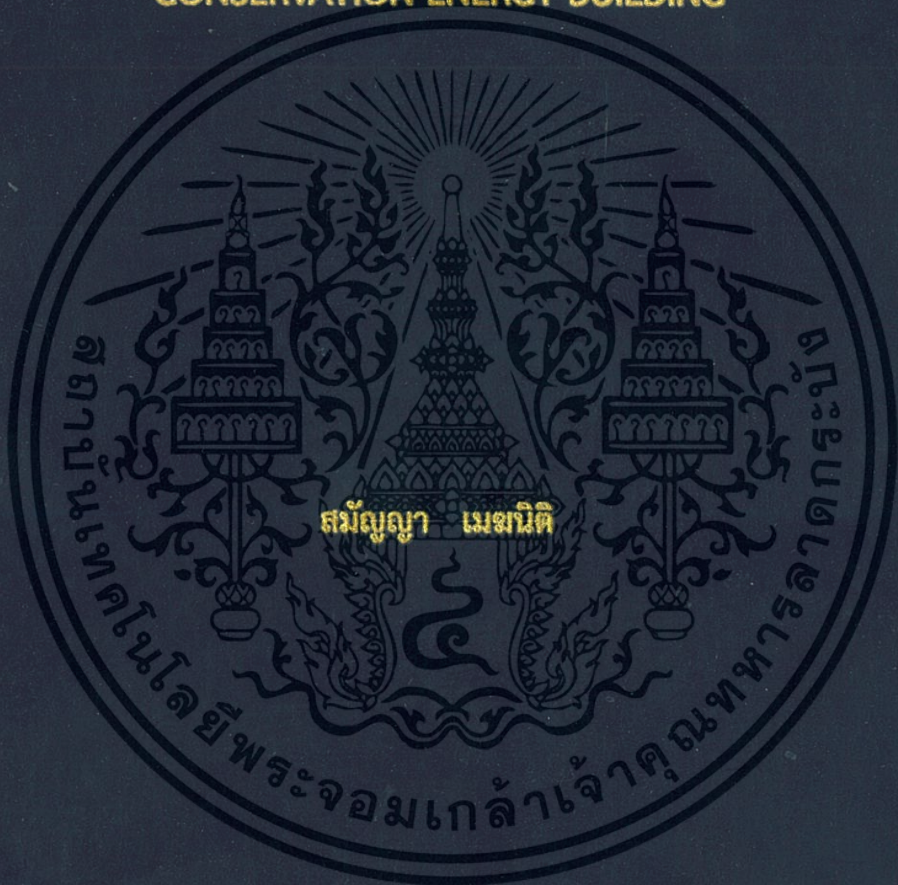


ต้นแบบของผนังอาคารอัจฉริยะที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลย์
และโฟโตโวลตาอิกสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงาน

A PROTOTYPE OF ACTIVE BUILDING ENVELOPE USING
THERMOELECTRIC MODULE AND PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR
CONSERVATION ENERGY BUILDING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

ต้นแบบของผนังอาคารอัจฉริยะที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลย์
และโฟโตโวลตาอิกสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงาน

A PROTOTYPE OF ACTIVE BUILDING ENVELOPE USING
THERMOELECTRIC MODULE AND PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR
CONSERVATION ENERGY BUILDING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A PROTOTYPE OF ACTIVE BUILDING ENVELOPE USING
THERMOELECTRIC MODULE AND PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR
CONSERVATION ENERGY BUILDING



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ต้นแบบของผนังอาคารอัจฉริยะที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลย์และโฟโตโวลตาอิกสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงาน
ชื่อนักศึกษา	นางสาว สมัญญา เมฆนิติ รหัสนักศึกษา 54050609
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ประธาน บุรณสิริ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อผลิตความเย็นและความร้อนให้แก่ผนังอาคารหรือที่פקอาศัย เพื่อที่จะให้อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่ผู้ที่อยู่ในอาคารได้ ในส่วนของการทำความเย็นและทำความร้อนแก่ผนังอาคารนี้รวมเป็นระบบเดียวกันเรียกว่าระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคาร(active building envelope) โดยในส่วนของการทำความเย็นจะใช้พัดลมระบายความร้อนขนาดเล็กเป่าอากาศผ่านไปใต้อุณหภูมิที่มีน้ำซึ่งท่อนี้วางอยู่บนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น โดยพัดลมจะเป่าเอาอากาศเย็นเข้าไปในกรอบอาคารด้านในหรือผนังด้านใน สำหรับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะหันลงฮีทซิงค์และระบายความร้อนออกโดยใช้น้ำ ซึ่งน้ำตรงส่วนนี้ก็จะร้อนพอสมควรจึงสามารถนำน้ำที่ไ้ระบายความร้อนในส่วนนี้ไปปล่อยไหลไปตามท่อสายยางที่ติดกับกรอบอาคารด้านนอกหรือผนังด้านนอกเพื่อให้ความร้อนแก่กรอบอาคารหรือผนังได้อีกด้วย จากผลการวิจัยจึงทำให้เห็นว่าระบบกระตุ้นกรอบอาคาร สามารถที่จะช่วยในการปรับสภาพของอากาศภายในอาคารให้มีความพอดีแก่ผู้ อยู่ภายในอาคารนั้นๆ ได้ อีกทั้งการปรับกระแสไฟฟ้าให้แก่เทอร์โมอิเล็กทริกก็เป็นส่วนช่วยในการปรับความเหมาะสมของอุณหภูมิภายในห้องได้ การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตระบบทำความเย็นและทำความร้อนให้แก่กรอบอาคารนี้ค่อนข้างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่มีการใช้น้ำยาที่มีสารเคมีเจือปน และนอกจากนี้ยังใช้โฟโตโวลตาอิกในการให้ไฟฟ้าแก่เทอร์โมอิเล็กทริกอีกด้วย

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก,ระบบกระตุ้นกรอบอาคาร,โฟโตโวลตาอิก

Title	A PROTOTYPE OF ACTIVE BUILDING ENVELOPE USING THERMOELECTRIC MODULE AND PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR CONSERVATION ENERGY BUILDING
Students	Miss. Samanya Meakniti Student ID 54050609
Degree	Bachelor of Science in Applied Physics
Department	Physics
Academic Year	2014
Advisor	Dr.Prathan Buranasiri

ABSTRACT

This special project is to study thermoelectric (TE) modules for producing coolness and hotness to resident wall for keeping the suitable temperature. In part of cooling and heating on the wall are grouped in the same system, called Active Building Envelope system (ABE). For cooling ABE, the small ventilators were applied for flowing cool air through channel which was on cool-side TE modules then went to ABE. In other side, TE modules were set on heat sinks and flowed hot air by water. So hot water would be flowed through rubber tube to the outside. That was another valuable way to heat up the ABE.

From the experimental results, we could adjust the electric current of TE modules for suitable temperature inside the ABE building. The production of this project is cooling and heating the ABE building is relatively the environment friendly due to no liquid containing chemical additives. In addition, the photochemical Voltaic also provided the electricity of Thermoelectric modules, well.

Keywords : Thermoelectric, Active Building Envelope, Photovoltaic

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ ดร.ประธาน บุรณศิริ ที่อำนวยความสะดวกพื้นที่สำหรับการทำงานวิจัย อุปกรณ์ในการวัดลักษณะเฉพาะต่างๆ ตลอดจนอุปการะทุนสนับสนุน และให้ความรู้และคำปรึกษาทางวิชาการที่ดีตลอดมารวมทั้งปลูกฝังคุณธรรมที่ดีงามให้กับลูกศิษย์

ขอขอบคุณ คุณประยูทธ โปธิลักษณ์ คุณธัญรัตน์ ทองอ่อน นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คุณธนากร ทาสิ่งห์คำและคุณรัฐกาญจน์ ประชาเชษฐ์ ศิษย์เก่าปริญญาตรี ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยให้คำแนะนำในการออกแบบระบบและช่วยสอนงานก่อสร้างเบื้องต้น รวมทั้งคำแนะนำในงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่เมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาและให้การอบรมสั่งสอนตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับถึงปัจจุบัน

สุดท้ายนี้กราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้ความอุปการะทุนในการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

นางสาว สมัญญา เมฆนิตี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
ขอบเขตของงานวิจัย	2
ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก	3
2.1.1 ความหมายของเทอร์โมอิเล็กทริก	3
2.1.2 ประวัติและการค้นพบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลย์	3
2.1.3 ปฏิกิริยาการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริก	4
2.1.3.1 ปฏิกิริยาซีเบค (seebeck effect)	5
2.1.3.2 ปฏิกิริยาเพลเทียร์ (Peltier effect)	6
2.1.4 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลย์	8
2.1.5 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก	9
2.1.6 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านโหมดทำความเย็น	10
2.1.7 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านโหมดทำความร้อน	11
2.2 โฟโตโวลตาอิกหรือเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.2.1 ประวัติความเป็นมาของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.2.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.2.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.2.5 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์	14
2.2.5.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน	14
2.2.6 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open Circuit Voltage)	15
2.2.7 ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor)	16
2.2.8 ขีดจำกัดของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	17
2.2.9 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	18
2.2.10 อิทธิพลของอุณหภูมิ	21
2.2.11 การสูญเสียในเซลล์แสงอาทิตย์	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และฟ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย	27
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัยระบบทำความเย็น และระบบทำความร้อน	27
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัยสร้างห้องจำลองจาก วัสดุต่างชนิด	27
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	28
3.2.1 ออกแบบและสร้างห้องจำลองจากวัสดุที่ต่างชนิดกัน	28
3.2.2 วัดอุณหภูมิแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร้อนและเย็น	29
3.2.3 คำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในวงจรเพื่อ เลือกใช้โซลาเซลล์ให้เหมาะสมกับระบบ	32
3.2.4 ออกแบบระบบทำความเย็นและทำความร้อน	32
3.2.5 นำระบบทำความเย็นและทำความร้อนติดเข้ากับ ตัวห้องจำลองที่สร้างขึ้นจากวัสดุต่างชนิด	34
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	35
4.1 สร้างโมเดลห้องจำลองจากวัสดุที่ต่างชนิดกัน	35
4.2 วัดอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลด้านร้อนและด้านเย็น	36
4.3 คำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร	96
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	113
5.1 สรุปผลการวิจัย	113
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	113
เอกสารอ้างอิง	114
ภาคผนวก	115
ประวัติผู้เขียน	122

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

แหล่งพลังงานบนโลกซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดประกอบกับจำนวนประชากรมนุษย์ที่เพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้ในปัจจุบันมีแนวโน้มของความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จึงจำเป็นต้องมีการนำพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆมาใช้มากขึ้นเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาด้านพลังงานในอนาคต พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่สะอาดพบอยู่ทั่วไปและมีอยู่อย่างไม่จำกัด นอกจากนี้การนำแสงอาทิตย์มาใช้โดยสร้างสิ่งประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์นั้นก็ไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆขณะใช้งาน เช่น มลพิษทางอากาศ ฝนกรด สภาวะเรือนกระจก และปัญหาโลกร้อน จึงไม่ทำลายและเป็นมิตรกับสภาพแวดล้อม ไม่ส่งผลกระทบต่อทั้งระบบนิเวศทางธรรมชาติและความเป็นอยู่ของมนุษย์

ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีหลายด้านรวมถึงประยุกต์ใช้กับการออกแบบหรือสร้างระบบกรอบอาคารอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งอาคารพลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในเศรษฐกิจพลังงานโลก โดยที่ระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคาร (Active Building Envelope : ABE) เป็นเทคโนโลยีระบบปิดซึ่งรวมโฟโตโวลตาอิกและเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลย์ไว้ในระบบเดียวกัน ในระบบนี้โฟโตโวลตาอิกเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้กำลังไฟฟ้าแก่เทอร์โมอิเล็กทริก สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกในระบบนี้จะมีหน้าที่เป็นตัวทำความเย็นและให้ความร้อนแก่ผนังอาคาร ซึ่งงานวิจัยนี้จะศึกษาการทำความเย็นและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยการสร้างต้นแบบระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคาร แล้วทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบเพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการพัฒนาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลย์ที่ทำงานในโหมดความเย็นและโหมดความร้อน
- 1.2.2 ศึกษาการทำงานของโฟโตโวลตาอิก
- 1.2.3 คำนวณวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ
- 1.2.4 สร้างแบบจำลองอาคารจากวัสดุต่างชนิด
- 1.2.5 สร้างระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคาร (Active Building Envelope : ABE)
- 1.2.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นและความร้อนของระบบในอาคารจำลองแต่ละชนิด

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเพื่อสร้างระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคารให้ทำความเย็นเมื่อต้องการให้ห้องจำลองเย็นและทำความร้อนเมื่อต้องการให้ห้องจำลองอบอุ่น โดยศึกษาการทำงานของโฟโตโวลตาอิกเพื่อจ่ายกระแสไฟให้กับระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคาร

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆตลอดจนทฤษฎีเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก
- 1.4.2 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆตลอดจนทฤษฎีเกี่ยวกับโฟโตโวลตาอิก
- 1.4.3 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆตลอดจนทฤษฎีเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า
- 1.4.4 ออกแบบระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคาร (ABE system)
- 1.4.5 ออกแบบห้องจำลองที่ใช้ทำการวิจัย
- 1.4.6 จัดหาวัสดุอุปกรณ์
- 1.4.7 สร้างระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคาร (ABE system) ด้วยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
- 1.4.8 สร้างห้องจำลองที่หนึ่งจากอิฐบล็อก
- 1.4.9 สร้างห้องจำลองที่สองจากอิฐมวลเบา
- 1.4.10 สร้างห้องจำลองที่สามแผ่นไม้อัดแบบหนา
- 1.4.11 คำนวณกำลังไฟที่ต้องใช้ในระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนัง (ABE system)
- 1.4.12 นำค่ากำลังไฟที่ได้ไปเลือกซื้อโซลาร์เซลล์ให้เหมาะสมกับการใช้งานของระบบ
- 1.4.13 ต่อไฟจากโซลาร์เซลล์เข้ากับระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคาร (ABE system)
- 1.4.14 นำระบบกระตุ้นกรอบอาคารที่ทำการต่อไฟจากโซลาร์เซลล์แล้วไปติดกับผนังของห้องจำลองทั้งสามแบบ
- 1.4.15 บันทึกค่าอุณหภูมิและเวลาในตอนที่ระบบทำความเย็นให้กับห้องจำลองทั้งสามแบบ
- 1.4.16 บันทึกค่าอุณหภูมิและเวลาในตอนที่ระบบทำความร้อนให้กับห้องจำลองทั้งสามแบบ
- 1.4.17 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทำให้เข้าใจหลักการการทำงานเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริกและโฟโตโวลตาอิก ทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้
- 1.5.2 สามารถนำการทำงานของระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนัง (ABE system) ไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ผิวปิดอื่นๆที่ต้องการทำความเย็นหรือให้ความร้อนได้
- 1.5.3 สามารถนำระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนัง (ABE system) ไปพัฒนาต่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

