.89000	1.0
15	2	0	5	1.81200	8.0
16	1	0	16	1.70200	2.0
17	0	0	18	1.69300	1.0
18	0	2	10	1.61100	6.0
19	2	0	11	1.56500	1.0
20	1	1	15	1.49010	8.0
21	0	2	13	1.47560	2.0
22	0	0	21	1.45130	1.0
23	0	1	20	1.41400	4.0
24	1	2	5	1.39700	6.0
25	0	2	16	1.34490	2.0
26	1	1	18	1.34040	1.0
27	2	1	10	1.29860	4.0
28	3	0	0	1.26600	2.0
29	0	1	23	1.25140	1.0
30	2	1	13	1.22420	1.0
31	1	1	21	1.21030	1.0
32	2	0	20	1.18860	1.0
33	1	0	25	1.16100	1.0
34	2	1	16	1.14640	1.0
35	0	1	26	1.12000	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	h	k	l	d [Å]	I [%]
36	2	2	0	1.09630	1.0
37	2	0	23	1.08680	1.0
38	3	0	15	1.07440	1.0
39	1	0	28	1.04640	1.0
40	3	1	5	1.03790	1.0
41	0	2	25	1.02610	1.0
42	0	0	30	1.01630	1.0
43	2	0	26	0.99780	1.0
44	1	3	10	0.99560	2.0
45	1	2	23	0.97380	1.0
46	2	2	15	0.96490	1.0
47	3	0	21	0.95400	1.0
48	1	0	31	0.95180	1.0
49	0	2	28	0.94440	1.0
50	0	4	5	0.93820	1.0
51	2	1	25	0.92940	1.0
52	0	0	33	0.92380	1.0
53	1	2	26	0.90800	1.0
54	4	0	10	0.90640	1.0
55	2	2	21	0.87500	1.0
56	2	1	28	0.86730	2.0
57	3	1	20	0.86660	1.0
58	2	3	5	0.86260	1.0
59	1	1	33	0.85120	1.0
60	0	1	35	0.84880	1.0
61	3	2	10	0.83770	1.0
62	4	1	0	0.82860	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stick Pattern



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปอุปกรณ์/เครื่องมือ	ชื่อยี่ห้อ (รุ่น)
ข.1		<p>ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ U1241 C/U1242C 4-Digital Handheld Digital Multimeter</p>
ข.2		<p>6105 Resistivity adapter Keithley instrument, inc., Cleveland, Ohio, made in U.S.A</p>
ข.3		<p>เครื่องวัดอุณหภูมิ (Infrared thermometer) รุ่น Banatech GM1651 -30 °C ~165 °C</p>
ข.4		<p>เครื่องชั่งดิจิตอล ความละเอียด 0.0001 กรัม รุ่น WANT® Electronic Balance</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปอุปกรณ์/เครื่องมือ	ชื่อยี่ห้อ (รุ่น)
ข.5		<p>Vernier caliper</p> <p>รุ่น Starnic</p> <p>150 x 0.02 mm / 6" x 1 / 1000"</p>
ข.6		<p>กล้องตรวจจับอินฟราเรด</p> <p>รุ่น E-40</p> <p>บริษัทเทอร์โมสแกน</p>
ข.7		<p>เครื่องอัดไฮดรอลิกกึ่งอัตโนมัติ</p> <p>ขนาดแรงดัน 5000 psi</p> <p>ผลิตโดยบริษัท Risen Gold</p>
ข.8		<p>เครื่องดูดควัน (Fume hood)</p> <p>ผลิตโดยบริษัท Design-alternative ประเทศไทย</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปอุปกรณ์/เครื่องมือ	ชื่อยี่ห้อ (รุ่น)
ข.9		<p>ฟอร์เซฟสแตนเลน (Forceps)</p>
ข.10		<p>แท่งคนสาร ช้อนตวงสาร</p>
ข.11		<p>บีกเกอร์ตวงสาร ขนาด 250 มม., 600 มม. และ 1,000 มม.</p>
ข.12		<p>เครื่องขัดสารแบบหยาบและ แบบละเอียด</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รูปอุปกรณ์/เครื่องมือ	ชื่อยี่ห้อ (รุ่น)
ข.13		เตาให้ความร้อน (Hot plate)
ข.14		สายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค
ข.15		อุปกรณ์บัดกรีสายไฟ
ข.16		เครื่องปริ้นสามมิติ (3D printer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย 1 แห่งเซลล์

Time (min)	T _H (°C)	T _C (°C)	V (V)	I (A)	R (ohm)	P (mW)
1.66667	26.42163	26.11353	0.07	0.099	0.6	6.93
5.66667	26.44219	25.75033	0.07	0.099	0.6	6.93
9.66667	26.54085	25.55343	0.07	0.099	0.6	6.93
13.66667	26.57348	25.46377	0.07	0.099	0.6	6.93
17.66667	26.57547	25.43683	0.07	0.099	0.6	6.93
21.66667	26.56637	25.4408	0.07	0.099	0.6	6.93
25.66667	26.55647	25.45464	0.07	0.099	0.6	6.93
29.66667	26.55071	25.46624	0.07	0.099	0.6	6.93
33.66667	26.5507	25.47052	0.07	0.099	0.6	6.93
37.66667	26.55555	25.46753	0.07	0.099	0.6	6.93
41.66667	26.56223	25.4606	0.07	0.099	0.6	6.93
45.66667	26.56617	25.45439	0.07	0.099	0.6	6.93
49.66667	26.56289	25.45311	0.07	0.099	0.6	6.93
53.66667	26.55137	25.45853	0.07	0.099	0.6	6.93
57.66667	26.53987	25.46815	0.07	0.099	0.6	6.93
61.66667	26.55485	25.47332	0.07	0.099	0.6	6.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย 2 แห่งเซลล์ต่อแบบอนุกรม

Time (min)	T _H (°C)	T _C (°C)	V (V)	I (A)	R (ohm)	P (W)
1.66667	26.31727	26.19719	0.3	0.372	0.8	0.412
5.66667	26.37332	25.91989	0.3	0.372	0.8	0.412
9.66667	26.40421	25.75292	0.3	0.372	0.8	0.412
13.66667	26.41872	25.60516	0.3	0.372	0.8	0.412
17.66667	26.4235	25.42292	0.3	0.372	0.8	0.412
21.66667	26.42334	25.32154	0.3	0.372	0.8	0.412
25.66667	26.42144	25.32215	0.3	0.372	0.8	0.412
29.66667	26.41968	25.31292	0.3	0.372	0.8	0.412
33.66667	26.41891	25.30451	0.3	0.372	0.8	0.412
37.66667	26.4192	25.30514	0.3	0.372	0.8	0.412
41.66667	26.42016	25.31456	0.3	0.372	0.8	0.412
45.66667	26.42117	25.31644	0.3	0.372	0.8	0.412
49.66667	26.42167	25.32648	0.3	0.372	0.8	0.412
53.66667	26.42144	25.31245	0.3	0.372	0.8	0.412
57.66667	26.42088	25.30365	0.3	0.372	0.8	0.412
61.66667	26.42127	25.30964	0.3	0.372	0.8	0.412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย 2 แห่งเซลล์ต่อแบบขนาน

Time (min)	T _H (°C)	T _C (°C)	V (V)	I (A)	R (ohm)	P (W)
1.66667	21.3898	21.36486	0.1	1.5	0.7	0.14
5.66667	21.17265	19.84279	0.1	1.5	0.7	0.14
9.66667	20.82343	19.51771	0.1	1.5	0.7	0.14
13.66667	20.54386	19.08462	0.1	1.5	0.7	0.14
17.66667	20.41344	18.77394	0.1	1.5	0.7	0.14
21.66667	20.29657	18.76356	0.1	1.5	0.7	0.14
25.66667	20.28542	18.79865	0.1	1.5	0.7	0.14
29.66667	20.28424	18.79327	0.1	1.5	0.7	0.14
33.66667	20.29298	18.72044	0.1	1.5	0.7	0.14
37.66667	20.30422	18.75469	0.1	1.5	0.7	0.14
41.66667	20.30823	18.76535	0.1	1.5	0.7	0.14
45.66667	20.30086	18.74146	0.1	1.5	0.7	0.14
49.66667	20.28885	18.70595	0.1	1.5	0.7	0.14
53.66667	20.28727	18.70423	0.1	1.5	0.7	0.14
57.66667	20.30383	18.75269	0.1	1.5	0.7	0.14
61.66667	20.30468	18.73237	0.1	1.5	0.7	0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย 4 แท่งเซลล์ต่อแบบขนาน