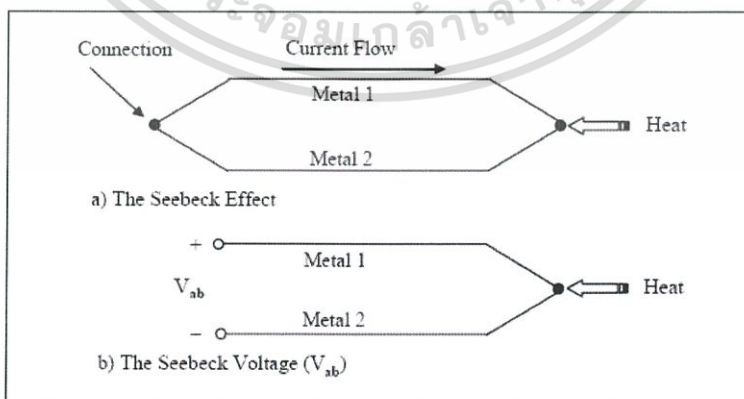
2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก

2.1.1 ความหมายของเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric) เป็นการผสมคำระหว่างคำว่า เทอร์โม (thermo) ซึ่งมีความหมายว่าความร้อนและอิเล็กทริก (electric) ซึ่งมีความหมายว่าไฟฟ้ากล่าวได้ว่าปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นการผันความร้อนให้เป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงและในทางกลับกันก็สามารถผันกระแสไฟฟ้าให้เป็นความเย็นได้อีกด้วย โดยผ่านวัสดุตัวกลางที่มีสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก เรียกว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric materials) เมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าจะมีการถ่ายเทอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงไปต่ำ นั่นคือมีการสั่นของอนุภาคโฟนอน(phonon) และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (electron) จะได้พลังงานไฟฟ้าออกมาและในทางตรงกันข้ามเมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งจะมีการถ่ายเทความต่างศักย์ไฟฟ้าจากสูงไปต่ำจะได้ความเย็นออกมา

2.1.2 ประวัติและการค้นพบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

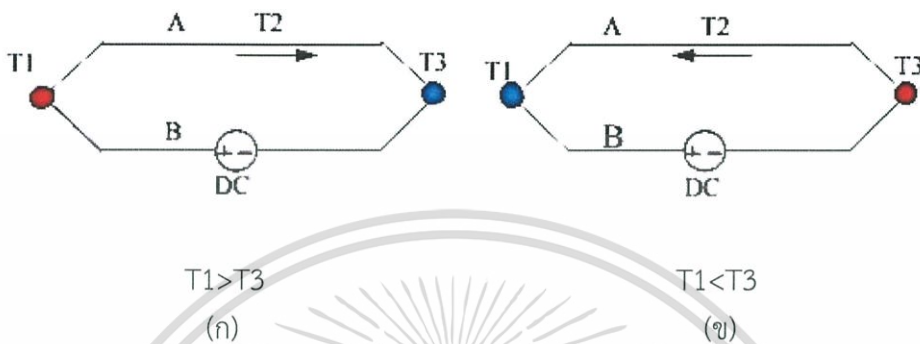
ในปี คศ.1821 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) ทำการศึกษาพบว่าเมื่อนำขดลวดโลหะ 2 เส้น ที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจรเส้นลวดทั้งสอง ซึ่งปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรมันจะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองหากที่ปลายจุดต่อทั้งสองคือจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรมันก็จะสูงตามไปด้วย และถ้าเปิดปลายจุดด้านหนึ่งออกจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ ซีเบคโวลเตจ (seebeck voltage) ”



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการต่อวงจรของซีเบค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาในปี คศ.1834 ยีน เพลเทียร์ ชาร์เลส อะนาเธส (Jean Charles Athanase Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ได้ทำการศึกษาในลักษณะเดียวกันกับวงจรที่ทางซีเบคสร้างขึ้น และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกันนี้ โดยใช้ลวดเส้นหนึ่งทำจากบิสมัทและอีกด้านหนึ่งทำจากแอนติโมนีจะทำให้เกิดอุณหภูมิที่ปลายจุดทั้ง 2 จุด คือที่รอยต่อ T1 และ T3 มีอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนขึ้นและปลายอีกด้านหนึ่งจะเย็นลงดังรูป 2.2



รูป 2.2 แสดงลักษณะการต่อวงจรของเพลเทียร์

เมื่อป้อนกระแสเข้าไปในวงจรดังรูปที่ 2.2(ก) ทำให้รอยต่อ T1 มีอุณหภูมิสูงกว่ารอยต่อ T3 และเมื่อมีการป้อนกระแสเข้าไปในวงจรดังรูป 2.2(ข) จะทำให้รอยต่อ T3 มีอุณหภูมิสูงกว่ารอยต่อ T1 ซึ่งจากการค้นพบของซีเบคและเพลเทียร์ส่งผลให้เกิดการศึกษาพัฒนาเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริกมากขึ้น

2.1.3 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

หลักการของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีด้วยกันสองหลักการ กล่าวคือซีเบคสำหรับผันความร้อนเป็นกระแสไฟฟ้าและเพลเทียร์สำหรับผันกระแสไฟฟ้าเป็นความเย็น โดยขึ้นอยู่กับค่าของฟิโกเกอร์ออฟเมอริท (Figure of merit, Z) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคและสภาพนำไฟฟ้าต้องสูง ส่วนสภาพนำความร้อนต้องต่ำจึงจะได้ประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีสมการพื้นฐานของเทอร์โมอิเล็กทริกดังนี้

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} - \sigma S \nabla T \quad (1)$$

และ
$$\vec{q} = \varphi \vec{j} - ST \vec{j} - \kappa \nabla T \quad (2)$$

- เมื่อ
- σ = สภาพนำไฟฟ้า
 - \vec{E} = สนามไฟฟ้า
 - S = สัมประสิทธิ์ซีเบค
 - T = อุณหภูมิ
 - φ = ศักย์ทางไฟฟ้า ($\vec{E} = -\nabla \varphi$)
 - κ = สภาพนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (1) จะได้ว่า $\vec{E} = -S \nabla T$ เป็นปรากฏการณ์ซีเบค และจากสมการ (2) $-\Delta ST_j = \Pi_j = -\nabla(\kappa \nabla T)$ ต่อหน่วยเวลาและต่อหน่วยพื้นที่ของรอยต่อ สำหรับความร้อนของรอยต่อ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เพลเทียร์ โดยที่ $\Pi = -T \Delta S$ และ Π คือ สัมประประสิทธิ์เพลเทียร์ และจากสมการข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าถ้าต้องการวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงจะต้องทำให้ค่าของสัมประสิทธิ์ซีเบคและสภาพนำไฟฟ้าสูง ส่วนสภาพนำความร้อนต้องต่ำ

2.1.3.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (seebeck effect)

ในปี คศ.1821 โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้กล่าวไว้ว่า “เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด” ซึ่งซีเบคได้ทำการศึกษานำลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ซึ่งเมื่อปลายรอยต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกันก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรถดลวดทั้งสอง โดยปรากฏการณ์ซีเบคเป็นปรากฏการณ์ที่ผันความร้อนให้เป็นไฟฟ้า ซึ่งจะพิจารณาปรากฏการณ์ของการบังคับเกรเดียนต์ของอุณหภูมิสม่ำเสมอให้ไหลไปตามตัวนำจำกัด ซึ่งเริ่มแรกตัวนำจะควบคุมการกระจายอย่างสม่ำเสมอของตัวพาหะประจุ แต่ภายใต้เกรเดียนต์ของอุณหภูมิหนึ่งพาหะอิสระที่ปลายด้านร้อนจะมีพลังงานจลน์มากกว่าที่ปลายด้านเย็น และมีแนวโน้มที่จะแพร่ไปด้านเย็น การเกิดขึ้นของประจุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ(back electromotive force หรือ back e.m.f.) ซึ่งตรงข้ามกับการไหลของประจุ ความต่างศักย์วงจรเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหล เรียกว่า ความต่างศักย์ซีเบค (seebeck voltage)

สมการของปรากฏการณ์ซีเบค สามารถเขียนในรูปของผลต่างของความต่างศักย์ไฟฟ้าและผลต่างอุณหภูมิได้ว่า

$$\frac{dV}{dx} = S \frac{dT}{dx}$$

$$V = S(T_h - T_c) \quad (3)$$

เมื่อ V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (μVK^{-1})

T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อน (K)

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็น (K)

จากสมการ (3) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของขนาดสนามไฟฟ้าและอุณหภูมิเกรเดียนต์ได้ว่า

$$E = S \nabla T \quad (4)$$

เมื่อ E คือ สนามไฟฟ้า (V/m)

S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (μVK^{-1})

∇T คือ อุณหภูมิเกรเดียนต์ (K)

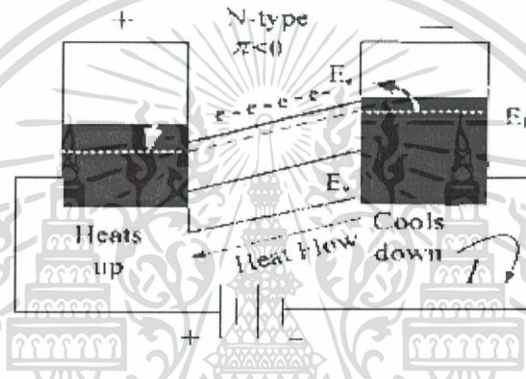
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect)

ในปี 1834 ยีน เพลเทียร์ ชาร์เลส อะธานเนส (Jean Charles Athanase Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสกล่าวไว้ว่า “เมื่อเมื่อกะแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า” ซึ่งเพลเทียร์ได้ทำการศึกษาโดยให้กระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ 2 แบบดังนี้

2.1.3.2.1 $\pi < 0$; ค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นลบ

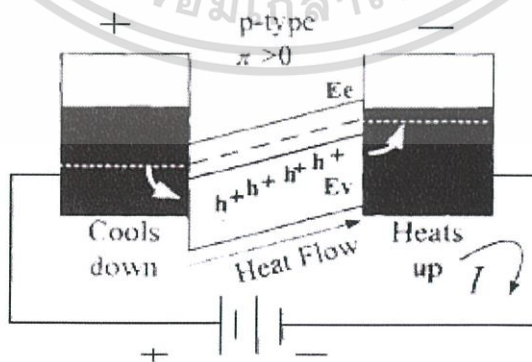
เมื่ออิเล็กตรอนของอะตอมมีพลังงานสูงจะเกิดการเคลื่อนย้ายจากขวาไปซ้ายการไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้า จะมีทิศทางตรงข้ามกัน ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้า ในสารกึ่งตัวนำชนิด n

2.1.3.2.2 $\pi > 0$; ค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์เป็นบวก

โฮลพลังงานสูงเคลื่อนที่จากซ้ายมาขวาการไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4

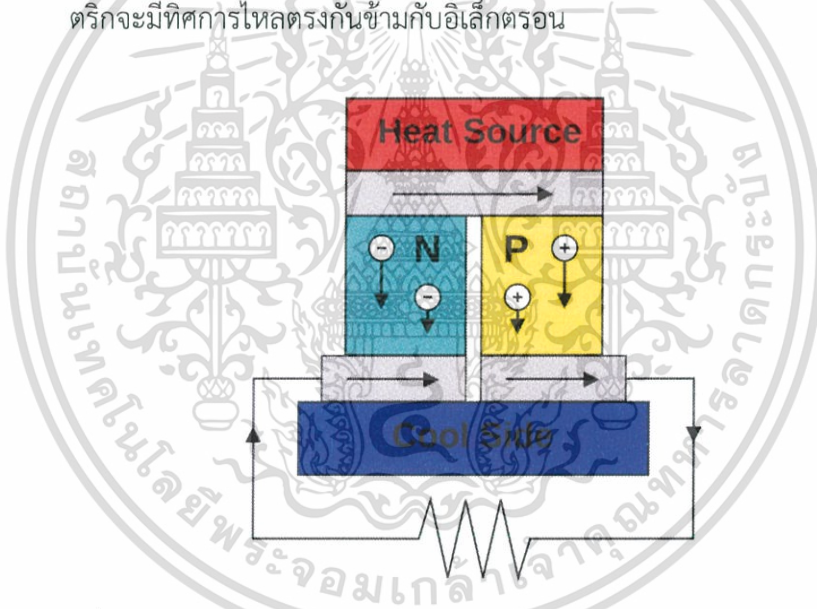


รูปที่ 2.4 แสดงการไหลเวียนของความร้อนและกระแสไฟฟ้า ในสารกึ่งตัวนำชนิด p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันวิวัฒนาการของปรากฏการณ์ Seebeck effect และ Peltier effect ได้รับการพัฒนาเป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานตามกระบวนการอุณหพลศาสตร์ใน 2 รูปแบบ คือ จักรกลความร้อน (Heat engine) และจักรกลสูบความร้อน (Heat pump) โดยมีการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์แยกชนิดตามหน้าที่ในการทำงานดังนี้

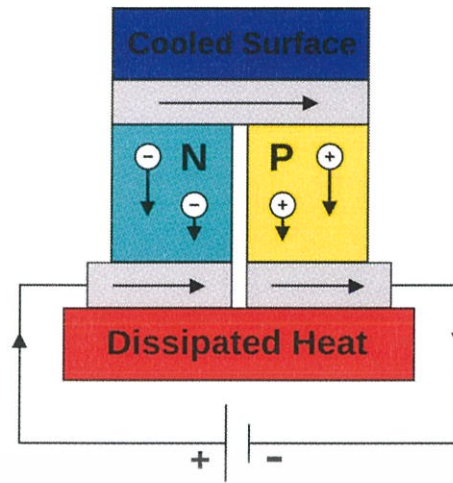
1. อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากความร้อน (ตามปรากฏการณ์ Seebeck effect) เรียกว่า Thermoelectric Generator (TEG) เทอร์โมอิเล็กทริกเซลล์เป็นสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสองชนิดก็คือชนิดเอ็นและพีซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำต่อกันแบบอนุกรมเป็นขั้วไฟฟ้าเรียกว่ารอยต่อพีเอ็น เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของเทอร์โมอิเล็กทริกเซลล์ ความร้อนที่ไหลผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกต่างชนิดกันส่งผลให้เกิดความต่างอุณหภูมิและความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง เนื่องจากการไหลของอิเล็กตรอนและโฮล ในขณะเดียวกันก็จะเกิดการดูดกลืนความร้อนจากอีกด้านหนึ่งของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อไประบายความร้อนออกที่ปลายของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกอีกด้านหนึ่ง ซึ่งการไหลของโฮลของเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีทิศการไหลตรงกันข้ามกับอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.5 แสดงการผันกระแสไฟฟ้าจากความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเซลล์