Time (min)	T _H (°C)	T _C (°C)	V (V)	I (A)	R (ohm)	P (W)
3.28947	24.47833	24.46648	0.3	2.1	1.5	0.63
11.18421	24.41575	24.2263	0.3	2.1	1.5	0.63
19.07895	24.37113	23.69021	0.3	2.1	1.5	0.63
26.97368	24.34277	23.24975	0.3	2.1	1.5	0.63
34.86842	24.32493	22.89646	0.3	2.1	1.5	0.63
42.76316	24.3119	22.62188	0.3	2.1	1.5	0.63
50.65789	24.29938	22.41755	0.3	2.1	1.5	0.63
58.55263	24.28441	22.275	0.3	2.1	1.5	0.63
66.44737	24.26499	22.18578	0.3	2.1	1.5	0.63
74.34211	24.23993	22.14143	0.3	2.1	1.5	0.63
82.23684	24.23547	22.13349	0.3	2.1	1.5	0.63
90.13158	24.23654	22.16547	0.3	2.1	1.5	0.63
98.02632	24.23125	22.13216	0.3	2.1	1.5	0.63
105.9211	24.23348	22.16547	0.3	2.1	1.5	0.63
113.8158	24.23158	22.13197	0.3	2.1	1.5	0.63
121.7105	24.23647	22.13496	0.3	2.1	1.5	0.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ผลต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย 4 แท่งเซลล์ในกล่อง 75 cm³ ไม่มีพัดลม

Time (min)	T _H (°C)	T _C (°C)	V (V)	I (A)	R (ohm)	P (W)
1.75877	29.90845	29.20693	0.3	0.82	1.5	0.246
5.97982	29.63199	28.04687	0.3	0.82	1.5	0.246
10.20088	29.68839	27.25677	0.3	0.82	1.5	0.246
14.42193	29.63153	26.74921	0.3	0.82	1.5	0.246
18.64298	29.6158	26.51004	0.3	0.82	1.5	0.246
22.86404	29.59577	26.54305	0.3	0.82	1.5	0.246
27.08509	29.62583	26.4647	0.3	0.82	1.5	0.246
31.30614	29.55987	26.49879	0.3	0.82	1.5	0.246
35.52719	29.59087	26.52119	0.3	0.82	1.5	0.246
39.74825	29.55063	26.52449	0.3	0.82	1.5	0.246
43.9693	29.55938	26.59278	0.3	0.82	1.5	0.246
48.19035	29.57542	26.49627	0.3	0.82	1.5	0.246
52.4114	29.64483	26.43602	0.3	0.82	1.5	0.246
56.63246	29.60105	26.48867	0.3	0.82	1.5	0.246
60.85351	29.6146	26.52107	0.3	0.82	1.5	0.246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ผลต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย 4 แท่งเซลล์ในกล่อง 75 cm³ มีพัดลม

Time (min)	T _H (°C)	T _C (°C)	V (V)	I (A)	R (ohm)	P (W)
1.75877	29.90845	29.20693	0.3	0.82	1.5	0.246
5.97982	29.63199	28.04687	0.3	0.82	1.5	0.246
10.20088	29.68839	27.25677	0.3	0.82	1.5	0.246
14.42193	29.63153	26.74921	0.3	0.82	1.5	0.246
18.64298	29.6158	26.51004	0.3	0.82	1.5	0.246
22.86404	29.59577	26.54305	0.3	0.82	1.5	0.246
27.08509	29.62583	26.4647	0.3	0.82	1.5	0.246
31.30614	29.55987	26.49879	0.3	0.82	1.5	0.246
35.52719	29.59087	26.52119	0.3	0.82	1.5	0.246
39.74825	29.55063	26.52449	0.3	0.82	1.5	0.246
43.9693	29.55938	26.59278	0.3	0.82	1.5	0.246
48.19035	29.57542	26.49627	0.3	0.82	1.5	0.246
52.4114	29.64483	26.43602	0.3	0.82	1.5	0.246
56.63246	29.60105	26.48867	0.3	0.82	1.5	0.246
60.85351	29.6146	26.52107	0.3	0.82	1.5	0.246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ผลต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย 4 แห่งเซลล์ในกล่อง 120 cm³ ไม่มีพัดลม

Time (min)	T _H (°C)	T _C (°C)	V (V)	I (A)	R (ohm)	P (W)
1.75877	28.99912	28.50562	0.3	1.057	1.5	0.137
5.97982	29.09052	27.86571	0.3	1.057	1.5	0.137
10.20088	29.19692	27.37662	0.3	1.057	1.5	0.137
14.42193	29.29188	26.98036	0.3	1.057	1.5	0.137
18.64298	29.43664	26.76896	0.3	1.057	1.5	0.137
22.86404	29.38088	26.73444	0.3	1.057	1.5	0.137
27.08509	29.46202	26.76882	0.3	1.057	1.5	0.137
31.30614	29.39705	26.69994	0.3	1.057	1.5	0.137
35.52719	29.47681	26.70241	0.3	1.057	1.5	0.137
39.74825	29.51141	26.76565	0.3	1.057	1.5	0.137
43.9693	29.48476	26.7359	0.3	1.057	1.5	0.137
48.19035	29.51734	26.79516	0.3	1.057	1.5	0.137
52.4114	29.48961	26.82547	0.3	1.057	1.5	0.137
56.63246	29.52205	26.80885	0.3	1.057	1.5	0.137
60.85351	29.49511	26.86732	0.3	1.057	1.5	0.137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ผลต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย 4 แท่งเซลล์ในกล่อง 120 cm³ มีพัดลม

Time (min)	T _H (°C)	T _C (°C)	V (V)	I (A)	R (ohm)	P (W)
1.75877	29.99197	29.71573	0.3	1.057	1.5	0.137
5.97982	29.65212	28.59446	0.3	1.057	1.5	0.137
10.20088	29.56034	27.32434	0.3	1.057	1.5	0.137
14.42193	29.53379	26.87565	0.3	1.057	1.5	0.137
18.64298	29.55819	26.85137	0.3	1.057	1.5	0.137
22.86404	29.48781	26.7778	0.3	1.057	1.5	0.137
27.08509	29.42543	26.70924	0.3	1.057	1.5	0.137
31.30614	29.47242	26.70708	0.3	1.057	1.5	0.137
35.52719	29.49866	26.73976	0.3	1.057	1.5	0.137
39.74825	29.45259	26.78281	0.3	1.057	1.5	0.137
43.9693	29.51118	26.81881	0.3	1.057	1.5	0.137
48.19035	29.52997	26.83744	0.3	1.057	1.5	0.137
52.4114	29.49301	26.78542	0.3	1.057	1.5	0.137
56.63246	29.54291	26.78656	0.3	1.057	1.5	0.137
60.85351	29.49084	26.79175	0.3	1.057	1.5	0.137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 ผลต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย 4 แห่งเซลล์ในกล่อง 180 cm³ ไม่มีพัดลม

Time (min)	T _H (°C)	T _C (°C)	V (V)	I (A)	R (ohm)	P (W)
1.75877	29.00477	28.87175	0.3	1.302	1.5	0.391
5.97982	29.00408	28.08336	0.3	1.302	1.5	0.391
10.20088	29.04194	27.51009	0.3	1.302	1.5	0.391
14.42193	29.06384	27.13876	0.3	1.302	1.5	0.391
18.64298	29.07237	26.98643	0.3	1.302	1.5	0.391
22.86404	29.11011	26.93176	0.3	1.302	1.5	0.391
27.08509	29.05962	26.9162	0.3	1.302	1.5	0.391
31.30614	29.04349	26.94532	0.3	1.302	1.5	0.391
35.52719	29.02429	26.89008	0.3	1.302	1.5	0.391
39.74825	29.0046	26.9581	0.3	1.302	1.5	0.391
43.9693	28.98699	26.94495	0.3	1.302	1.5	0.391
48.19035	28.99404	26.93542	0.3	1.302	1.5	0.391
52.4114	28.96833	26.90479	0.3	1.302	1.5	0.391
56.63246	29.03243	26.87014	0.3	1.302	1.5	0.391
60.85351	28.98892	26.86161	0.3	1.302	1.5	0.391

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ผลต่างอุณหภูมิกับเวลาของโมดูลที่ประกอบด้วย 4 แท่งเซลล์ในกล่อง 180 cm³ มีพัดลม