2. อุปกรณ์ทำความเย็น (ตามปรากฏการณ์ Peltier effect) เรียกว่า Thermoelectric Cooler (TEC) หรือ Peltier cooler คือ การทำความเย็นด้วยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านบริเวณรอยต่อพีเอ็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (TEC) อาศัยผลการดูดกลืนความร้อนของกลุ่มอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่จากรอยต่อด้านเย็นและนำไปปลดปล่อยที่รอยต่อด้านร้อน ทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิ โดยมีผลให้รอยต่อด้านเย็นมีอุณหภูมิลดต่ำลง ซึ่งจะขึ้นกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและการระบายความร้อนที่รอยต่อด้านร้อนออก ซึ่งการไหลของโฮลของเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีทิศการไหลตรงกันข้ามกับอิเล็กตรอน ดังแสดงในรูปที่ 2.6

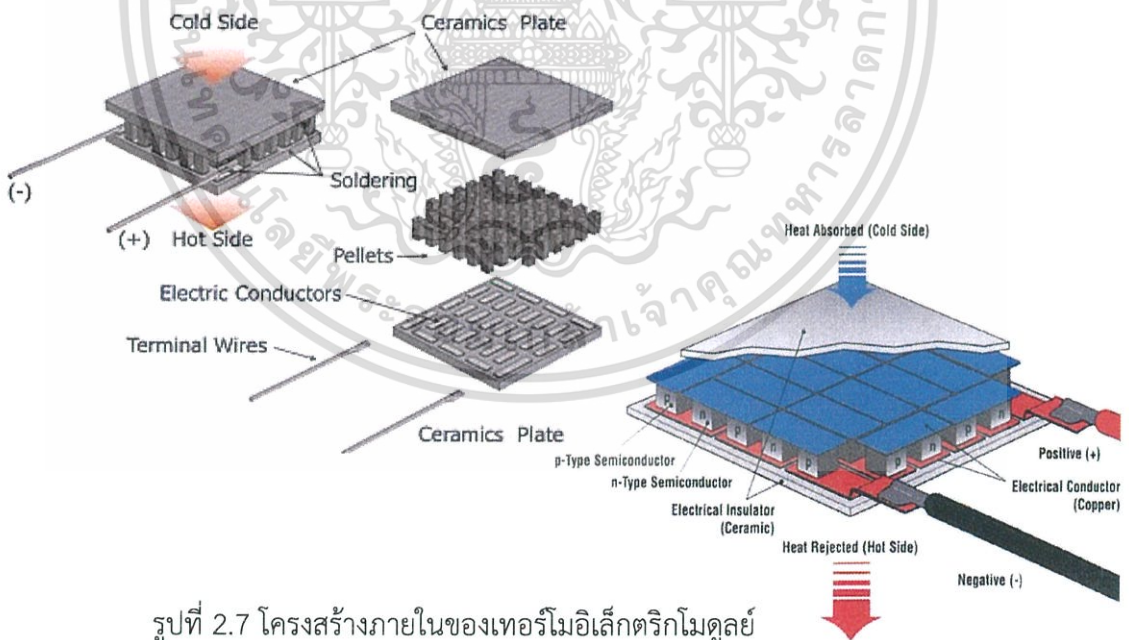
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการผันกระแสไฟฟ้าเพื่อทำความเย็น

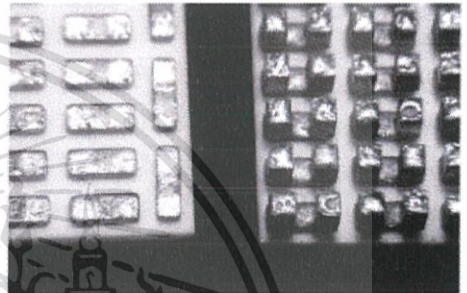
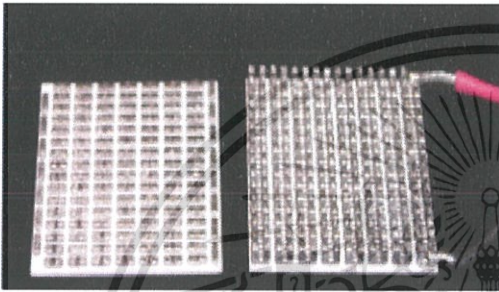
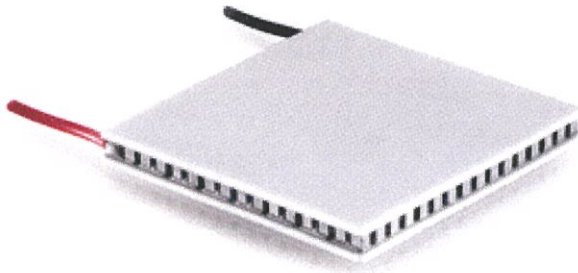
2.1.4 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลล์

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลล์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ได้จากการนำเทอร์โมอิเล็กทริกเซลล์มาต่อรวมกันแบบอนุกรมหรือขนานเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งสำหรับการใช้งานที่น่าสนใจของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้แก่การผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนต่างๆและในเรื่องของการทำความเย็น ตัวอย่างเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลล์ดังภาพที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. แผนฉนวนที่จัดเรียงเทอร์โมอิเล็กทริก
เมนต์

ข. ภาพขยายส่วนฐานและเทอร์โมอิเล็ก

รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (ต่อ)

การนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกแบบเอ็นหลายๆตัวมาต่อขนานกันนั้นทำได้ง่ายมาก อย่างไรก็ตาม การไหลและทิศทางของด้านร้อนส่วนหนึ่งจะไหลย้อนกลับมาทางด้านเย็นตามสายต่อประจุบวก และประจุลบของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกหรือที่เรียกว่าการลัดวงจรของความร้อน ซึ่งยากที่จะป้องกันการไหลย้อนกลับของความร้อน ซึ่งต้องทำการต่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพีและเอ็นให้มีลักษณะเป็นคู่ๆแบบอนุกรมหรือแบบขนาน สำหรับทางด้านของไฟฟ้าการต่ออนุกรมจะทำให้ได้ขนาดของพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม ส่วนในการทำความเย็นจะทำการต่อแบบขนานเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นให้ดีขึ้น

2.1.5 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

จากผลการวิจัยและพัฒนาด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารกึ่งตัวนำ มีการพบว่า ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

2.1.5.1 สามารถให้สภาพนำไฟฟ้าสูงแต่เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อย (ความร้อนเกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า)

2.1.5.2 สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นความเย็นได้มาก

2.1.5.3 มีสภาพนำความร้อนต่ำ เพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทั้ง 3 ประการมีความสัมพันธ์กันด้วยหลักการทางฟิสิกส์สำหรับใช้บ่งชี้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ (Z)

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\gamma} \quad (5)$$

โดยที่ α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Volt/Kelvin)

σ คือ สภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ (Ampere/Volt*meter)

และ γ คือ สภาพนำความร้อนของวัสดุ (Watt/meter*Kelvin)

เนื่องจาก Z มีหน่วยต่ออุณหภูมิ แต่ในทางปฏิบัติค่าบ่งชี้ที่เปรียบเทียบกันได้ง่ายควรจะไม่มีหน่วย เรียกว่าค่า figure-of-merit ดังนั้นจึงมีการคุณสมบัติ (5) ด้วย T ได้สมการใหม่เป็น ZT โดยที่ T คือ อุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำงาน ค่า ZT จึงเป็นค่า figure-of-merit ที่ใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติการเปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุด และคุณสมบัติการทำความเย็นสูงสุดของวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนองค์ประกอบ (Thermo element) ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

2.1.6 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านโหมดทำความเย็น

สำหรับการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกในโหมดทำความเย็นจะมีการถ่ายโอนความร้อนออกนอกระบบ ปริมาณการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลย์หรือค่าปริมาณความเย็นที่ได้สอดคล้องดังสมการ (6)

$$Q_c = SI(T_c + 273.15) - \frac{1}{2} I^2 R - K(T_h - T_c) \quad (6)$$

โดยที่ I คือ กระแส (แอมแปร์)

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (องศาเซลเซียส)

T_h คือ อุณหภูมิด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (องศาเซลเซียส)

S คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค ; ($S = 2N\alpha$)

R คือ ค่าความต้านทานของตัววัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ; ($R = 2N\sigma/G$)

K คือ ค่าความนำความร้อน ; ($K = 2NkG$)

ซึ่ง S, R และ K เป็นพารามิเตอร์ของอุณหภูมิอิสระ

สำหรับกระแสที่วิ่งผ่านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกแสดงดังสมการ (7)

$$I = \frac{V - S(T_h - T_c)}{R} \quad (7)$$

เมื่อ V คือ ความต่างศักย์

สำหรับการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกในโหมดทำความเย็นจะมีการถ่ายโอนความร้อน ดังสมการที่ (8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_h = Q_c + VI \quad (\text{Watt}) \quad (8)$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์โดยรวมของเทอร์โมอิเล็กทริกในโหมดความเย็นแสดงได้ดังสมการที่ (9)

$$\text{COP}_c = \frac{Q_c}{VI} \quad (9)$$

2.1.7 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านโหมดทำความเย็น

สำหรับการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกในโหมดความร้อนจะมีค่าสัมประสิทธิ์โดยรวมของเทอร์โมอิเล็กทริกในโหมดความร้อน แสดงได้ดังสมการที่ (10)

$$\text{COP}_h = \frac{Q_h}{VI} \quad (10)$$

จากสมการที่ (8) ให้ COP_h มีค่ามากกว่า 1 เมื่อ Q_h มีค่ามากกว่า VI จะสามารถหาค่า Q_h และ Q_c

ได้ดังสมการที่ (11) และ (12) ดังนี้

$$Q_h = SI(T_h + 273.15) + \frac{1}{2}I^2R - K\Delta \quad (\text{Watt}) \quad (11)$$

$$Q_c = Q_h - IV \quad (\text{Watt}) \quad (12)$$

2.2 โฟโตโวลตาอิกหรือเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน

2.2.1 ประวัติความเป็นมาของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 (พ.ศ. 2497) โดย แชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone) โดยทั้ง 3 ท่านนี้ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ พี-เอ็น (P-N) แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% แล้ว ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียมหรือยานอวกาศที่ส่งจากพื้นโลกไปโคจรในอวกาศ ก็ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ต่อมาจึงได้มีการนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนพื้นโลกเช่นในปัจจุบันนี้ เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่จะมีสีเทาดำ แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่างๆ กันไป เช่น แดง น้ำเงิน เขียว ทอง เป็นต้น

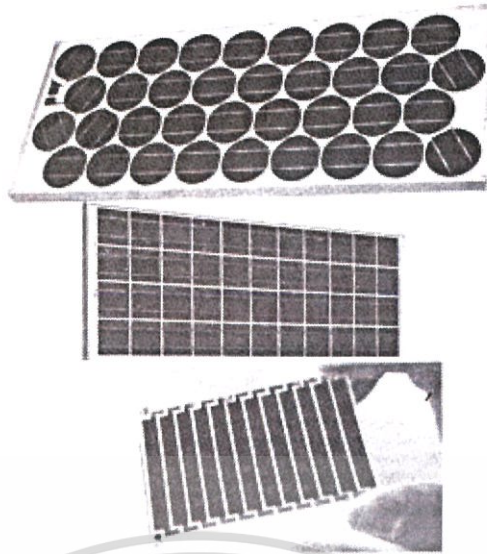
2.2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดหลัก คือ

2.2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถลุดได้จากหินและทราย เรานิยมใช้ธาตุซิลิคอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์และไอซี และเซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยี c-Si ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

2.2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกโพลี (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึกได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว ซิลิคอนแบบหลายผลึกก็คือก้อนซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของชิ้นเล็ก ๆ (ขนาดระดับไมโครเมตร-มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวของซิลิคอน รูปที่ 3 เป็นการแสดงขั้นตอนการผลิตของโพลีซิลิคอน ด้านบนของรูปแสดงการผลิตแบบ cast โดยจะเทซิลิคอนที่หลอมละลายเข้าไปใน crucible แล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้า ๆ ซึ่งก็จะได้ก้อน ingot ของซิลิคอนหลายผลึกที่มีรูปร่างตาม crucible ที่ใช้ หลังจากนั้นการนำไปทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะคล้ายกับกรณีของแบบผลึกเดี่ยว คือนำไปตัดเป็นเวเฟอร์หนาขนาด 300-400 ไมโครเมตร แล้วก็ทำ p-n junction ต่อไป ด้านล่างของรูปเป็นการสร้างแผ่นซิลิคอนหลายผลึกที่จะใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงจากสารหลอมเหลวของซิลิคอน เรียกว่าวิธีนี้ว่า ribbon โดยวิธีนี้จะช่วยลดขั้นตอนที่จะต้องหันเป็นแผ่นเวเฟอร์ในกรณีที่ใช้ ingot

2.2.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) ใช้นักเบามาก และประสิทธิภาพเพียง 5-10% เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิคอนเช่นกัน แต่จะไม่ใช่ผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิคอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ ใช้นักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น



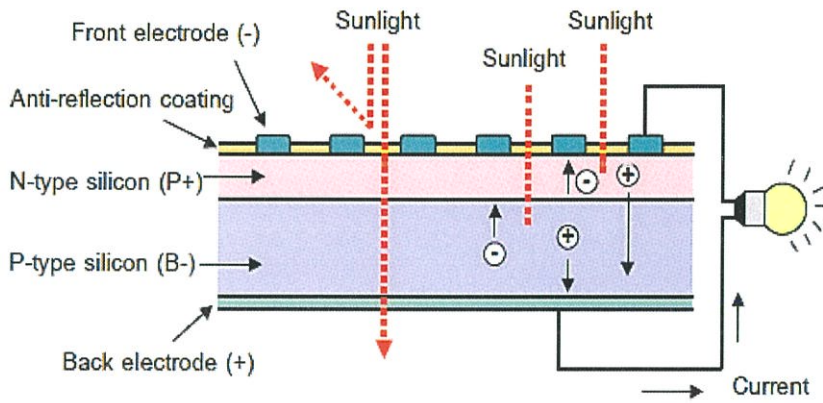
รูปที่ 2.11 ภาพถ่ายตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิคอน และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน

2.2.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถลุง และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าทีรับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

2.2.4 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ ตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

n-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการเจือด้วยธาตุหมู่ 5 เช่น ฟอสฟอรัส อะเซนิก มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์

p-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการเจือด้วยธาตุหมู่ 3 เช่น โบรอน แกลเลียม ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

2.2.5 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้อธิบายลักษณะสมบัติเอาต์พุต (output characteristics) ของเซลล์แสงอาทิตย์มีดังนี้

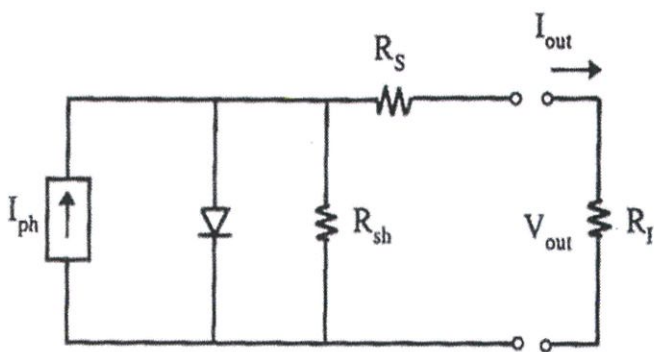
2.2.5.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Energy conversion efficiency)

คืออัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจเรียกสั้นๆ ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และใช้สัญลักษณ์ว่า η เขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$\text{ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด} * 100\%}{\text{กำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์}}$$

$$\eta = \frac{P_{\max} (W)}{P_{\text{in}} (W)} * 100\% \quad (13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

2.2.6 แรงดันไฟฟ้าวงจรมืด (Open Circuit Voltage)

ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาพวงจรมืด (open circuit) แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด (open circuit voltage: V_{oc}) ค่า V_{oc} โดยแทนค่า $I_{out} = 0$ ดังนั้นจึงได้ว่า

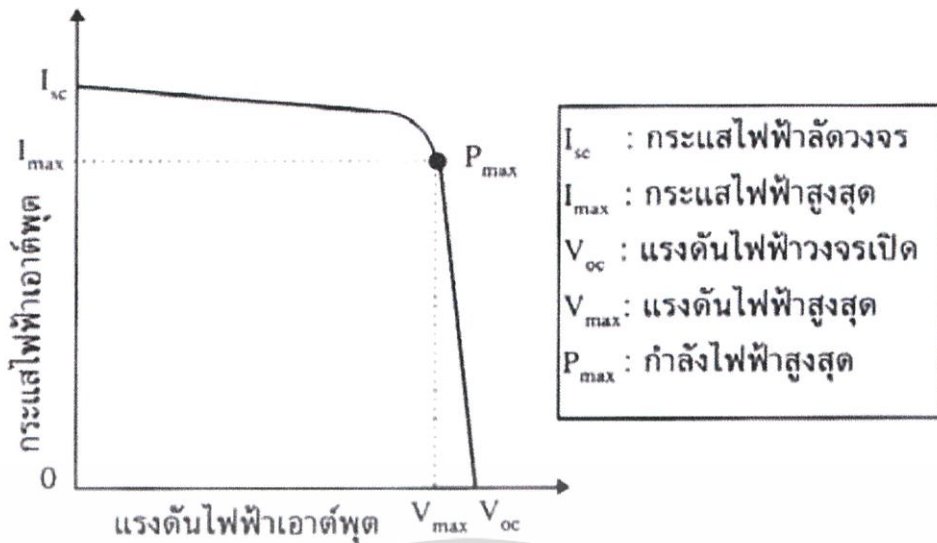
$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_o} + 1\right) \quad (14)$$

รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ จุดที่กราฟตัดแกนแรงดันไฟฟ้าคือแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด จุดที่กราฟตัดแกนกระแสไฟฟ้าคือกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าสูงสุด P_{max} (maximum power) ที่เราจะได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเท่ากับพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใหญ่ที่สุดภายในกราฟลักษณะสมบัตินี้ซึ่งแสดงด้วยเส้นไขปลาในรูปที่ 2.14 ถ้าให้ V_{max} (maximum voltage) และ I_{max} (maximum current) คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามลำดับที่จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้น

$$P_{max} = V_{max} * I_{max} \quad (15)$$

เราสามารถคำนวณหาค่า V_{max} ได้ด้วยการหาค่าอนุพันธ์ของ P_{max} เทียบกับ V_{max} และกำหนดให้ $\frac{\partial P_{max}}{\partial V_{max}} = 0$ ผลลัพธ์คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

$$\exp\left(\frac{qV_{\max}}{nkT}\right)\left(1 + \frac{qV_{\max}}{nkT}\right) = \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right) \quad (16)$$

ด้วยวิธีการคำนวณในทำนองเดียวกัน I_{\max} จะมีค่าเท่ากับ

$$I_{\max} = \frac{(I_{sc} + I_0) \frac{qV_{\max}}{nkT}}{1 + \frac{qV_{\max}}{nkT}} \quad (17)$$

สมการที่ (16) และ (17) ซึ่งให้เราทราบว่า P_{\max} จะมีค่ามากเมื่อ I_0 มีค่าน้อย (นั่นก็คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำควรมีค่ากว้างพอสมควร) และ k มีค่าน้อย

2.2.7 ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor)

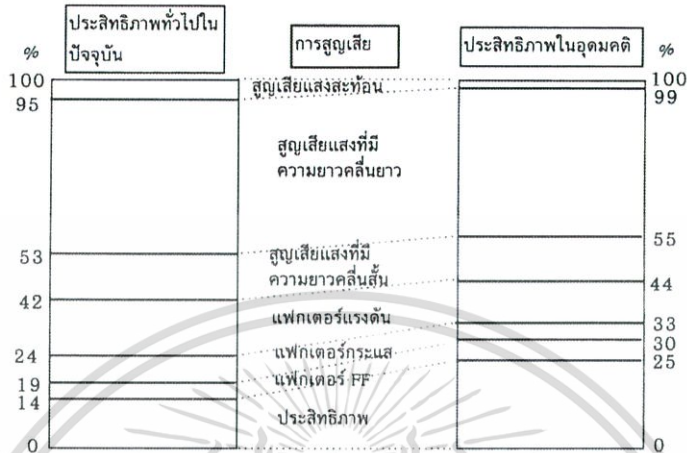
เอาต์พุตพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคือ ฟิลล์แฟกเตอร์ (fill factor) เขียนย่อว่า FF นิยามของ FF คืออัตราส่วนของพื้นที่ของ $V_{\max} * I_{\max}$ ต่อพื้นที่ของ $V_{oc} * I_{sc}$ และเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$FF = \frac{P_{\max}}{I_{sc} * V_{oc}} = \frac{V_{\max} * I_{\max}}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (18)$$

$$= \frac{V_{\max}}{V_{oc}} \left[1 - \frac{\exp(qV_{\max}/nkT) - 1}{\exp(qV_{oc}/nkT) - 1} \right] \quad (19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบัน ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนที่ผลิตในภาคอุตสาหกรรมมีค่าประมาณ 12~19% พลังงานแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์บางส่วนถูกนำไปใช้ประโยชน์ บางส่วนสูญเสีย



รูปที่ 2.15 แผนภูมิการสูญเสียพลังงานในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน

ไม่ได้ใช้เป็นประโยชน์ เช่น แสงบางส่วนสะท้อนกลับ รูปที่ 2.15 แสดงแผนภูมิการสูญเสียพลังงานในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอนทั่วไป เนื่องจากผลึกเดี่ยวซิลิคอนมีช่องว่างพลังงานเท่ากับ 1.1 eV ดังนั้นแสงที่มีพลังงานโฟตอนมากกว่า 1.1 eV จึงจะถูกดูดกลืนและเกิดการผลิตคู่ของอิเล็กตรอนและโฮล ผลการคำนวณประสิทธิภาพสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอนคือ 25%

2.2.8 ขีดจำกัดของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 5 แล้วว่าลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ด้วยพารามิเตอร์ที่สำคัญ 6 ชนิด คือ

- 1) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc})
- 2) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc})
- 3) กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{max})
- 4) แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{max})
- 5) ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF)
- 6) ประสิทธิภาพ (η)

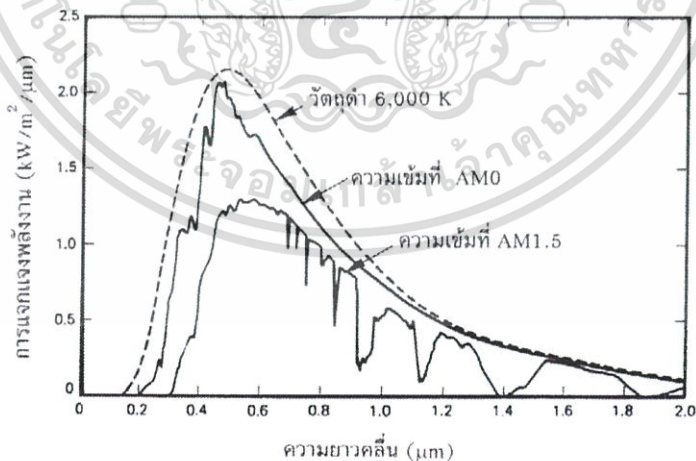
ในจำนวนพารามิเตอร์เหล่านี้ I_{sc} และ V_{oc} เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดในการกำหนดขีดจำกัดของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ในหัวข้อนี้เราจะวิเคราะห์หว่าขีดจำกัดของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างไรบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร

การคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่ไม่ยาก ในเงื่อนไขอุดมคติ เราอาจสมมติให้ว่า เมื่อโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่าช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำเดินทางเข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์ โฟตอนทุกตัวจะสามารถกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮล และอิเล็กตรอนทุกตัวสามารถไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปสู่วงจรภายนอกได้ การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเช่นนี้ เราต้องทราบโฟตอนฟลักซ์ในสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ รูปที่ 2.16 และตารางที่ 1 แสดงสเปกตรัมและข้อมูลแจกแจงความเข้มของพลังงานของแสงอาทิตย์ตามลำดับ จากรูปและตารางนี้ โฟตอนฟลักซ์คำนวณได้โดยการหารค่าความเข้มแสงในตารางด้วยค่าพลังงานโฟตอน ($\frac{hc}{\lambda}$) ณ ที่ความยาวคลื่นแสงนั้น ผลการคำนวณสเปกตรัมของโฟตอนฟลักซ์ของแสงอาทิตย์แสดงในรูปที่ 2.17 หน่วยของโฟตอนฟลักซ์คือ $\text{cm}^{-2}/\text{sec}/\mu\text{m}$

จากรูปที่ 2.18 กระแสไฟฟ้าลัดวงจรสามารถคำนวณได้โดยการหาค่าปริพันธ์ของสเปกตรัมตั้งแต่ความยาวคลื่นต่ำสุดไปจนถึงความยาวคลื่นแสงสูงสุดที่สารกึ่งตัวนำที่เราสนใจจะดูดกลืนแสงได้ ตัวอย่างกรณีของ Si ซึ่งมีช่องว่างพลังงานเท่ากับ 1.1 eV ดังนั้นจึงหาปริพันธ์จากความยาวคลื่น 1.13 μm ไปถึงประมาณ 0.2 μm รูปที่ 2.18 แสดงผลการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดในอุดมคติที่สารกึ่งตัวนำจะสามารถผลิตได้ โดยที่แกนในแนวนอนคือช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ตัวอย่างในกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Si จากรูปนี้ทำให้เราทราบว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดมีค่าประมาณ 35 mA/cm^2 ที่แสงอาทิตย์ ความเข้ม AM1.5 และถ้าสารกึ่งตัวนำมีช่องว่างพลังงานแคบ จะผลิตกระแสไฟฟ้าลัดวงจรได้มากขึ้น



รูปที่ 2.16 สเปกตรัมแจกแจงความเข้มของพลังงานของแสงอาทิตย์

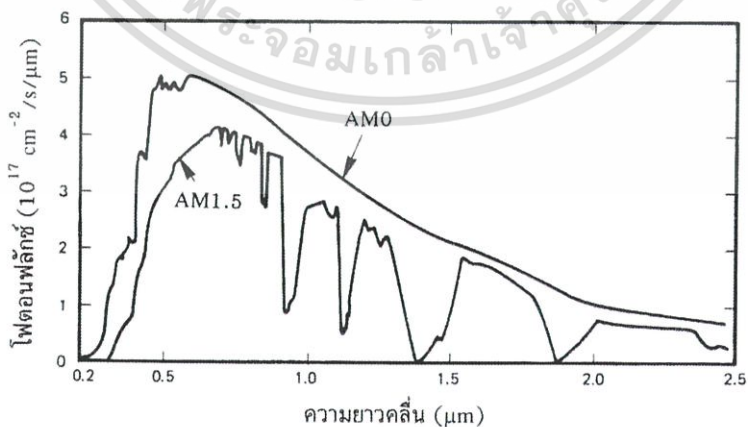
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ที่ Air Mass 1.5 (832 W/m^2) หน่วยของความเข้มแสงคือ $\text{W/m}^2 - \mu\text{m}$

ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง	ความยาวคลื่น (μm)	ความเข้มแสง
0.295	0	0.595	1262.610	0.870	843.020	1.276	344.110	2.388	31.930
0.305	1.320	0.605	1261.790	0.875	835.100	1.288	345.690	2.415	28.100
0.315	20.960	0.615	1255.430	0.887	817.120	1.314	284.240	2.453	24.960
0.325	113.480	0.625	1240.190	0.900	807.830	1.335	175.280	2.494	15.820
0.335	182.230	0.635	1243.790	0.907	793.870	1.384	2.420	2.537	2.590
0.345	234.430	0.645	1233.960	0.915	778.970	1.432	30.060		
0.355	286.010	0.655	1188.320	0.925	217.120	1.457	67.140		
0.365	355.880	0.665	1228.400	0.930	163.720	1.472	59.890		
0.375	386.800	0.675	1210.080	0.940	249.120	1.542	240.850		
0.385	381.780	0.685	1200.720	0.950	231.300	1.572	226.140		
0.395	492.180	0.695	1181.240	0.955	255.610	1.599	220.460		
0.405	751.720	0.698	973.530	0.965	279.690	1.608	211.760		
0.415	822.450	0.700	1173.310	0.975	529.640	1.626	211.260		
0.425	842.260	0.710	1152.700	0.985	496.640	1.644	201.850		
0.435	890.550	0.720	1133.830	1.018	585.030	1.650	199.680		
0.445	1077.070	0.727	974.300	1.082	486.200	1.676	180.500		
0.455	1162.430	0.730	1110.930	1.094	448.740	1.732	161.590		

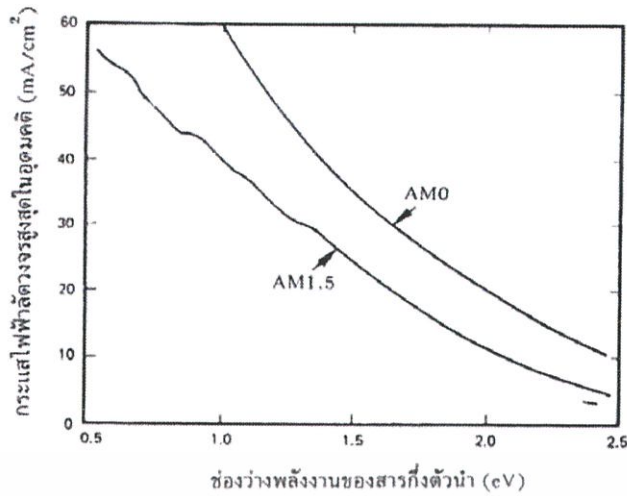
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.465	1180.610	0.740	1086.44 0	1.098	486.72 0	1.782	136.65 0		
0.475	1212.720	0.750	1070.44 0	1.101	500.57 0	1.862	2.010		
0.485	1180.430	0.762	733.080	1.128	100.86 0	1.955	39.430		
0.495	1253.830	0.770	1036.01 0	1.131	116.87 0	2.008	72.580		
0.505	1242.280	0.780	1018.42 0	1.137	108.68 0	2.014	80.010		
0.515	1211.010	0.790	1003.58 0	1.144	155.44 0	2.057	72.570		
0.525	1244.870	0.800	988.110	1.147	139.19 0	2.124	70.290		
0.535	1299.510	0.805	860.280	1.178	374.29 0	2.156	64.760		
0.545	1273.470	0.825	932.740	1.189	383.37 0	2.201	68.290		
0.555	1276.140	0.830	923.870	1.193	424.85 0	2.266	62.520		
0.565	1277.740	0.835	914.950	1.222	382.57 0	2.320	57.030		
0.575	1292.510	0.846	407.110	1.236	383.81 0	2.338	53.570		
0.585	1284.550	0.860	857.460	1.264	323.88 0	2.356	50.010		