Time (min)	T _H (°C)	T _C (°C)	V (V)	I (A)	R (ohm)	P (W)
1.75877	30.55282	30.45282	0.3	1.302	1.5	0.391
5.97982	30.07672	28.81942	0.3	1.302	1.5	0.391
10.20088	29.92454	28.35227	0.3	1.302	1.5	0.391
14.42193	29.86714	27.82698	0.3	1.302	1.5	0.391
18.64298	30.00452	27.75834	0.3	1.302	1.5	0.391
22.86404	29.93669	27.70116	0.3	1.302	1.5	0.391
27.08509	30.06364	27.65109	0.3	1.302	1.5	0.391
31.30614	29.98538	27.64548	0.3	1.302	1.5	0.391
35.52719	30.00191	27.76421	0.3	1.302	1.5	0.391
39.74825	30.01322	27.70055	0.3	1.302	1.5	0.391
43.9693	30.11931	27.76193	0.3	1.302	1.5	0.391
48.19035	30.02019	27.70088	0.3	1.302	1.5	0.391
52.4114	30.01586	27.65578	0.3	1.302	1.5	0.391
56.63246	30.09631	27.79174	0.3	1.302	1.5	0.391
60.85351	29.99154	27.70146	0.3	1.302	1.5	0.391

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 ผลระหว่างอัตราความร้อนที่ไหลเข้าด้านเย็นกับเวลาที่ทดลองในกล่องขนาด 75 120 และ 180 cm³ แบบไม่มีพัดลม

Time (min)	Qc (w)			I (A)			V (V)			P (W)		
	75	120	180	75	120	180	75	120	180	75	120	180
1.92105	4.70E-04	6.11E-04	7.32E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
6.13158	4.21E-04	4.83E-04	5.75E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
10.3421	3.71E-04	3.94E-04	4.50E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
14.5526	3.22E-04	3.32E-04	3.56E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
18.7631	2.76E-04	2.89E-04	3.10E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
22.9736	2.34E-04	2.59E-04	2.75E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
27.1842	1.97E-04	2.15E-04	2.51E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
31.3947	1.66E-04	1.93E-04	2.30E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
35.6052	1.42E-04	1.73E-04	2.11E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
39.8157	1.24E-04	1.51E-04	2.00E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
44.0263	1.11E-04	1.43E-04	1.80E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
48.2368	1.03E-04	1.23E-04	1.75E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
52.4473	9.81E-05	1.16E-04	1.74E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
56.6578	9.36E-05	1.16E-04	1.65E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
60.8684	8.68E-05	1.05E-04	1.60E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 ผลระหว่างอัตราความร้อนที่ไหลเข้าด้านเย็นกับเวลาที่ทดลองในกล่องขนาด 75 120 และ 180 cm³ แบบมีพัดลม

Time (min)	Qc (w)			I (A)			V (V)			P (W)		
	75	120	180	75	120	75	120	180	75	75	120	
1.92105	5.22E-04	5.89E-04	6.52E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
6.13158	3.71E-04	4.48E-04	5.58E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
10.34211	3.25E-04	3.74E-04	4.21E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
14.55263	2.64E-04	3.25E-04	3.45E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
18.76316	2.29E-04	2.90E-04	2.99E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
22.97368	1.77E-04	2.51E-04	2.56E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
27.18421	1.51E-04	2.08E-04	2.12E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
31.39474	1.31E-04	1.70E-04	1.72E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
35.60526	1.06E-04	1.46E-04	1.49E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
39.81579	1.01E-04	1.31E-04	1.33E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
44.02632	9.00E-05	1.16E-04	1.27E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
48.23684	8.60E-05	1.07E-04	1.28E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
52.44737	7.39E-05	1.11E-04	1.21E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
56.65789	7.54E-05	1.20E-04	1.21E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
60.86842	8.38E-05	1.18E-04	1.21E-04	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 ผลระหว่าง COP กับเวลาที่ทดลองในกล่องขนาด 75 120 และ 180 cm³ แบบไม่มีพัดลม

Time (min)	COP (%)			I (A)			V (V)			P (W)		
	75	120	180	75	120	75	120	180	75	75	120	
1.75877	1.80E-01	1.72E-01	1.60E-01	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
5.97982	1.50E-01	1.38E-01	1.21E-01	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
10.2008	1.23E-01	1.11E-01	8.53E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
14.4219	1.02E-01	8.97E-02	6.83E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
18.6429	7.90E-02	7.30E-02	5.63E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
22.8640	6.73E-02	5.85E-02	5.03E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
27.0850	5.70E-02	4.76E-02	4.51E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
31.3061	5.15E-02	4.05E-02	3.85E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
35.5271	4.69E-02	3.56E-02	3.27E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
39.7482	4.07E-02	3.21E-02	3.26E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
43.9693	3.52E-02	3.15E-02	2.70E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
48.1903	3.20E-02	3.10E-02	2.62E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
52.4114	3.18E-02	3.09E-02	2.58E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
56.6324	3.19E-02	3.05E-02	2.48E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
60.8535	3.19E-02	3.03E-02	2.42E-02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 ผลระหว่าง COP กับเวลาที่ทดลองในกล่องขนาด 75 120 และ 180 cm³ แบบไม่มีพัดลม

Time (min)	COP (%)			I (A)			V (V)			P (W)		
	75	120	180	75	120	75	120	180	75	75	120	
1.75877	1.89E -01	1.79E -01	1.72E -01	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
5.97982	1.68E -01	1.53E -01	1.45E -01	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
10.2008 8	1.47E -01	1.31E -01	1.15E -01	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
14.4219 3	1.21E -01	1.12E -01	9.12E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
18.6429 8	1.02E -01	9.07E -02	7.36E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
22.8640 4	8.49E -02	7.74E -02	5.58E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
27.0850 9	7.53E -02	6.55E -02	4.55E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
31.3061 4	6.53E -02	5.28E -02	3.59E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
35.5271 9	5.09E -02	4.21E -02	3.08E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
39.7482 5	4.02E -02	3.57E -02	3.04E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
43.9693	3.52E -02	3.30E -02	2.75E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
48.1903 5	3.38E -02	3.12E -02	2.66E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
52.4114	3.36E -02	3.19E -02	2.62E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
56.6324 6	3.47E -02	3.17E -02	2.68E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391
60.8535 1	3.39E -02	3.15E -02	2.64E -02	0.82	1.057	1.302	0.3	0.3	0.3	0.246	0.317	0.391

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 ผลระหว่างอัตราความร้อนที่ไหลเข้าด้านเย็นกับเวลาที่ทดลองติดตั้งโมดูลในหมวกกันน็อก

Time (min)	Qc (w)			I (A)			V (V)			P (w)		
	1 โมดูล	2 โมดูล	3 โมดูล	1 โมดูล	2 โมดูล	3 โมดูล	1 โมดูล	2 โมดูล	3 โมดูล	1 โมดูล	2 โมดูล	3 โมดูล
2.14474	2.79E-03	2.50E-03	2.50E-03	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
6.89211	1.77E-03	1.89E-03	1.99E-03	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
11.6394	1.49E-03	1.60E-03	1.70E-03	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
16.3868	1.27E-03	1.46E-03	1.56E-03	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
21.1342	1.04E-03	1.30E-03	1.43E-03	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
25.8815	8.27E-04	1.14E-03	1.26E-03	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
30.6289	6.44E-04	9.80E-04	1.09E-03	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
35.3763	5.00E-04	8.36E-04	1.00E-03	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
40.1236	4.01E-04	7.13E-04	9.00E-04	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
44.8710	3.46E-04	6.14E-04	8.00E-04	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
49.6184	3.27E-04	5.41E-04	7.00E-04	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
54.3657	3.33E-04	4.91E-04	6.50E-04	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
59.1131	3.46E-04	4.59E-04	6.20E-04	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
63.8605	3.42E-04	4.38E-04	6.30E-04	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.16 ผลระหว่าง COP กับเวลาที่ทดลองติดตั้งโมดูลในหมวกกันน็อก