รูปที่ 2.17 สเปกตรัมของโฟตอนฟลักซ์ของแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ผลการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงที่สุดในอุดมคติที่สารกึ่งตัวนำจะสามารถผลิตได้

2.2.10 อิทธิพลของอุณหภูมิ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่เรานำไปวางรับแสงอาทิตย์ไว้ตลอดทั้งวันนั้น จะได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นมาก และการใช้งานนั้นบางครั้งอาจต้องไปติดตั้งในบริเวณที่สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำมาก เช่น บริเวณที่มีหิมะ หรือบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงมาก เช่น ในทะเลทราย อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์มาก ซึ่งผู้ใช้งานควรจะทราบดังต่อไปนี้เมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นจะทำให้

1. กระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะสูงขึ้นแต่เพิ่มไม่มากนัก
2. แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและฟิลล์แพกเตอร์จะลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดคือ

$$I_{sc} = I_0 \left(e^{\frac{qV_{oc}}{kT}} - 1 \right) \quad (20)$$

ถ้าเราไม่พิจารณาพจน์ที่มีค่าน้อย เราจะได้ค่าใกล้เคียงของ I_{sc} ว่า

$$I_{sc} = AT^\gamma e^{-E_g/kT} e^{qV_{oc}/kT} \quad (21)$$

โดยที่ A : พจน์ที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

E_g : ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์

γ : พจน์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิและเป็นพจน์ที่มีอิทธิพลต่อ I_0 และมีค่าประมาณ 1-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (22) คือ

$$\frac{dI_{sc}}{dT} = A\gamma\gamma^{-1} e^{q(V_{oc}-V_{g0})/kT} + AT\gamma\left(\frac{q}{kT}\right) \left[\frac{dV_{oc}}{dT} - \left(\frac{V_{oc} - V_{g0}}{T} \right) \right] e^{q(V_{oc}-V_{g0})/kT} \quad (22)$$

เนื่องจากพจน์ dI_{sc}/dT มีค่าน้อยมาก ดังนั้นจากสมการที่ (22) จึงได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -\frac{V_{g0} - V_{oc} + \gamma(kT/q)}{T} \quad (23)$$

สมการที่ (23) นี้บอกให้เราทราบว่า V_{oc} แปรผกผันกับอุณหภูมิในลักษณะค่อนข้างเป็นเชิงเส้น นั่นคือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น V_{oc} จะลดลง

2.2.11 การสูญเสียในเซลล์แสงอาทิตย์

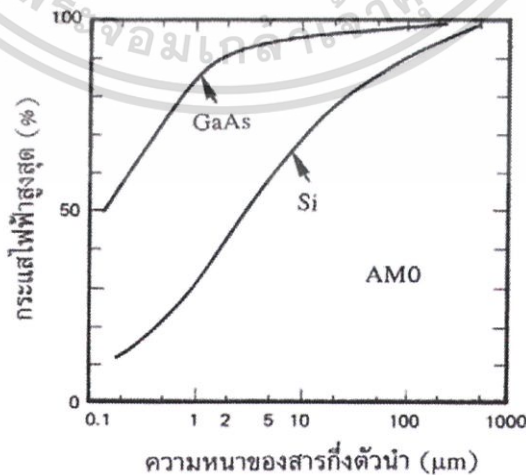
ในหัวข้อก่อนหน้านี้ ได้กล่าวถึงขีดจำกัดของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แล้วว่า ควรมีค่าเท่าไรแต่อย่างไรก็ตาม ในทางความเป็นจริง จะมีแฟกเตอร์อื่นๆ อีกมากมายที่เป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงไปจากค่าในอุดมคติ ดังจะได้กล่าวต่อไป

2.2.11.1 การสูญเสียกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

การสูญเสียกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีสาเหตุดังต่อไปนี้

2.2.11.1.1 การสะท้อนแสงที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากผิวที่รับแสงของสารกึ่งตัวนำนั้น โดยทั่วไปมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่สูงมาก ดังนั้นโฟตอนจำนวนมากจึงถูกสะท้อนกลับ โดยไม่ได้เดินทางเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ วิธีการลดการสะท้อนแสงวิธีหนึ่ง ได้แก่การเคลือบฟิล์มป้องกันการสะท้อนแสง เช่น SiO_2 และ Si_3N_4

2.2.11.1.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าบนผิวด้านรับแสง เช่น การเคลือบขั้ว Al เป็นลายเส้นด้านผิวรับแสง ทำให้เกิดการบังแสงพื้นที่ที่บังแสงมีประมาณ 5-15% ของพื้นที่ทั้งหมด



รูปที่ 2.19 ผลการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุดและความหนาของ

สารกึ่งตัวนำชนิด GaAs และ Si ที่ใช้ผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.11.1.3 โฟตอนบางตัวไม่ถูกดูดกลืน แต่สามารถเดินทางทะลุสารกึ่งตัวนำออกไปทางด้านหลังของ เซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพราะสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงมีค่าไม่มาก วิธีการแก้ไขคือ การใช้ผลึกที่มีความหนาที่เพียงพอ สารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานชนิดไม่ตรงต้องใช้ความหนามากกว่าสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานชนิดตรง รูปที่ 2.19 แสดงผลการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและความหนาของสารกึ่งตัวนำชนิด GaAs และ Si ที่ใช้ผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.11.1.4 มีการสูญเสียเนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮลรวมตัวกันก่อนที่จะออกสู่ภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ การรวมตัวเกิดขึ้นมากที่บริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำและในชั้นที่ไม่มีสนามไฟฟ้าภายใน ปกติพาหะโฟโตที่สามารถเดินทางออกสู่ภายนอกได้ดีได้แก่พาหะโฟโตที่เกิดขึ้นในย่านปลอดพาหะซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าภายใน (built-in potential) ช่วยพัดพาให้พาหะโฟโตไหลด้วยสนามไฟฟ้า

2.2.11.2 การสูญเสียแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

กระบวนการที่เป็นตัวกำหนดการสูญเสียของ V_{oc} โดยพื้นฐานได้แก่กระบวนการรวมตัวของพาหะในสารกึ่งตัวนำ การรวมตัวของพาหะทำให้กระแสไฟฟ้าอ่อนอิมตัวเพิ่มขึ้นดังที่แสดงในสมการที่ (24) การรวมตัวอาจเกิดขึ้นได้ทั้งภายในสารกึ่งตัวนำและที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ ระดับแตร็ป (trap levels) ในย่านปลอดพาหะมีอิทธิพลมากต่อการรวมตัวของพาหะ อัตราการรวมตัวของพาหะที่ระดับแตร็ปแสดงได้ด้วยสมการ

$$U = \frac{np - n_i^2}{\tau_{h0}(n + n_i) + \tau_{e0}(p + p_i)} \quad (24)$$

การรวมตัวที่ระดับแตร็ปในย่านปลอดพาหะ จะทำให้กระแสไฟฟ้ามีค่าน้อยลงตามสมการดังนี้

$$I = I_0(e^{qV/kT} - 1) + I_w(e^{qV/2kT} - 1) \quad (25)$$

โดยที่ I_w มีค่าเท่ากับ

$$I_w = \frac{qAn_i\pi}{2\sqrt{\tau_{e0}\tau_{h0}}} \frac{kT}{q\xi_{max}} \quad (26)$$

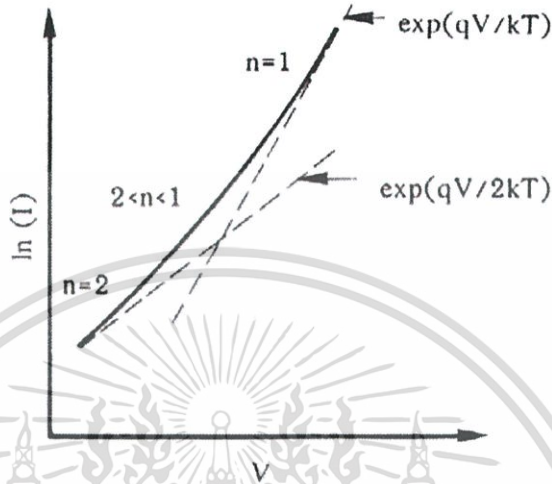
โดยที่ ξ_{max} คือสนามไฟฟ้าสูงสุดในรอยต่อ p-n

รูปที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ามีดและแรงดันไฟฟ้าของรอยต่อ p-n โดยการพิจารณากรณีที่มีการรวมตัวของพาหะในชั้นปลอดพาหะ พจน์ที่สองในสมการที่ (25) จะมีอิทธิพลมากในขณะที่กระแสไฟฟ้ามีค่าน้อย (ทำให้ $n=2$) และพจน์ที่หนึ่งในสมการที่ (25) จะมีอิทธิพลมากในขณะที่กระแสไฟฟ้ามีค่ามาก (ทำให้ $n=1$) เพื่อความสะดวก เราอาจจะเขียนสมการที่ (25) ให้อยู่ในรูปที่ง่ายว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = I_0(e^{qV/nkT} - 1) \quad (27)$$

โดยที่ แฟกเตอร์ n มีค่าอยู่ระหว่าง 1-2



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่มีและแรงดันไฟฟ้าของรอยต่อ p-n โดยพิจารณา

กรณีมีการรวมตัวของพาหะในชั้นปลอดพาหะจากการที่กระแสไฟฟ้าที่มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการรวมของพาหะดังกล่าว จึงทำให้ V_{oc} มีค่าลดลง

2.2.11.3 การสูญเสียฟิลล์แฟกเตอร์

การสูญเสียฟิลล์แฟกเตอร์มีสาเหตุหลายข้อดังต่อไปนี้

2.2.11.3.1 เกิดจากค่าแฟกเตอร์ n และ V_{oc}

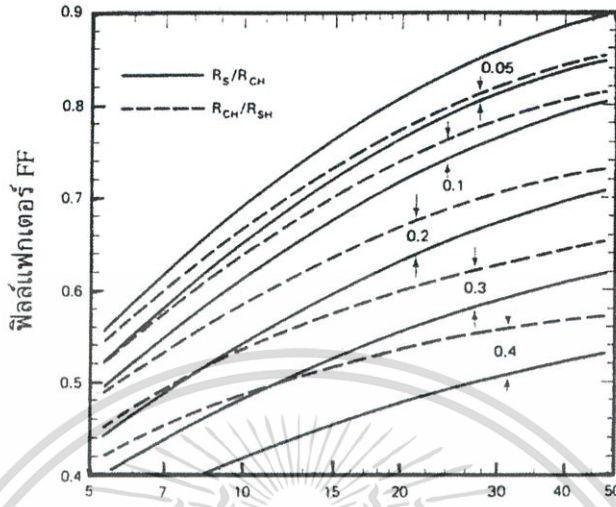
รูปที่ 2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟกเตอร์และแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด จะเห็นได้ว่าถ้าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดลดลง ก็จะทำให้ฟิลล์แฟกเตอร์ลดลงด้วย และจากการที่เราได้วิเคราะห์มาแล้วว่าถ้าแฟกเตอร์ n เพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ V_{oc} ลดลง ดังนั้นค่าฟิลล์แฟกเตอร์ในรูปที่ 2.1.16 ก็จะต้องลดลงด้วยถ้า n มีค่าเพิ่มขึ้นถ้าเราให้นิยามว่า $V_{oc} = V_{oc} / (nkT/q)$ ดังนั้นเราจะสามารถเขียนสมการของฟิลล์แฟกเตอร์ให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ว่า

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \quad (28)$$

2.2.11.3.2 เกิดจากค่าความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขั้ว

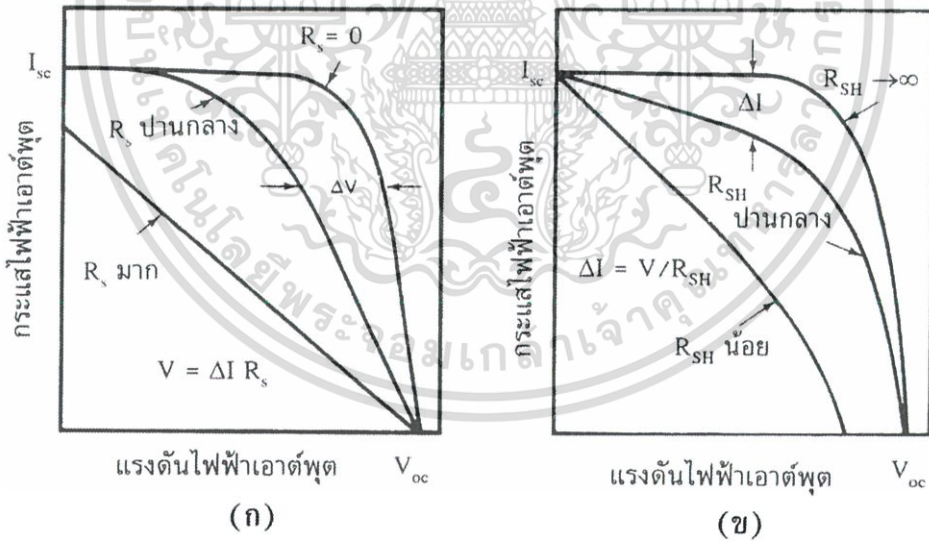
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีควรมีความต้านทานอนุกรม (series resistance) R_s น้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติความต้านทานอนุกรมนี้อาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ความต้านทานอนุกรมของเนื้อสารกึ่งตัวนำ ความต้านของรอยต่อ p-n ความต้านทานของขั้วไฟฟ้า ความต้านทานที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำและขั้วไฟฟ้า เป็นต้น



ด้านออร์แมลโลสของแรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิด ($V_{oc}/\ln kT/q$)

รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟกเตอร์และแรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิด



รูปที่ 2.22 (ก) อิทธิพลของความต้านทานอนุกรม

(ข) อิทธิพลของความต้านทานชั้นที่มีต่อลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีควรมีความต้านทานขั้ว (shunt resistance) R_{sh} มากที่สุด แต่ในทางปฏิบัติความต้านทานขั้วนี้อาจมีค่าลดลง อันเนื่องจากการเกิดรั่วของกระแสไฟฟ้าที่ขอบของเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของผลึกรูปที่ 2.22 (ก) และ (ข) แสดงอิทธิพลของความต้านทานอนุกรมและอิทธิพลของความต้านทานขั้วตามลำดับที่มีต่อลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัยระบบทำความเย็นและระบบทำความร้อน

- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1. แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก | 2. สายยางแบบบาง |
| 3. ฮีทซิงค์ขนาด 2×2.5 นิ้ว | 4. ฮีทซิงค์ขนาด 3×4.5 นิ้ว |
| 5. ฮีทซิงค์ขนาด 4×4.5 นิ้ว | 6. ฮีทซิงค์ขนาด 5×5.5 นิ้ว |
| 7. Power supply 2 ตัว | 8. DIGITAL THERMOMETER WT-1 |
| 9. UT55 MULTIMETER | 10. แผ่นเหล็ก |
| 11. กล้องอะคิลิค | 12. พัดลมซีพียูขนาด2.5แอมแปร์ 12โวลต์ |
| 13. วาล์วน้ำ | 14. สายไฟ |
| 15. สวิตช์เปิด-ปิด | 16. แบตเตอรี่ |
| 17. เทอร์โมมิเตอร์ | 18. แผงโซลาร์เซลล์ |
| 19. ซิลิโคน | 20. charger |
| 21. เข็มขีดวัดสายยาง | 22. นี้อต |

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัยสร้างห้องจำลองจากวัสดุต่างชนิด

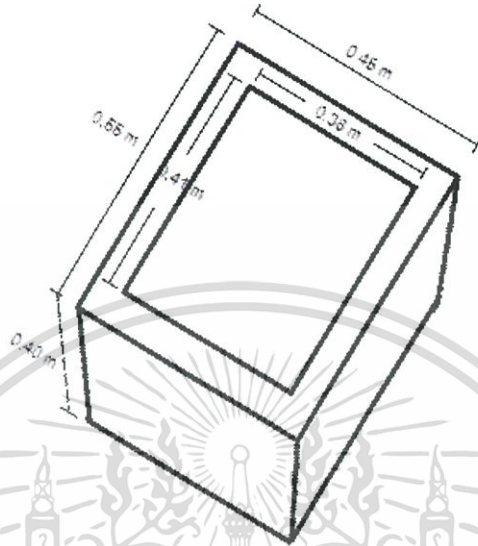
- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. อิฐบล็อก | 2. อิฐมวลเบา |
| 3. ไม้อัดอย่างหนา | 4. ปูนสำหรับก่ออิฐมวลเบา |
| 5. ปูนสำหรับก่ออิฐบล็อก | 6. ตะปู |
| 7. ตลับเมตร | 8. เกียงสำหรับก่อปูน |
| 9. เกียงสำหรับฉาบปูน | 10. เลื่อยตัดไม้ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

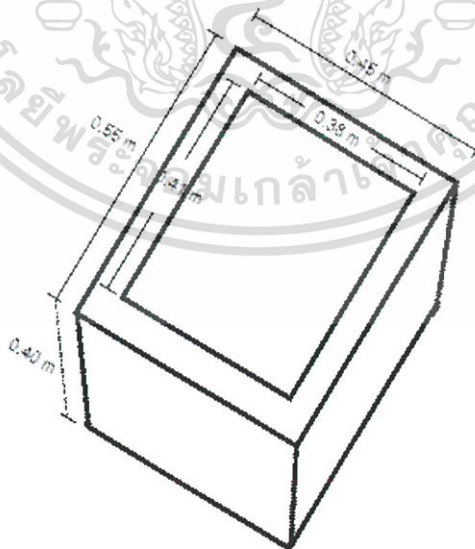
3.2.1 ออกแบบและสร้างห้องจำลองจากวัสดุที่ต่างชนิดกัน

- ออกแบบและสร้างห้องจำลองจากเป็นอิฐบล็อก ขนาด $0.45 \times 0.55 \times 0.40$ ตารางเมตร



รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองขนาดของห้องที่สร้างจากอิฐบล็อก

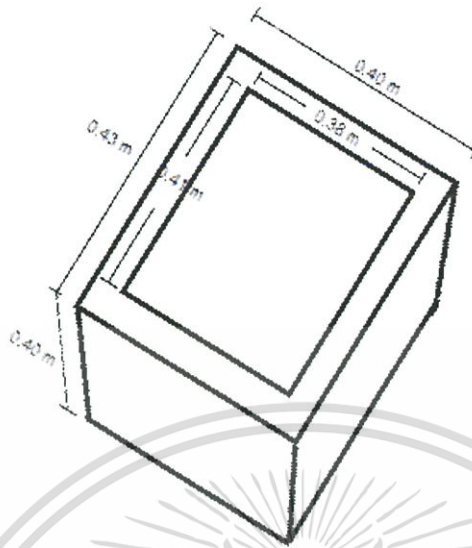
- ออกแบบและสร้างห้องจำลองจากอิฐมวลเบา ขนาด $0.45 \times 0.55 \times 0.40$ ตารางเมตร



รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลองขนาดของห้องที่สร้างจากอิฐมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ออกแบบและสร้างห้องจำลองจากไม้อัดแบบหนา ขนาด $0.44 \times 0.60 \times 0.40$ ตารางเมตร



รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองขนาดของห้องที่สร้างจากแผ่นไม้อัดแบบหนา

3.2.2 ทำการวัดอุณหภูมิแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร้อนและเย็น

-เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 หน่วย จ่ายไฟจากเพาเวอร์ซัพพลาย 3แอมแปร์ บันทึกค่าอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อน



รูปที่ 3.4 แสดงการทดลองวัดค่าอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 2 หน่วย ต่อขนานกัน จ่ายไฟจากเพาเวอร์ซัพพลาย 3แอมแปร์ บันทึกราค่าอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อน



รูปที่ 3.5 แสดงการทดลองวัดค่าอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วยต่อขนานกัน

- เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 3 หน่วย ต่อขนานกัน จ่ายไฟจากเพาเวอร์ซัพพลาย 3แอมแปร์ บันทึกราค่าอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อน



รูปที่ 3.6 แสดงการทดลองวัดค่าอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยต่อขนานกัน

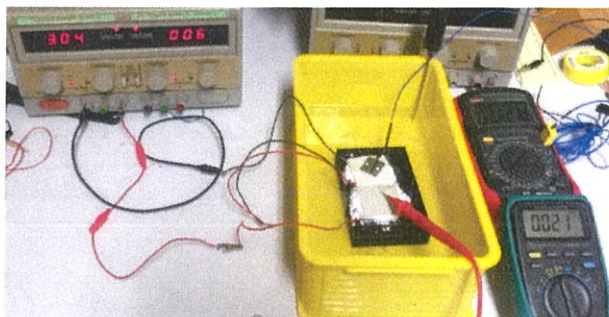
- เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 4 หน่วย ต่อขนานกัน จ่ายไฟจากเพาเวอร์ซัพพลาย 3แอมแปร์ บันทึกราค่าอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อน



รูปที่ 3.7 แสดงการทดลองวัดค่าอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่อขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลส์ 2 หน่วย ต่ออนุกรมกัน จ่ายไฟจากเพาเวอร์ซัพพลาย 3แอมแปร์ บันทึกราค่าอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อน



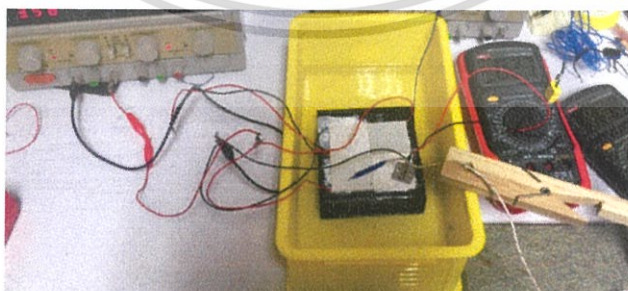
รูปที่ 3.8 แสดงการทดลองวัดค่าอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วยต่ออนุกรมกัน

- เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลส์ 3 หน่วย ต่ออนุกรมกัน จ่ายไฟจากเพาเวอร์ซัพพลาย 3แอมแปร์ บันทึกราค่าอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อน



รูปที่ 3.9 แสดงการทดลองวัดค่าอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยต่ออนุกรมกัน

- เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลส์ 4 หน่วย ต่ออนุกรมกัน จ่ายไฟจากเพาเวอร์ซัพพลาย 3แอมแปร์ บันทึกราค่าอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อน



รูปที่ 3.10 แสดงการทดลองวัดค่าอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่ออนุกรมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 คำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในวงจร เพื่อเลือกใช้โซลาเซลล์ให้เหมาะสมกับระบบ

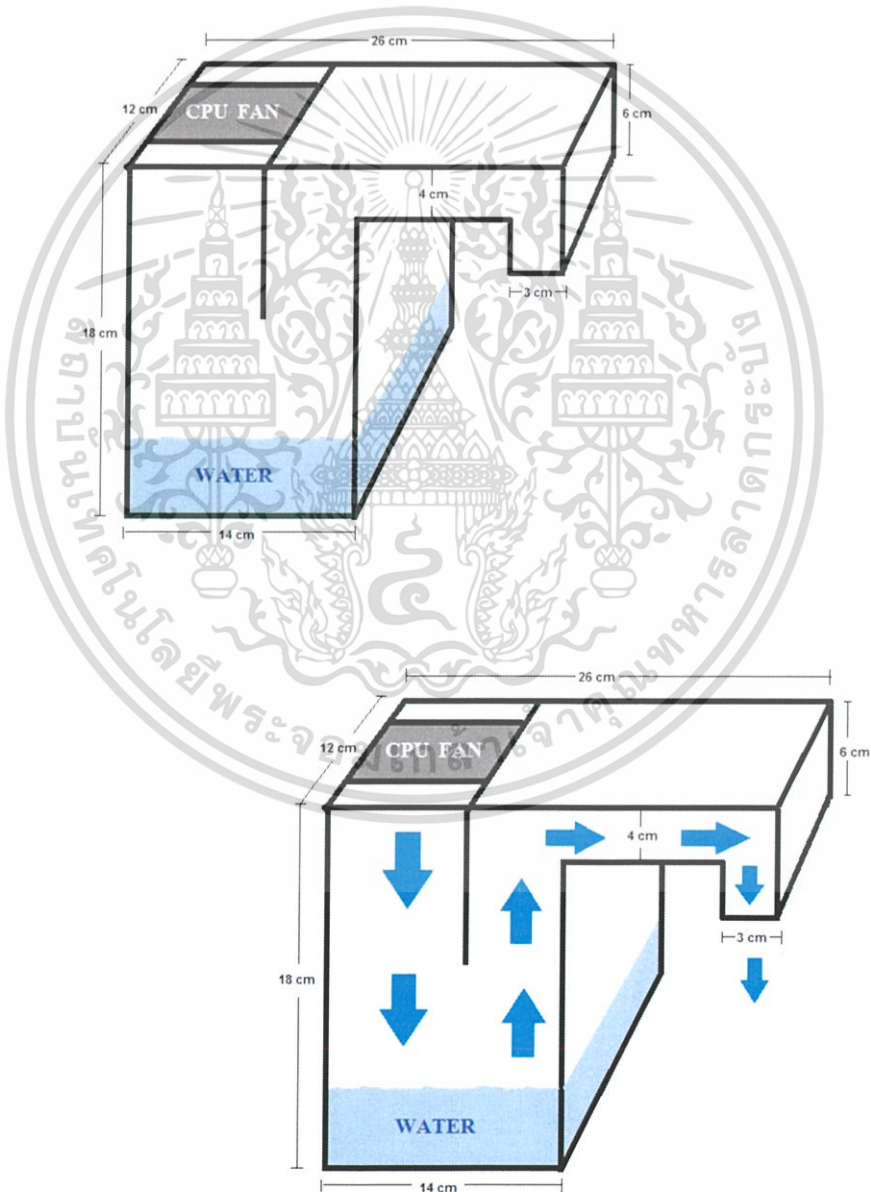
- คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจากสูตร

$$P = IV$$

จากนั้นนำค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ไปเลือกซื้อโซลาเซลล์ที่เหมาะสมให้กับระบบ

3.2.4 ออกแบบระบบทำความเย็นและทำความร้อน

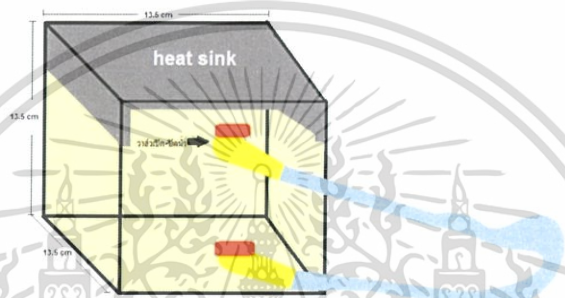
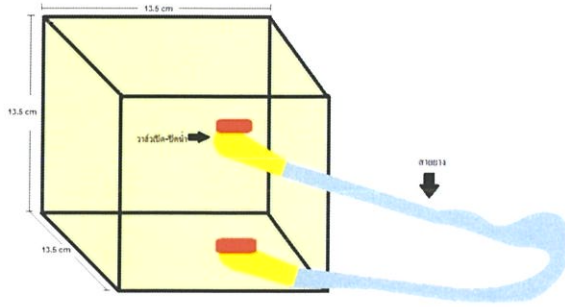
- ออกแบบรูปร่างท่อส่งความเย็น



รูปที่ 3.11 แสดงโครงร่างของท่อส่งความเย็นและทิศทางการไหลของความเย็นในท่

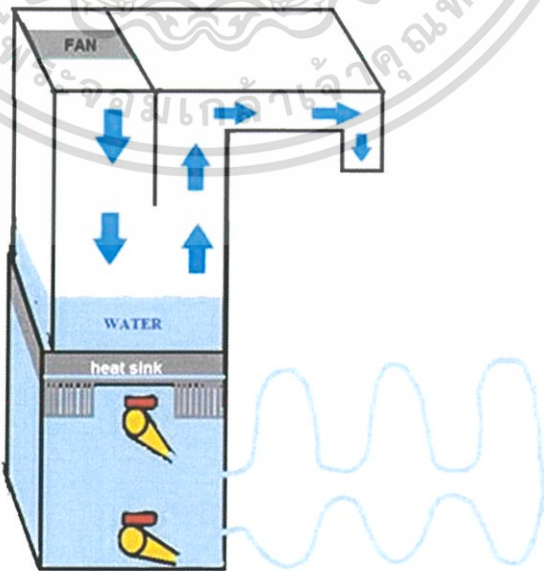
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ออกแบบรูปโครงสร้างกล่องสำหรับระบายความร้อน พร้อมทั้งท่อให้ความร้อน



รูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างของกล่องอะคิลิคระบายความร้อน