Time (min)	COP (%)			I (A)			V (V)			P (w)		
	1 โมดูล	2 โมดูล	3 โมดูล	1 โมดูล	2 โมดูล	3 โมดูล	1 โมดูล	2 โมดูล	3 โมดูล	1 โมดูล	2 โมดูล	3 โมดูล
2.14474	1.54E-01	1.60E-01	1.70E-01	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
6.89211	1.44E-01	1.50E-01	1.60E-01	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
11.6394	1.28E-01	1.38E-01	1.50E-01	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
16.3868	1.09E-01	1.26E-01	1.39E-01	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
21.1342	8.97E-02	1.12E-01	1.21E-01	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
25.8815	7.13E-02	9.61E-02	1.06E-01	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
30.6289	5.55E-02	8.00E-02	9.25E-02	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
35.3763	4.31E-02	6.20E-02	7.50E-02	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
40.1236	3.46E-02	4.84E-02	6.15E-02	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
44.8710	2.78E-02	4.22E-02	5.20E-02	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
49.6184	2.52E-02	4.01E-02	4.74E-02	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
54.3657	2.57E-02	4.03E-02	4.78E-02	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
59.1131	2.58E-02	4.05E-02	4.79E-02	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17
63.8605	2.54E-02	4.07E-02	4.79E-02	1.3	2.6	3.9	0.3	0.3	0.3	0.39	0.78	1.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานทางวิชาการ

ง1. การประชุมวิชาการ

1. **S. Khammahong**, C. Phrompet, C. Sriwong and C. Ruttanapun. **Development of Thermoelectric Cooling Module from N-Type Ingot Bi_2Te_3 Without Cooling Fan.** The 21st International Union of Materials Research Societies – International Conference in Asia (IUMRS-ICA2020), 23-26 February 2021. The Empress Convention Center, Chiang Mai, Thailand (Poster presentations).
2. **S. Khammahong**, C. Phrompet, C. Sriwong and C. Ruttanapun. **Mechanical and thermal properties of polylactic acid /graphene oxide (PLA/GO) composite.** The 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology 1-3 April 2021, Pattaya, THAILAND (Poster presentations).

ง2. วารสารทางวิชาการ

1. **S. Khammahong**, C. Phrompet, C. Sriwong and C. Ruttanapun. **Mechanical and thermal properties of polylactic acid /graphene oxide (PLA/GO) composite.** Publishing in Official peer-reviewed ICEAST2021 proceeding. 2021, pp 102-110.

ง1. การประชุมวิชาการ

1. S. Khammahong, C. Phrompet, C. Sriwong and C. Ruttanapun. Development of Thermoelectric Cooling Module from N-Type Ingot Bi_2Te_3 Without Cooling Fan. The 21st International Union of Materials Research Societies – International Conference in Asia (IUMRS-ICA2020), 23-26 February 2021. The Empress Convention Center, Chiang Mai, Thailand (Poster presentations).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6/6/2021

<https://iumrs-ica2020.com/accept-letter.php>

February 23rd – 26th, 2021, at Convention Center, the Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand
<http://www.iumrs-ica2020.com>

Acceptance and Invitation Letter

7 January 2021

Dear Miss Sunisar Khammahong

On behalf of the Thailand Materials Research Society (MRS-Thailand), in partnership with the International Union of Materials Research Societies (IUMRS), I am pleased to inform you that your abstract has been accepted for the presentation at the 21st International Union of Materials Research Societies - International Conference in Asia (IUMRS-ICA2020) to be held during February 23rd – 26th, 2021 at Convention Center, the Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand. We take this opportunity to invite you to give the presentation of your research, as detailed below:

Paper title: **Development of Thermoelectric Cooling Module from N-Type Ingot Bi₂Tc₃ Without Cooling Fan**
 Type of presentation: **Poster**
 Paper ID: **A3_P6**
 Symposium : **A3. Thermoelectric Materials and Devices**

Please kindly be reminded that full paper must be submitted online via IUMRS-ICA2020 Conference Website by login to your account. Submission Dates and Deadline are February 27th – March 6th, 2021.

If you have further inquiries, please contact us at email: iumrs_ica2020@gmail.com

We are looking forward to meeting you in Chiang Mai, Thailand, as well as those who participate online.

Sincerely yours,

(Prof. Dr. Santi Maensiri)
 President, Materials Research Society of Thailand
 & Chairman for IUMRS-ICA2020 Organizing Committee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of Thermoelectric Cooling Module from N-Type Ingot Bi₂Te₃ Without Cooling Fan

Sunisar Khammahong^{a,b,c,e}, Chaiwat Phrompet^{a,b,c,e}, Chaval Sriwong^{a,b,d,e},
Chesta Ruttanapun^{a,b,c,e,*}

^a Center of Excellence in Smart Materials Research and Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

^b Smart Material Research and Innovation Unit, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

^c Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

^d Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

^e Thailand Center of Excellence in Physics, Commission on Higher Education, Science, Research and Innovation, 328 Si Ayutthaya Road, Bangkok 10400, Thailand

*E-mail: chesta.ruttanapun@gmail.com

Abstract

The objectives of this study were to examine the condition of the n-type ingot Bi₂Te₃ ingot that provide optimum temperature for thermoelectric cooling module directly from the n-type Bi₂Te₃ rods without a cooling fan. When considering thermoelectric materials electrical energy can be immediately modified according to the temperature differences to the opposite side of the materials. It can be applied as a device to create temperature differences by using the low temperature of the thermoelectric device as suggested by the Peltier effect. The conditions were determined by using the area of 0.3x0.3, 0.5x0.5 and 0.7x0.7 cm at a height of 0.5, 1.0 and 1.5 cm. These findings indicate that a single thermoelectric rods area of the n-type Bi₂Te₃ rod with the temperature difference optimum is 0.5x0.5 cm and at the height 1 cm. The applied electrical current is 0.099A and the voltage is 0.07V, causing the temperature different is 0.7 °C for thermoelectric cooling module. From the conditions to develop into a cooling plate without a cooling fan which 1 module includes 4 thermoelectric cells, the temperature difference in the cold area is 2.1°C with the applied electric power of 1.4 watts. It can be developed as a prototype of thermoelectric cooling module from n-type ingot Bi₂Te₃ without cooling fan.

Keywords: Bi₂Te₃; Cooling; Graphene oxide; Thermoelectric

2. S. Khammahong, C. Phrompet, C. Sriwong and C. Ruttanapun. Mechanical and thermal properties of polylactic acid /graphene oxide (PLA/GO) composite. The 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology 1-3 April 2021, Pattaya, THAILAND (Poster presentations).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical and thermal properties of polylactic acid /graphene oxide (PLA/GO) composite

Sunisar Khammahong^{1,2,3,5}, Chaiwat Phrompet^{1,2,3,5}, Chaval Sriwong^{1,2,4,5},
Chesta Ruttanapun^{1,2,3,5,*}

¹ Center of Excellence in Smart Materials Research and Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsong Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

² Smart Material Research and Innovation Unit, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsong Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

³ Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsong Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

⁴ Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsong Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

⁵ Thailand Center of Excellence in Physics, Commission on Higher Education, Science, Research and Innovation, 328 Si Ayutthaya Road, Bangkok 10400, Thailand

*E-mail: chesta.ruttanapun@gmail.com

Abstract

In this work, the mechanical and thermal properties of polylactic acid (PLA)/graphene oxide (GO) composites (as PLA/GO) were investigated. PLA/GO composites were fabricated via a conventional direct mixing process of PLA powder in ethanol and GO suspension. The experimental conditions of PLA/GO composites were 0.01, 0.05, 0.1, and 0.5 wt % of GO contents. Physicochemical properties were characterized by XRD, SEM, FT-IR, TGA and Raman techniques. Particularly, the mechanical property of PLA/GO composites was also evaluated through tensile and micro hardness test. The result showed that the PLA loaded with GO 0.05 wt% (PLA/GO 0.05 wt%) was highest both tensile strength and micro hardness properties. This may be due to the appropriate adding of GO content, enhancing the tensile strength and heat resistance of PLA/GO composite. Therefore, the GO content can be improved both the mechanical and thermal properties of PLA/GO composite, implying that it suitable for applying in various applications.