- นำระบบทำความเย็นและทำความร้อนเข้าด้วยกัน

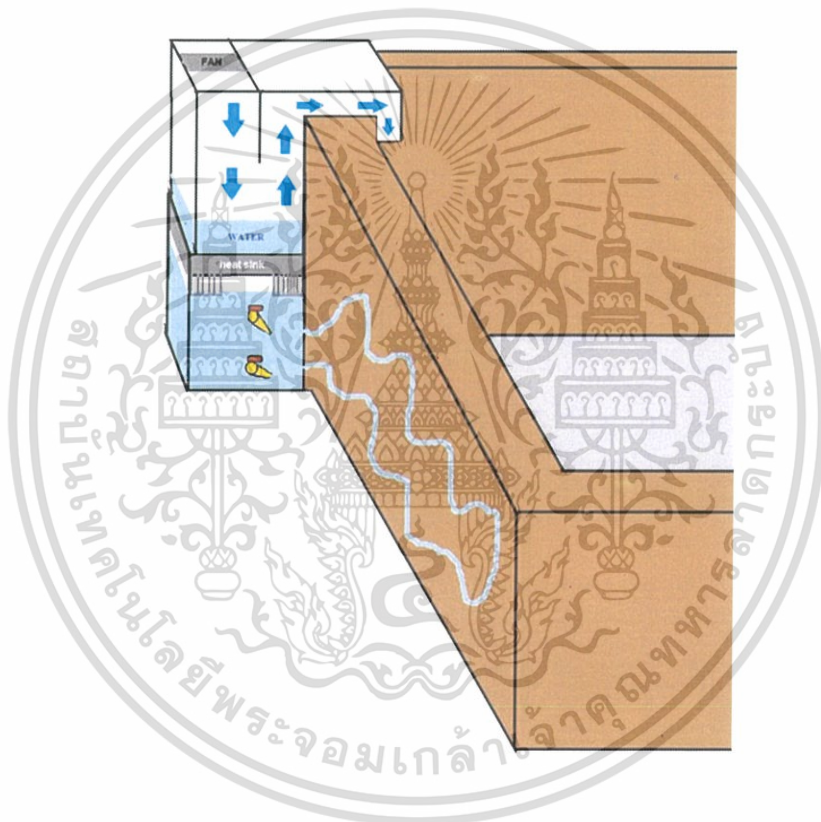


รูปที่ 3.13 แสดงโครงสร้างรวมของระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 นำระบบทำความเย็นและทำความร้อนติดเข้ากับตัวห้องจำลองที่สร้างขึ้น จากวัสดุต่างชนิด

- นำระบบทำความเย็นและทำความร้อนติดเข้ากับตัวห้องจำลองที่สร้างขึ้นจากอิฐบล็อก บันทึกอุณหภูมิในอาคาร
- นำระบบทำความเย็นและทำความร้อนติดเข้ากับตัวห้องจำลองที่สร้างขึ้นจากอิฐมวลเบา บันทึกอุณหภูมิในอาคาร
- นำระบบทำความเย็นและทำความร้อนติดเข้ากับตัวห้องจำลองที่สร้างขึ้นจากแผ่นไม้อัดแบบหนา บันทึกอุณหภูมิในอาคาร



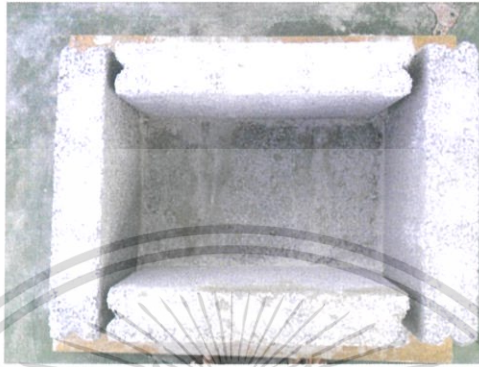
รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการติดตั้งระบบทำความร้อนและความเย็นเข้ากับผนังอาคารจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

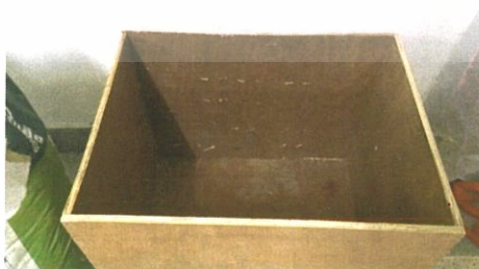
4.1 สร้างห้องจำลองจากวัสดุที่ต่างชนิดกัน



รูปที่ 4.1 แสดงห้องจำลองสร้างจากอิฐบล็อก ขนาด 0.45x0.55x0.40 ตารางเมตร



รูปที่ 4.2 ห้องจำลองสร้างจากอิฐมวลเบา ขนาด 0.45x0.55x0.40 ตารางเมตร



รูปที่ 4.3 ห้องจำลองสร้างจากไม้อัดแบบหนา ขนาด 0.44x0.60x0.40 ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วัดอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล์ด้านร้อนและด้านเย็น

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วย เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่1

t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$
0	25	26	115	38	5
5	27	-5	120	38	5
10	29	-4	125	38	5
15	30	-3	130	38	5
20	31	-2	135	38	6
25	32	-1	140	38	6
30	33	0	145	38	6
35	34	0	150	38	7
40	34	0	155	38	7
45	35	1	160	38	7
50	36	1	165	38	7
55	37	1	170	38	9
60	37	1	175	38	9
65	37	1	180	38	10
70	38	4	185	38	10
75	38	5	190	38	10
80	38	5	195	38	10
85	38	5	195	38	10
90	38	5	200	38	10
95	38	5	205	38	10
100	38	5	210	38	10
105	38	5	215	38	9
110	38	5	220	38	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วย เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่1 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
225	38	10	370	39	11
230	38	10	375	39	11
235	38	10	380	39	11
240	38	10	385	39	11
245	38	10	390	39	11
250	38	10	395	39	11
255	38	10	400	39	11
260	37	10	405	39	11
265	37	10	410	39	11
270	38	10	415	39	11
275	38	10	420	39	11
280	38	10	425	39	11
285	38	10	430	39	11
290	38	10	435	39	11
295	38	10	440	39	11
300	38	10	445	39	11
305	38	10	450	39	12
310	38	10	455	39	12
315	38	10	460	39	12
320	38	10	465	39	12
325	38	10	470	40	12
330	39	10	475	40	12
335	39	10	480	40	12
340	39	10			
345	39	10			
350	39	11			
355	39	11			
360	39	11			
365	39	11			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วย เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	26	26	145	38	6
5	27	-5	150	38	7
10	27	-5	155	38	7
15	29	-4	160	38	7
20	31	-2	165	38	7
25	31	-1	170	38	8
30	23	0	175	38	8
35	33	0	180	38	9
40	34	0	185	38	9
45	35	0	190	38	9
50	36	1	195	38	9
55	36	1	195	38	9
60	37	1	200	38	9
65	37	2	205	38	10
70	37	3	210	38	10
75	37	3	215	38	10
80	37	4	220	38	10
85	37	4	225	38	10
90	37	4	230	38	10
95	38	4	235	38	10
100	38	5	240	38	10
105	38	5	245	38	10
110	38	5	250	38	10
115	38	5	255	38	10
120	38	5	260	37	10
125	38	5	265	37	10
130	38	6	270	38	10
135	38	6	275	38	10
140	38	6	280	38	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วย เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่2 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
285	38	10	430	39	11
290	38	10	435	39	11
295	38	10	440	39	11
300	38	10	445	39	11
305	38	10	450	39	11
310	38	10	455	40	11
315	39	10	460	40	12
320	39	10	465	40	12
325	39	10	470	40	12
330	39	10	475	40	12
335	39	10	480	40	12
340	39	10			
345	39	10			
350	39	11			
355	39	11			
360	39	11			
365	39	11			
370	39	11			
375	39	11			
380	39	11			
385	39	11			
390	39	11			
395	39	11			
400	39	11			
405	39	11			
410	39	11			
415	39	11			
420	39	11			
425	39	11			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วย เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่3

t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$
0	26	26	145	38	7
5	27	-6	150	38	7
10	29	-5	155	38	7
15	30	-4	160	38	7
20	31	-3	165	38	7
25	32	-2	170	38	8
30	33	-1	175	38	8
35	33	-1	180	38	9
40	34	0	185	38	9
45	35	0	190	38	9
50	35	1	195	38	9
55	37	1	195	38	9
60	37	1	200	38	9
65	37	2	205	38	9
70	37	3	210	38	9
75	37	4	215	38	9
80	38	4	220	38	10
85	38	5	225	38	10
90	38	5	230	38	10
95	38	5	235	38	10
100	38	5	240	38	10
105	38	5	245	38	10
110	38	5	250	38	10
115	38	5	255	38	10
120	38	5	260	38	10
125	38	6	265	38	10
130	38	6	270	38	10
135	38	6	275	38	10
140	38	6	280	38	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วย เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่3 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
285	38	10	430	39	12
290	38	10	435	39	12
295	38	10	440	39	12
300	38	10	445	39	12
305	38	10	450	39	12
310	38	10	455	39	12
315	38	10	460	39	12
320	38	10	465	40	12
325	38	10	470	40	12
330	38	10	475	40	12
335	38	10	480	40	13
340	39	10			
345	39	10			
350	39	11			
355	39	11			
360	39	11			
365	39	11			
370	39	11			
375	39	11			
380	39	11			
385	39	11			
390	39	11			
395	39	11			
400	39	11			
405	39	11			
410	39	11			
415	39	11			
420	39	11			
425	39	11			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วย เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml

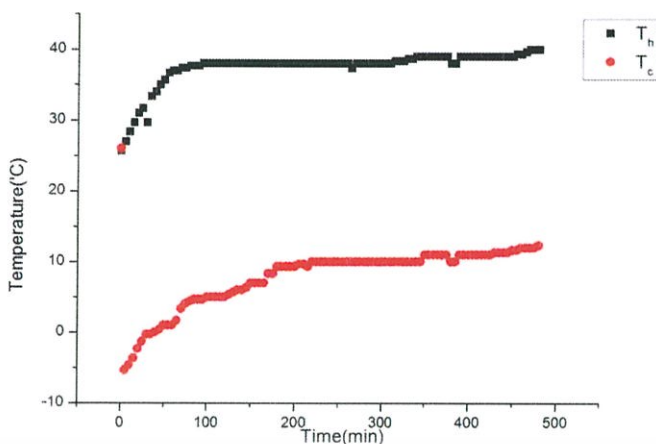
t(min)	T _{h_ave} (°C)	T _{c_ave} (°C)	t(min)	T _{h_ave} (°C)	T _{c_ave} (°C)
0	25.60	26.00	120	38	5.00
5	27.00	-5.30	125	38	5.30
10	28.30	-4.60	130	38	5.60
15	29.60	-3.60	135	38	6.00
20	31.00	-2.30	140	38	6.00
25	31.60	-1.30	145	38	6.30
30	29.60	-0.30	150	38	7.00
35	33.30	-0.30	155	38	7.00
40	34.00	0	160	38	7.00
45	35.00	0.30	165	38	7.00
50	35.60	1.00	170	38	8.30
55	36.60	1.00	175	38	8.30
60	37.00	1.00	180	38	9.30
65	37.00	1.60	185	38	9.30
70	37.30	3.30	190	38	9.30
75	37.30	4.00	195	38	9.30
80	37.60	4.30	195	38	9.30
85	37.60	4.60	200	38	9.30
90	37.60	4.60	205	38	9.60
95	38.00	4.60	210	38	9.60
100	38.00	5.00	215	38	9.30
105	38.00	5.00	220	38	10.00
110	38.00	5.00	225	38	10.00
115	38.00	5.00	230	38	10.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วย เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml (ต่อ)

t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)	t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)
235	38.00	10	380	39.00	11.00
240	38.00	10	385	39.00	11.00
245	38.00	10	390	39.00	11.00
250	38.00	10	395	39.00	11.00
255	38.00	10	400	39.00	11.00
260	38.00	10	405	39.00	11.00
265	37.30	10	410	39.00	11.00
270	38.00	10	415	39.00	11.00
275	38.00	10	420	39.00	11.00
280	38.00	10	425	39.00	11.00
285	38.00	10	430	39.00	11.30
290	38.00	10	435	39.00	11.30
295	38.00	10	440	39.00	11.30
300	38.00	10	445	39.00	11.30
305	38.00	10	450	39.00	11.60
310	38.00	10	455	39.30	11.60
315	38.30	10	460	39.30	12.00
320	38.30	10	465	39.60	12.00
325	38.30	10	470	40.00	12.00
330	38.60	10	475	40.00	12.00
335	38.60	10	480	40.00	12.30
340	39.00	10			
345	39.00	10			
350	39.00	11			
355	39.00	11			
360	39.00	11			
365	39.00	11			
370	39.00	11			
375	39.00	11			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วย เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุ 3 แอมแปร์ ในเวลา 8 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 1

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	27	27	115	39	0
5	27	6	120	39	0
10	28	5	125	39	0
15	29	5	130	40	0
20	30	3	135	40	1
25	30	3	140	41	1
30	31	3	145	41	1
35	31	3	150	41	1
40	32	1	155	41	2
45	33	1	160	41	2
50	33	0	165	41	2
55	34	0	170	41	2
60	35	0	175	42	2
65	35	0	180	42	2
70	36	0	185	42	2
75	36	0	190	42	2
80	36	0	195	42	2
85	36	0	200	42	4
90	37	0	205	43	4
95	38	0	210	43	5
100	38	0	215	43	5
105	39	0	220	43	5
110	39	0	225	43	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่1 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
230	43	5	380	45	9
235	43	5	385	45	9
240	44	5	390	45	9
245	44	6	395	45	9
250	44	6	400	45	9
255	44	6	405	45	9
260	44	6	410	45	9
265	44	6	415	45	9
270	44	7	420	45	9
275	44	7	425	45	9
280	44	7	430	45	9
285	44	7	435	45	9
290	44	7	440	45	9
295	44	7	445	45	9
300	44	7	450	45	9
305	44	7	455	45	9
310	44	7	460	45	9
315	44	8	465	45	9
320	44	8	470	45	9
325	44	8	475	45	9
330	44	8	480	45	9
335	44	8			
340	44	8			
345	44	8			
350	45	8			
355	45	9			
360	45	9			
365	45	9			
370	45	9			
375	45	9			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	27	26	145	36	1
5	27	6	150	36	1
10	28	5	155	36	1
15	28	4	160	37	1
20	29	3	165	38	1
25	29	3	170	38	2
30	30	2	175	38	2
35	30	2	180	39	2
40	31	2	185	40	2
45	31	1	190	40	2
50	32	1	195	41	2
55	32	1	200	41	3
60	32	1	205	42	3
65	32	0	210	42	3
70	33	0	215	42	3
75	33	0	220	43	4
80	33	0	225	43	4
85	34	0	230	43	4
90	34	0	235	43	4
95	34	0	240	43	5
100	34	0	245	43	5
105	34	0	250	43	5
110	34	0	255	44	6
115	35	0	260	44	6
120	35	0	265	44	6
125	35	0	270	44	6
130	35	0	275	44	6
135	26	0	280	44	6
140	36	0	285	44	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่2 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
290	44	6	435	45	9
295	44	7	440	45	9
300	44	7	445	45	9
305	44	7	450	45	9
310	44	7	455	45	9
315	44	7	460	45	9
320	44	7	465	45	9
325	44	7	470	45	9
330	44	7	475	45	9
335	44	7	480	45	9
340	44	8			
345	44	8			
350	44	8			
355	44	8			
360	44	8			
365	44	8			
370	44	8			
375	44	8			
380	44	8			
385	44	8			
390	44	8			
395	45	9			
400	45	9			
405	45	9			
410	45	9			
415	45	9			
420	45	9			
425	45	9			
430	45	9			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 3