Keywords: Graphene oxide (GO), Polylactic acid (PLA), Thermal stability, Mechanical property

ง2. วารสารทางวิชาการ

1. S. Khammahong, C. Phrompet, C. Sriwong and C. Ruttanapun. Mechanical and thermal properties of polylactic acid /graphene oxide (PLA/GO) composite. Publishing in Official peer-reviewed ICEAST2021 proceeding. 2021, pp 102-110.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ic east 2021

The 7th International Conference
on Engineering, Applied Sciences
and Technology
April 1-3, 2021

PROCEEDINGS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
โดยไม่ก ณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Mechanical and thermal properties of polylactic acid /graphene oxide (PLA/GO) composite

Sunisar Khammahong^{1,2,3,5}, Chaiwat Phrompet^{1,2,3,5}, Chaval Sriwong^{1,2,4,5},
Chesta Ruttanapun^{1,2,3,5,*}

¹ Center of Excellence in Smart Materials Research and Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsong Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

² Smart Material Research and Innovation Unit, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsong Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

³ Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsong Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

⁴ Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsong Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

⁵ Thailand Center of Excellence in Physics, Commission on Higher Education, Science, Research and Innovation, 328 Si Ayutthaya Road, Bangkok 10400, Thailand

*corresponding author, E-mail: chesta.ruttanapun@gmail.com

Abstract

In this work, the mechanical and thermal properties of polylactic acid (PLA)/graphene oxide (GO) composites (as PLA/GO) were investigated. PLA/GO composites were fabricated via a conventional direct mixing process of PLA powder in ethanol and GO suspension. The experimental conditions of PLA/GO composites were 0.01, 0.05, 0.1, and 0.5 wt.% of GO contents. Physicochemical properties were characterized by XRD, SEM, FT-IR, TGA and Raman techniques. Particularly, the mechanical property of PLA/GO composites was also evaluated through tensile and micro hardness test. The result showed that the PLA loaded with GO 0.05 wt.% (PLA/GO 0.05 wt.%) was highest both tensile strength and micro hardness properties. This may be due to the appropriate adding of GO content, enhancing the tensile strength and heat resistance of PLA/GO composite. Therefore, the GO content can be improved both the mechanical and thermal properties of PLA/GO composite, implying that it suitable for applying in various applications.

Keywords: Graphene oxide (GO), Polylactic acid (PLA), Thermal stability, Mechanical property

1. INTRODUCTION

Due to the widespread using of polymers especially plastics, the mechanical and chemical properties of plastic products have been developed to meet more needs. The improvements include the synthesis process and the addition of additives. Even many plastics were mixed together obtain a variety of properties. Also, it was used for applications of thermoelectric [1] biomedical [2]-[3] antibacterial action [4], The mixed plastics should develop for biodegradable plastics. Polylactic acid (PLA) is considered because of

เอ็กสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

biodegradable plastics. In addition, the PLA was developed by adding Graphene, Graphene Oxide mixed for using in 3D Printing [5]-[7]. It also has improved mechanical properties and thermal stability [8]- [11]. Graphene oxide (GO) materials contained high mechanical properties, high breaking strength, young's modulus and intrinsic strength. Moreover, it has a lightweight material and high flexibility [12]-[15]. Also, GO materials are suitable for development of PLA composite materials for high strength PLA polymers. It is expected that the PLA polymer composites with GO will have suitable properties for a various of applications.

Herein, the mechanical and thermal properties of PLA/GO composite were investigated. The experimental conditions of GO contents were 0.01, 0.05, 0.1, and 0.5 wt.%, respectively. The physicochemical properties of PLA/GO samples were characterized by XRD, SEM, FT-IR, TGA and Raman techniques. The mechanical properties of the composites were also studied by tensile and micro hardness tests.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

The polymer powder used in this study was polylactic acid (PLA). Graphite powder (99% purity), sulfuric acid (H_2SO_4 , 98%), potassium permanganate ($KMnO_4$), sodium nitrate ($NaNO_3$) and hydrochloric acid (HCl , 37%) was purchased from Sigma-Aldrich (USA). Hydrogen peroxide (H_2O_2 , 30%) and ethanol (99.9%) were obtained from Merck (Germany). All chemicals were used as received without further purification.

2.2 Preparation of graphene oxide (GO)

Graphite oxide was firstly synthesized through a modified Hummers method by oxidizing of graphite with a strong acid and oxidizing agent [16]-[18]. The synthesized graphite oxide powder (4 g) was redispersed in distilled water (500 mL) under ultrasonication for 120 min, followed by centrifugation. Finally, a stable GO suspension was obtained.

2.3 Preparation of PLA/GO composite

The procedure for the preparation of polylactic acid/graphene oxide (PLA/GO) composites as shown in the flow chart diagram in Figure (1). In this work, PLA/GO composites were prepared by a conventional direct mixing process of PLA powder with ethyl alcohol and GO suspension for 30 min. The conditions of this study were PLA, PLA/GO 0.01 wt.%, PLA/GO 0.05 wt.%, PLA/GO 0.1 wt.%, and PLA/GO 0.5 wt.% of GO contents. PLA powder/GO composite were then dried in oven at 100 °C for 24 h. After that, all prepared samples were extruded into sheet forms by a hot press process to made a sheet size of 12 cm x 12 cm x 0.2 cm. Moreover, the dog bones of PLA/GO samples were compressed in mold to measure the tensile. While, all samples was cut in rectangular shape of 1 cm x 1 cm x 0.2 cm to be measured the micro-hardness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

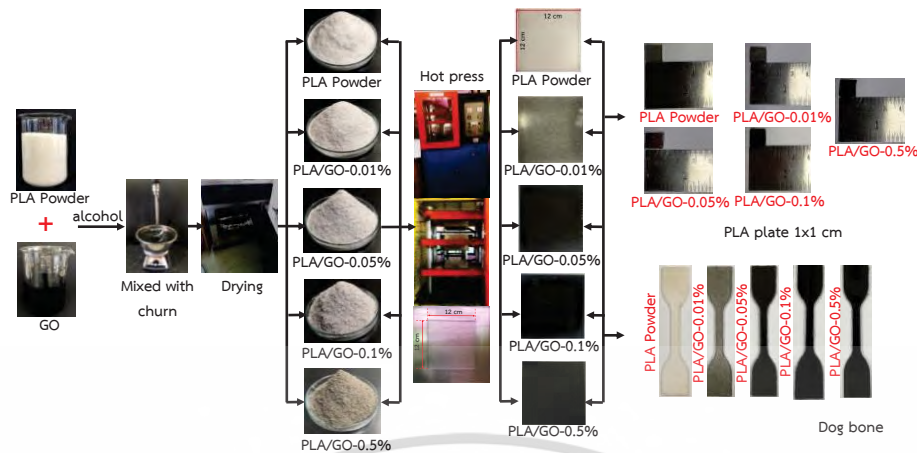


Fig.1. Photograph showing all the overview procedures for preparation of PLA/GO composites samples.

2.4. Characterization

The X-Ray Diffraction (XRD) phase was analyzed using a powder XRD in a PHILIPS X'Pert's model (X-ray source λ Cu K-alpha = 1.5406 Å). The morphology of the pristine PLA and PLA/GO composite samples was observed by scanning electron microscopy (SEM). Raman spectroscopy was performed using a DXR Smart (Thermo Scientific) equipped with a 532 nm excitation. The vibration mode of the atomic bonding was evaluated using FTIR, (Bruker, Senterra). The thermal stability was determined by TGA (Perkin Elmer, Pyris 1 model).

2.5. Mechanical properties

The tensile test were carried out using a universal testing machine (NO. 015805, Model LRK 10 kN, NTS Technology Co., Ltd., China) according to standard ASTM D638 at ambient temperature. The crosshead speed was set to 10 mm/min. The specified force to terminate for 5000 N. The samples were tested for 5 times for the precision. The dog-bone type specimens shown in Fig (2(a)) had a gauge length of 40 mm and a width of 6 mm.

The analysis of micro-hardness was carried out by Vickers Hardness Tester (Shimadzu, HMV-2T model, Japan). The samples size specimens shown in Fig (2(b)) had a length of 10 mm, width of 10 mm and thickness of 2 mm. Force 1.961 N for pressing time of 5 second and each test was repeated five times and averages were used to confirm the results.

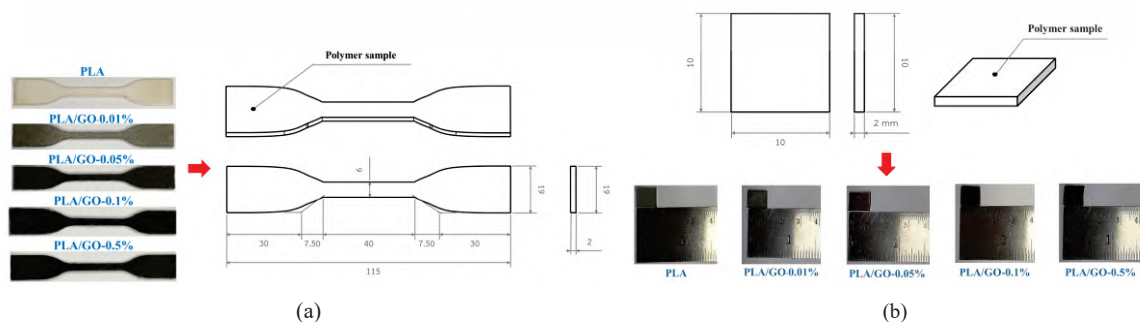


Fig. 2. Fabrications of specimens to be mechanical properties tested (a) The dog-bone type for tensile test (b) samples size for micro-hardness test.
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6. Thermal properties

The thermal properties of the samples were investigated using a True IR thermal imager (Keysight Technologies U5856A, Range: -20-650 °C , Humidity: 20-80% RH). The thermal measured the heat dissipation of PLA and PLA/GO polymer composite samples. In the experiment, the samples were heated at 65 °C for 30 min. A k-type thermocouple is employed to measure the temperature and connected to digital multimeter (U1241C/U1242C 4-Digital Handheld, Malaysia, Keysight Technologies). Temperature measurement position at of the hot plate (T_H) and on top of the pristine PLA and all PLA/ GO composite samples (T_C). All equipment are set up and connected with a computer, as shown in Fig (3).

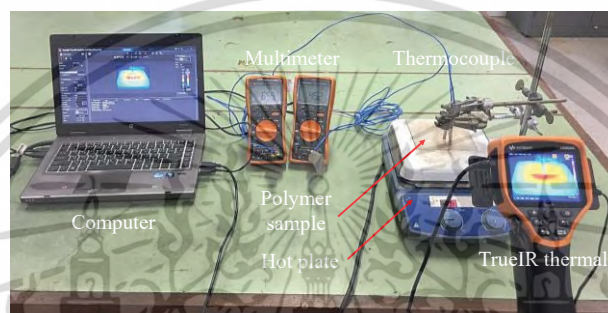


Fig. 3. Equipment set up for thermal properties measurement.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Characterization of PLA /GO composites

3.1.1. XRD patterns of PLA/GO composites

Fig (4) shows XRD patterns of the prepared pristine PLA powder and all PLA/ GO composite powders samples. Besides these it can be noted from pattern of PLA that the two characteristic peaks located at $2\theta = 16.70^\circ$ and 19.12° are corresponding to the (200)/(110) and (203) reflections of PLA [8]-[9]. The above deflection characteristics are matched from the JCPDS card no. 49-2174 standard. In addition, however, the characteristic peaked at $2\theta = 10.8^\circ$ of GO [16], were not observed in all the x% GO/PLA composite samples because of an amorphous phase and a low content of the GO composite in the PLA specimen.

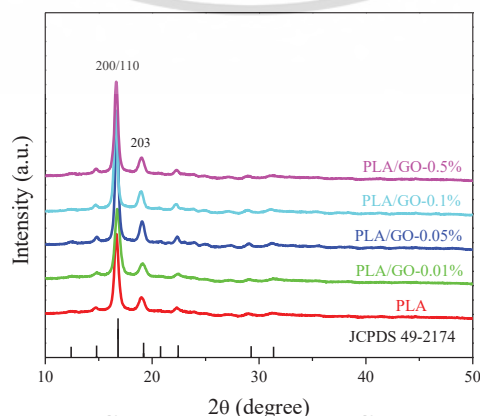


Fig. 4. XRD patterns of pristine PLA and PLA/GO (0.01, 0.05, 0.1 and 0.5 wt.%) composites.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2. FT-IR spectra analysis

Fig (5(a)) illustrates the FT-IR spectra of as synthesized GO, PLA and PLA/GO samples. From this figure, the vibration peaks of the oxygen functional groups, such as hydroxyl (-O-H), carbonyl/carboxyl (-C=O), and epoxy groups (-C-O-C) exhibited for the GO sample, which appeared at approximately 3,500-2,500 cm^{-1} , 1740 cm^{-1} , and 1050 cm^{-1} , respectively [18]. The FT-IR spectra of all GO/PLA samples showed reflection dips close to the energy of the functional group -C=O- of GO at 1740 cm^{-1} as indicated in the inset. The weak reflection dips was also seen at the energy position of functional group -C-O-C- of GO at 1050 cm^{-1} all samples. The reflectance had decreases along with the increasing amount of GO as expected.

3.1.3. Raman spectra analysis

Fig (5(b)) shows the Raman spectra of these samples in the spectral range from 800 cm^{-1} to 2,800 cm^{-1} . The Raman peaks of the samples can be observed that the two main peaks at around 1,353 cm^{-1} (D-band), and 1,592 cm^{-1} (G-band) of the GO. Therefore, the above results that the complete position of these peaks in the spectrum confirms the existence of the PLA and GO structure of the PLA/GO composites.

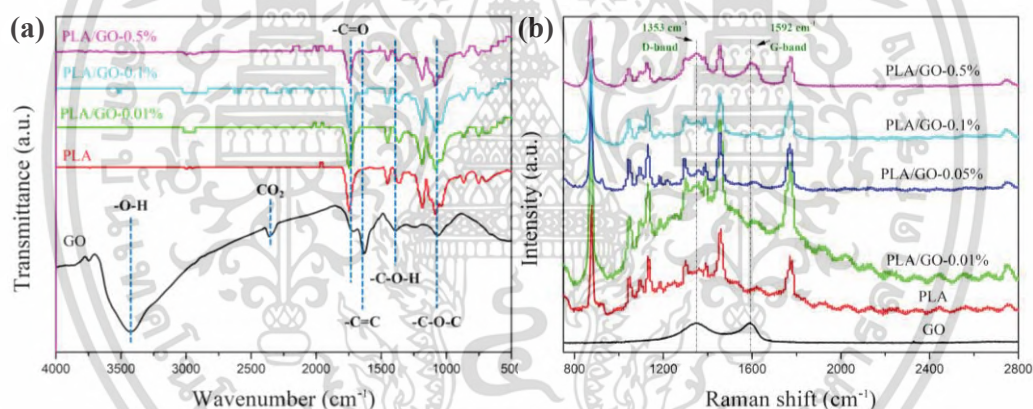


Fig. 5. (a) FT-IR spectra and (b) Raman the spectra of pristine GO, PLA and PLA/GO (0.01, 0.1 and 0.5 wt.%) composites.

3.1.4. SEM analysis

Fig (6(a-e)) show SEM image of pristine PLA and all PLA/GO composite powders. As seen in Figure (6(a)), the pure PLA powder sample has a lump with a micrometer grain size. Furthermore, the all PLA/GO composite powers that the similar particles corresponding to the pristine PLA sample. The results confirmed that the GO sheets can incorporated with pristine PLA powder and increase GO sheet particles on the PLA surface with the increasing of GO content loading, as shown in the high magnification views of Fig (6(b-e)).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

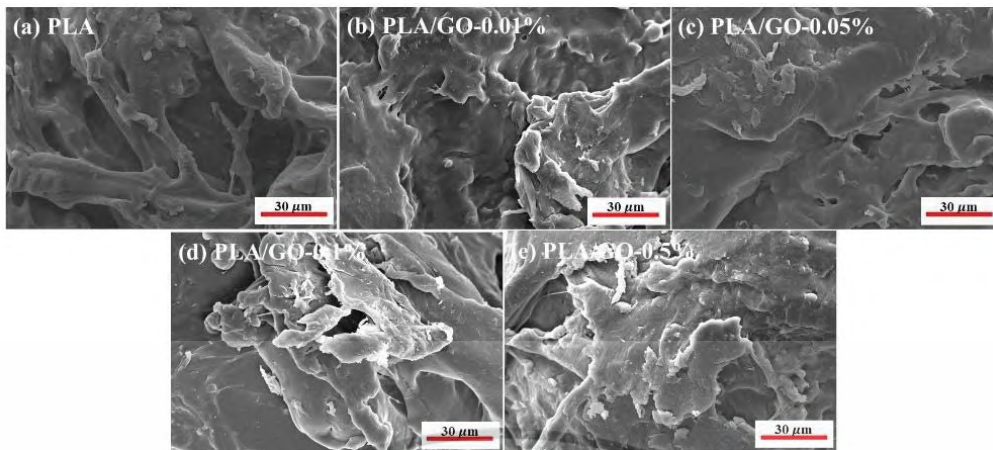


Fig. 6. (a-e) SEM image with a high magnification view (10,000x) of the pristine PLA powders and all PLA/GO composite powders samples.

3.1.5. TGA analysis

TGA has been widely used to study the thermal stability and decomposition of PLA and PLA based materials [20]. Fig (7) shows the TGA diagrams analysis which was done to study the behavior and weight loss of the pristine PLA and all PLA/GO composite samples. The first phase of the weight loss of all samples at the temperature of 220 °C slightly decreased. The second phase of weight loss at the temperature ranging from 220 to 260 °C was assigned to the mass loss of the decomposition. It was found that the PLA/GO composite samples compared with pristine PLA polymers had increased heat resistance. Therefore, the addition GO can be higher the decomposition temperature or thermal stability. This result can be implied the thermal stabilization of the PLA/GO composites structure.

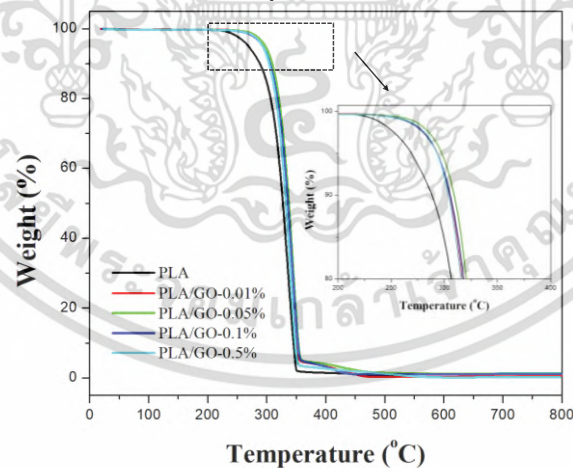


Fig. 7. TGA curves for pristine PLA and PLA/GO (0.01, 0.05, 0.1 and 0.5%) composites.

3.2. Mechanical properties

3.2.1 Microhardness

Microhardness measurements of pristine PLA and the 0.01 wt.%, 0.05 wt.%, 0.1 wt.% and 0.5 wt.% PLA/GO composite samples. As seen at Figure (8(a)), the addition GO to PLA

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

did not change its hardness significantly. The microhardness result of the 0.01 wt.%, 0.05 wt.% 0.1 wt.% PLA/GO composite samples has increased microhardness values when compared with pristine PLA sample. It is possible that with an increased not suitable proportion of GO contents, reducing the micro-hardness values.

3.2.2 Tensile

The representative tensile and elongation at break curve for pure PLA and all PLA/GO composite samples are shown in Fig (8(b)). The result showed that pure PLA had a tensile force of 542.5 N and elongation at break of 2.767%. Whereas, PLA/GO composites, especially PLA/GO-0.05% had the highest an elongation at break of 3.288% and tensile force of 532.9 N. Thus, the PLA / GO-0.05% will have more flexibility compared to pure PLA. This concluded that, the addition of the suitable amount of GO can improve the mechanical properties of the PLA.

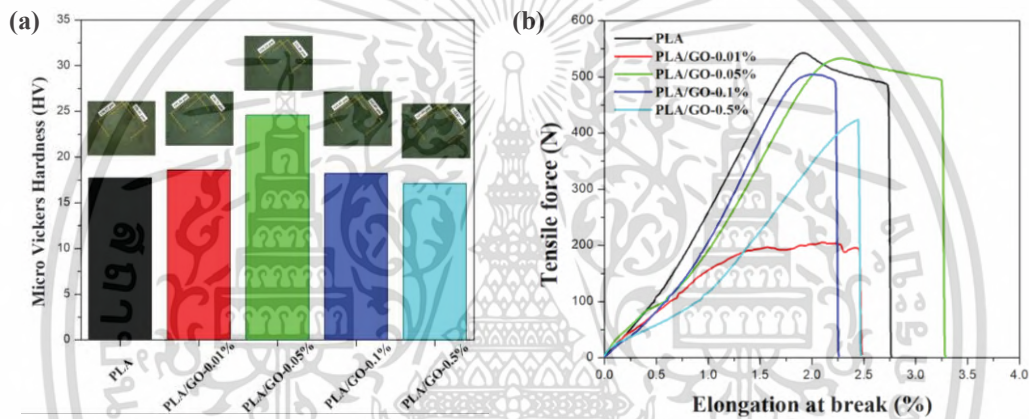


Fig. 8. (a) Vickers microhardness (b) Tensile force-elongation curves of pristine PLA, PLA/GO-0.01%, PLA/GO-0.05%, PLA/GO-0.1% and PLA/GO-0.5%, respectively

3.3. Thermal properties

Fig (9(a-e)) show thermal properties of pristine PLA and the PLA/GO-0.01 wt.%, PLA/GO-0.05 wt.%, PLA/GO-0.1 wt.% and PLA/GO-0.5 wt.% composite samples. The results showed that the resist heat dissipation were increased. The average of the temperature different between T_H and T_C in the 15-30 min period were 8.4 °C, 8.4 °C, 13.0 °C, 14.7 °C and 15.3 °C, respectively. This result implied that the addition GO of PLA can enhanced its resistance to heat dissipation significantly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

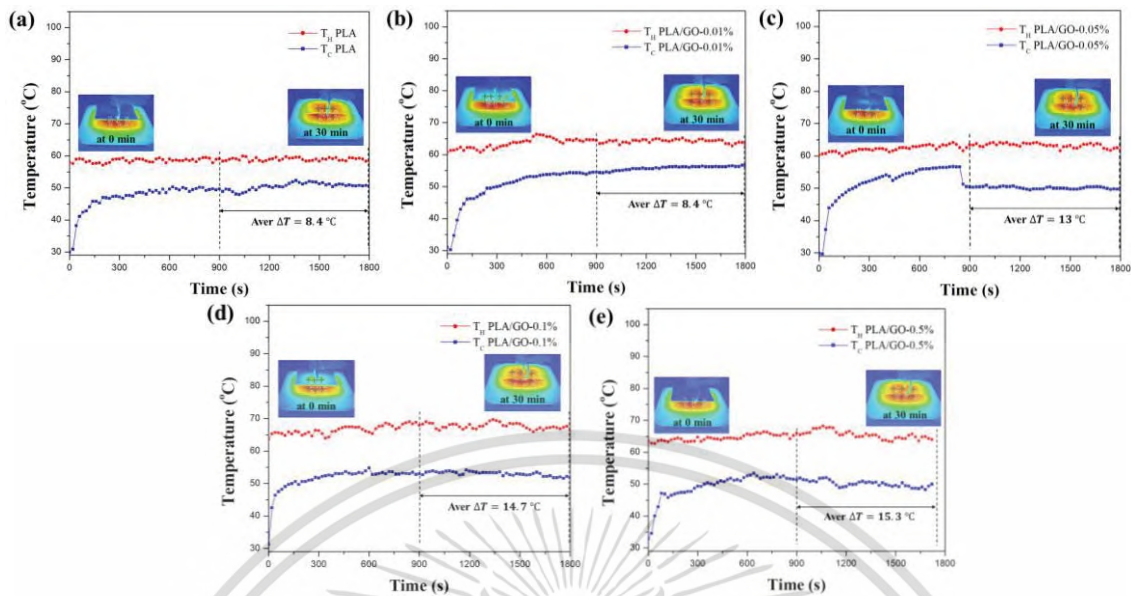


Fig. 9. (a-e) Temperature different curve and the dissipation image using a IR thermal imager of pristine PLA, PLA/GO-0.01%, PLA/GO-0.05%, PLA/GO-0.1% and PLA/GO-0.5%, respectively

3. CONCLUSIONS

In summary, the PLA/GO composites were successfully prepared via a conventional mixing process. XRD result of PLA/GO composites confirmed by the peaks are corresponding to the pristine PLA standard. The existed of GO in PLA/GO composite were verified by Raman, FT-IR and TGA spectra. However, the PLA/GO composites had a different morphological structure as comparing to pristine PLA. The results were due to the increasing of GO sheet particles on the PLA surface. The mechanical properties of PLA/GO-0.05 wt.% composite showed the highest Vickers micro-hardness and tensile strength. The thermal properties of the all PLA/GO composites exhibited a greater resistance than that of pristine PLA polymer.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL).

REFERENCES

- [1] Viskadourakis, Z.; Perrakis, G.; Symeou, E.; Giapintzakis, J.; and Kenanakis, G. 2019. Transport properties of 3D printed polymer nanocomposites for potential thermoelectric applications. *Applied Physics A*. 125 (3); 159.
- [2] Hasheminejad, K.; and Montazeri, A. 2019. Enhanced interfacial characteristics in PLA/graphene composites through numerically-designed interface treatment. *Applied Surface Science*. 502; 144150.
- [3] Bayer, I. 2017. Thermomechanical properties of polylactic acid-graphene composites: A state-of-the-art review for biomedical applications. *Materials*. 10(7); 748.
- [4] Arriagada, P.; Palza, H.; Palma, P.; Flores, M.; and Caviedes, P. 2017. Poly (lactic acid) composites based on graphene oxide particles with antibacterial behavior enhanced by

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- electrical stimulus and biocompatibility. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 106(4); 1051-1060.
- [5] Kim, M.; Jeong, J.H.; Lee, J.Y.; Capasso, A.; Bonaccorso, F.; Kang, S.H.; Lee, Y.K.; and Lee, G.H. 2019. Electrically conducting and mechanically strong graphene-poly(lactic acid) composites for 3D printing. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 11(12); 11841-11848.
- [6] Ivanov, E.; Kotsilkova, R.; Xia, H.; Chen, Y.; Donato, R.K.; Donato, K.; Godoy, A.P.; Maio, R.D.; Silvestre, C.; Cimmino, S.; and Angelov, V. 2019. PLA/Graphene/MWCNT composites with improved electrical and thermal properties suitable for FDM 3D printing applications. *Appl. Sci*. 9; 1209.
- [7] Aumnate, C.; Pongwisuthiruchte, A.; Pattananuwat, P.; and Potiyaraj, P. 2018. Fabrication of ABS/Graphene oxide composite filament for fused filament fabrication (FFF) 3D printing. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018; 1-9.
- [8] Gong, M.; Zhao, Q.; Dai, L.; Li, Y.; and Jiang, T. 2017. Fabrication of poly(lactic acid)/hydroxyapatite/graphene oxide composite and their thermal stability, hydrophobic and mechanical properties. *Journal of Asian Ceramic Societies*. 5(2); 160-168.
- [9] Manafi, P.; Ghasemi, I.; Karrabi, M.; Azizi, H.; Manafi, M.R.; and Ehsaninamin, P. 2015. Thermal stability and thermal degradation kinetics (model-free kinetics) of nanocomposites based on poly(lactic acid)/graphene: the influence of functionalization. *Polymer Bulletin*. 72(5); 1095-1112.
- [10] García E., Núñez P.J., Chacón J.M., Caminero M.A. and Kamarthi S. (2020). Comparative study of geometric properties of unreinforced PLA and PLA-Graphene composite materials applied to additive manufacturing using FFF technology. *Polymer Testing*. 91; 106860.
- [11] Mindivan F. 2015. The synthesis thermal and structural characterization of poly(vinylchloride)/graphene oxide (PVC/GO) composites. *Material science*. 1(3); 33-36.
- [12] Lee, C.; Wei, X.; Kysar, J.W.; and Hone, J. 2008. Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *Science*. 321(5887); 385-8.
- [13] Liu, F.; Ming, P.; Li J. 2007. Ab initio calculation of ideal strength and phonon instability of graphene under tension. *Physical Review B*. 76(6); 064120.
- [14] Cooper, D.R.; D'Anjou, B.; Ghattamaneni, N.; Harack, B.; Hilke, M.; Horth, A.; Majlis, N.; Massicotte, M.; Vandsburger, L.; Whiteway, E.; and Yu, V. 2011. Experimental review of graphene. *ISRN Condensed Matter Physics*. 2012; 56.
- [15] Park, S.; and Ruoff, R.S. 2009. Chemical methods for the production of graphenes. *Nature Nanotechnology*. 4(4); 217-224.
- [16] Phrompet, C.; Sriwong, C.; and Ruttanapun, C. 2019. Mechanical, dielectric, thermal and antibacterial properties of reduced graphene oxide (rGO) - nanosized C₃AH₆ cement nanocomposites for smart cement-based materials. *Composites Part B: Engineering*. 175; 107128.
- [17] Phrompet, C.; Maneesai, K.; Tuichai, W.; Karaphun, A.; Sriwong, C.; and Ruttanapun, C. 2020. Electrochemical properties of tricalcium aluminate hexahydrate-reduced graphene oxide nanocomposites for supercapacitor device. *Journal of Energy Storage*. 30; 101-474.
- [18] Sriwong, C.; Phrompet, C.; Tuichai, W.; Karaphun, A.; Kurosaki, K.; and Ruttanapun, C. 2020. Synthesis, microstructure, multifunctional properties of mayenite Ca₁₂Al₁₄O₃₃ (C₁₂A₇) cement and graphene oxide (GO) composites. *Scientific Reports*. 10(1); 11077.
- [19] Wu, C.S.; and Liao, H.T. 2007. Study on the preparation and characterization of biodegradable poly(lactide)/multi-walled carbon nanotubes nanocomposites. *Polymer*. 48(15); 4449-4458.
- [20] Liu, X.; Wang, T.; Chow, L.C.; Yang, M.; and Mitchell, J.W. 2014. Effects of inorganic fillers on the thermal and mechanical properties of poly(lactic acid). *International Journal of Polymer Science*. 2014; 1-8.

สงวนลิขสิทธิ์ © 2021 โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวสุนิศา คำมะโฮง
วัน/เดือน/ปีเกิด	3 กุมภาพันธ์ 2540
ที่อยู่ตามทะเบียนบ้าน	29 หมู่ 12 ตำบลบัวใหญ่ อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น 40140
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2546 – 2552 ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านคำม่วงมดงเย็น พ.ศ. 2552 – 2558 ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนน้ำพองศึกษา พ.ศ. 2558 – 2562 ระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2563 – 2564 กำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	1. S. Khammahong , C. Phrompet, C. Sriwong and C. Ruttanapun. Development of Thermoelectric Cooling Module from N-Type Ingot Bi ₂ Te ₃ Without Cooling Fan. The 21st International Union of Materials Research Societies – International Conference in Asia (IUMRS-ICA2020), 23-26 February 2021. The Empress Convention Center, Chiang Mai, Thailand (Poster presentations). 2. S. Khammahong , C. Phrompet, C. Sriwong and C. Ruttanapun. Mechanical and thermal properties of polylactic acid /graphene oxide (PLA/GO) composite. The 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology 1-3 April 2021, Pattaya, THAILAND (Poster presentations).
ผลงานตีพิมพ์	1. S. Khammahong , C. Phrompet, C. Sriwong and C. Ruttanapun. Mechanical and thermal properties of polylactic acid /graphene oxide (PLA/GO) composite.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Publishing in Official peer-reviewed ICEAST2021 proceeding.
2021, pp 102-110.

ผลงานที่ได้รับรางวัล

1. ได้รับรางวัลผลงานสิ่งประดิษฐ์ระดับอุดมศึกษาในงาน

Thailand New Gen Inventors Awards 2019

รางวัลเหรียญเงิน กลุ่มสิ่งแวดล้อมและพลังงานทางเลือก ชื่อผลงาน:

ต้นแบบคอนกรีตทนความร้อนผลิตไฟฟ้าได้โดยตรงจากความร้อน

(Prototype of thermal resistance concrete brick electric generator directly from heat)

2. . รางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น ประจำปีงบประมาณ 2563

รางวัลระดับดี ชื่อผลงาน : ต้นแบบเครื่องพิมพ์ 3 มิติเชิงอุตสาหกรรม สำหรับขึ้นรูปวัสดุกราฟีนออกไซด์ผสมพอลิเมอร์เพื่อเป็นวัสดุที่แข็งแรงเชิงกลสูง

3. โครงการ Digiwar นักประดิษฐ์พิชิตโควิด เพื่อชุมชนปี2 (กพผ.)

ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2 ชื่อผลงาน:

ต้นแบบนวัตกรรมตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากถ่านหินลิกไนต์ร่วมกับวัสดุนาโนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ สำหรับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์จากโซลาร์เซลล์เพื่อชุมชน (Prototype of Supercapacitor from Lignite with Reduced Graphene Oxide for Solar-roof top Energy Storage System for Communities)

4. ผ่านเข้ารอบ 200 ทีมการแข่งขัน Startup Thailand

League2020 ชื่อทีม: Advances Bioplastic-GO Composite

5. รางวัลผลงานสิ่งประดิษฐ์ระดับอุดมศึกษาในงาน

Thailand New Gen Inventors Awards 2020 รางวัลเหรียญทอง

กลุ่มพลังงาน เคมี และวัสดุชีวภาพ ชื่อผลงาน: ต้นแบบนวัตกรรมตัว

เก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวดประดิษฐ์จากวัสดุรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และ

ยางพาราไทย (Prototype of Supercapacitor Devices from

Reduced Graphene Oxide Materials and Thai para rubber)

6.รางวัลเหรียญเงิน กลุ่มพลังสุขภาพและการแพทย์ ชื่อผลงาน:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบหมวกกันน็อกปรับอากาศได้โดยตรงจากแท่งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์แบบไร้พัดลมระบายความร้อน (Prototype of air conditioned helmet directly from the thermoelectric cooler module without cooling fan)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้