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	27	27	145	41	1
5	28	4	150	41	1
10	29	3	155	41	2
15	29	3	160	41	2
20	29	3	165	41	2
25	30	3	170	41	2
30	30	2	175	42	2
35	31	2	180	42	2
40	31	2	185	42	2
45	31	1	190	42	2
50	31	1	195	42	2
55	32	1	200	42	3
60	32	0	205	43	3
65	33	0	210	43	3
70	36	0	215	43	3
75	36	0	220	43	4
80	36	0	225	43	4
85	36	0	230	43	4
90	37	0	235	43	4
95	38	0	240	44	4
100	38	0	245	44	5
105	39	0	250	44	5
110	39	0	255	44	5
115	39	0	260	44	5
120	39	0	265	44	5
125	39	0	270	44	5
130	40	0	275	44	6
135	40	1	280	44	6
140	41	1	285	44	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 3 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
290	44	6	435	45	9
295	44	6	440	45	9
300	44	7	445	45	9
305	44	7	450	45	9
310	44	7	455	45	9
315	44	7	460	45	9
320	44	7	465	45	9
325	44	7	470	45	10
330	44	8	475	45	10
335	44	8	480	45	10
340	44	8			
345	44	8			
350	45	8			
355	45	8			
360	45	8			
365	45	8			
370	45	8			
375	45	8			
380	45	8			
385	45	9			
390	45	9			
395	45	9			
400	45	9			
405	45	9			
410	45	9			
415	45	9			
420	45	9			
425	45	9			
430	45	9			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ตารางตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วยต่อขนานกัน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml

t(min)	$T_{h_{ave}}$ (°C)	$T_{c_{ave}}$ (°C)	t(min)	$T_{h_{ave}}$ (°C)	$T_{c_{ave}}$ (°C)
0	27.00	26.60	115	37.60	0
5	27.30	5.30	120	37.60	0
10	28.30	4.30	125	37.60	0
15	28.60	4.00	130	38.30	0
20	29.30	3.00	135	35.30	0.60
25	29.60	3.00	140	39.30	0.60
30	30.30	2.30	145	39.30	1.00
35	30.60	2.30	150	39.30	1.00
40	31.30	1.60	155	39.30	1.60
45	31.60	1.00	160	39.60	1.60
50	32.00	0.60	165	40.00	1.60
55	32.60	0.60	170	40.00	2.00
60	33.00	0.30	175	40.60	2.00
65	33.30	0	180	41.00	2.00
70	35.00	0	185	41.30	2.00
75	35.00	0	190	41.30	2.00
80	35.00	0	195	41.60	2.00
85	35.30	0	200	41.60	3.30
90	36.00	0	205	42.60	3.30
95	36.60	0	210	42.60	3.60
100	36.60	0	215	42.60	3.60
105	37.30	0	220	43.00	4.30
110	37.30	0	225	43.00	4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วยต่อ
ขนานกัน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์
10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml (ต่อ)

t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)	t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)
230	43.00	4.30	380	44.60	8.30
235	43.00	4.30	385	44.60	8.60
240	43.60	4.60	390	44.60	8.60
245	43.60	5.30	395	45.00	9.00
250	43.60	5.30	400	45.00	9.00
255	44.00	5.60	405	45.00	9.00
260	44.00	5.60	410	45.00	9.00
265	44.00	5.60	415	45.00	9.00
270	44.00	6.00	420	45.00	9.00
275	44.00	6.30	425	45.00	9.00
280	44.00	6.30	430	45.00	9.00
285	44.00	6.30	435	45.00	9.00
290	44.00	6.30	440	45.00	9.00
295	44.00	6.60	445	45.00	9.00
300	44.00	7.00	450	45.00	9.00
305	44.00	7.00	455	45.00	9.00
310	44.00	7.00	460	45.00	9.00
315	44.00	7.30	465	45.00	9.00
320	44.00	7.30	470	45.00	9.30
325	44.00	7.30	475	45.00	9.30
330	44.00	7.60	480	45.00	9.30
335	44.00	7.60			
340	44.00	8.00			
345	44.00	8.00			
350	44.60	8.00			
355	44.60	8.30			
360	44.60	8.30			
365	44.60	8.30			
370	44.60	8.30			
375	44.60	8.30			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 1

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	27	27	115	39	0
5	27	6	120	39	0
10	28	5	125	39	0
15	29	5	130	40	0
20	30	3	135	40	1
25	30	3	140	41	1
30	31	3	145	41	1
35	31	3	150	41	1
40	32	1	155	41	2
45	33	1	160	41	2
50	33	0	165	41	2
55	34	0	170	41	2
60	35	0	175	42	2
65	35	0	180	42	2
70	36	0	185	42	2
75	36	0	190	42	2
80	36	0	195	42	2
85	36	0	200	42	4
90	37	0	205	43	4
95	38	0	210	43	5
100	38	0	215	43	5
105	39	0	220	43	5
110	39	0	225	43	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่1 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
230	43	5	380	45	9
235	43	5	385	45	9
240	44	5	390	45	9
245	44	6	395	45	9
250	44	6	400	45	9
255	44	6	405	45	9
260	44	6	410	45	9
265	44	6	415	45	9
270	44	7	420	45	9
275	44	7	425	45	9
280	44	7	430	45	9
285	44	7	435	45	9
290	44	7	440	45	9
295	44	7	445	45	9
300	44	7	450	45	9
305	44	7	455	45	9
310	44	7	460	45	9
315	44	8	465	45	9
320	44	8	470	45	9
325	44	8	475	45	9
330	44	8	480	45	9
335	44	8			
340	44	8			
345	44	8			
350	45	8			
355	45	9			
360	45	9			
365	45	9			
370	45	9			
375	45	9			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2

t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$
0	27	26	145	36	1
5	27	6	150	36	1
10	28	5	155	36	1
15	28	4	160	37	1
20	29	3	165	38	1
25	29	3	170	38	2
30	30	2	175	38	2
35	30	2	180	39	2
40	31	2	185	40	2
45	31	1	190	40	2
50	32	1	195	41	2
55	32	1	200	41	3
60	32	1	205	42	3
65	32	0	210	42	3
70	33	0	215	42	3
75	33	0	220	43	4
80	33	0	225	43	4
85	34	0	230	43	4
90	34	0	235	43	4
95	34	0	240	43	5
100	34	0	245	43	5
105	34	0	250	43	5
110	34	0	255	44	6
115	35	0	260	44	6
120	35	0	265	44	6
125	35	0	270	44	6
130	35	0	275	44	6
135	26	0	280	44	6
140	36	0	285	44	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
290	44	6	435	45	9
295	44	7	440	45	9
300	44	7	445	45	9
305	44	7	450	45	9
310	44	7	455	45	9
315	44	7	460	45	9
320	44	7	465	45	9
325	44	7	470	45	9
330	44	7	475	45	9
335	44	7	480	45	9
340	44	8			
345	44	8			
350	44	8			
355	44	8			
360	44	8			
365	44	8			
370	44	8			
375	44	8			
380	44	8			
385	44	8			
390	44	8			
395	45	9			
400	45	9			
405	45	9			
410	45	9			
415	45	9			
420	45	9			
425	45	9			
430	45	9			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 3

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	27	27	145	41	1
5	28	4	150	41	1
10	29	3	155	41	2
15	29	3	160	41	2
20	29	3	165	41	2
25	30	3	170	41	2
30	30	2	175	42	2
35	31	2	180	42	2
40	31	2	185	42	2
45	31	1	190	42	2
50	31	1	195	42	2
55	32	1	200	42	3
60	32	0	205	43	3
65	33	0	210	43	3
70	36	0	215	43	3
75	36	0	220	43	4
80	36	0	225	43	4
85	36	0	230	43	4
90	37	0	235	43	4
95	38	0	240	44	4
100	38	0	245	44	5
105	39	0	250	44	5
110	39	0	255	44	5
115	39	0	260	44	5
120	39	0	265	44	5
125	39	0	270	44	5
130	40	0	275	44	6
135	40	1	280	44	6
140	41	1	285	44	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่3 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
290	44	6	435	45	9
295	44	6	440	45	9
300	44	7	445	45	9
305	44	7	450	45	9
310	44	7	455	45	9
315	44	7	460	45	9
320	44	7	465	45	9
325	44	7	470	45	10
330	44	8	475	45	10
335	44	8	480	45	10
340	44	8			
345	44	8			
350	45	8			
355	45	8			
360	45	8			
365	45	8			
370	45	8			
375	45	8			
380	45	8			
385	45	9			
390	45	9			
395	45	9			
400	45	9			
405	45	9			
410	45	9			
415	45	9			
420	45	9			
425	45	9			
430	45	9			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย
ต่ออนุกรมกัน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความ
ต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml

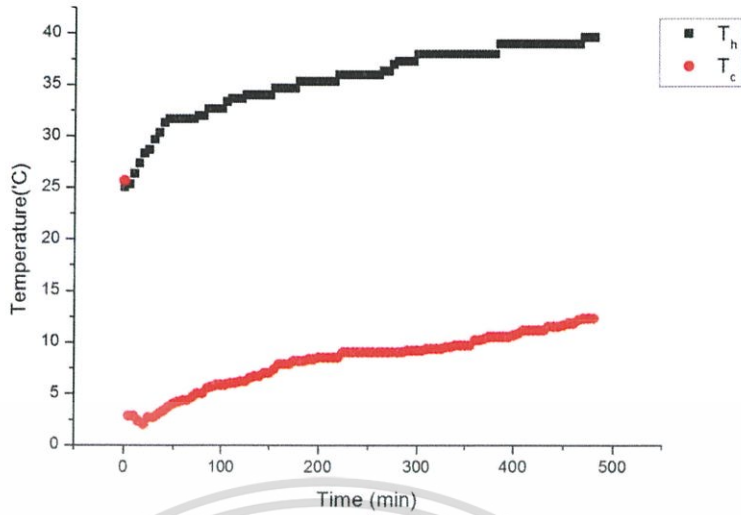
t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)	t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)
0	27.00	26.60	115	37.66	0
5	27.30	5.33	120	37.66	0
10	28.30	4.33	125	37.66	0
15	28.60	4.00	130	38.33	0
20	29.30	3.00	135	35.33	0.66
25	29.66	3.00	140	39.33	0.66
30	30.33	2.33	145	39.33	1.00
35	30.66	2.33	150	39.33	1.00
40	31.33	1.66	155	39.33	1.66
45	31.66	1.00	160	39.66	1.66
50	32.00	0.66	165	40.00	1.66
55	32.66	0.66	170	40.00	2.00
60	33.00	0.33	175	40.66	2.00
65	33.33	0	180	41.00	2.00
70	35.00	0	185	41.33	2.00
75	35.00	0	190	41.33	2.00
80	35.00	0	195	41.66	2.00
85	35.33	0	200	41.66	3.33
90	36.00	0	205	42.66	3.33
95	36.66	0	210	42.66	3.66
100	36.66	0	215	42.66	3.66
105	37.33	0	220	43.00	4.33
110	37.33	0	225	43.00	4.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

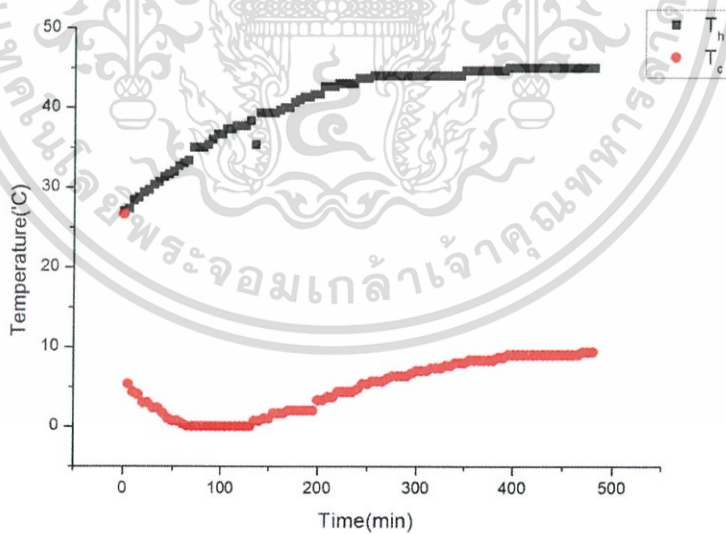
ตารางที่ 4.12 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วย ต่ออนุกรมกัน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml (ต่อ)

t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)	t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)
230	43.00	4.33	380	44.66	8.33
235	43.00	4.33	385	44.66	8.66
240	43.66	4.66	390	44.66	8.66
245	43.66	5.33	395	45.00	9.00
250	43.66	5.33	400	45.00	9.00
255	44.00	5.66	405	45.00	9.00
260	44.00	5.66	410	45.00	9.00
265	44.00	5.66	415	45.00	9.00
270	44.00	6.00	420	45.00	9.00
275	44.00	6.33	425	45.00	9.00
280	44.00	6.33	430	45.00	9.00
285	44.00	6.33	435	45.00	9.00
290	44.00	6.33	440	45.00	9.00
295	44.00	6.66	445	45.00	9.00
300	44.00	7.00	450	45.00	9.00
305	44.00	7.00	455	45.00	9.00
310	44.00	7.00	460	45.00	9.00
315	44.00	7.33	465	45.00	9.00
320	44.00	7.33	470	45.00	9.33
325	44.00	7.33	475	45.00	9.33
330	44.00	7.66	480	45.00	9.33
335	44.00	7.66			
340	44.00	8.00			
345	44.00	8.00			
350	44.66	8.00			
355	44.66	8.33			
360	44.66	8.33			
365	44.66	8.33			
370	44.66	8.33			
375	44.66	8.33			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วยต่อขนานกัน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุ 3 แอมแปร์ ในเวลา 8 ชั่วโมง



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วยต่ออนุกรมกัน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุ 3 แอมแปร์ ในเวลา 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่1

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	28	27	115	33	12
5	29	9	120	34	12
10	29	9	125	34	12
15	30	10	130	34	12
20	30	10	135	34	12
25	30	10	140	34	13
30	31	10	145	35	13
35	31	10	150	35	13
40	31	10	155	35	13
45	31	11	160	35	13
50	32	11	165	35	13
55	32	11	170	35	13
60	32	11	175	35	13
65	32	11	180	35	13
70	32	11	185	35	13
75	32	11	190	35	13
80	32	11	195	35	13
85	32	11	200	35	13
90	32	11	205	35	13
95	32	11	210	35	13
100	32	11	215	35	13
105	33	12	220	35	13
110	33	12	225	35	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
230	35	13	380	36	13
235	35	13	385	36	13
240	35	13	390	36	13
245	35	13	395	36	13
250	35	13	400	36	13
255	35	13	405	36	13
260	35	13	410	36	13
265	35	13	415	36	13
270	35	13	420	36	13
275	35	13	425	36	13
280	35	13	430	36	13
285	35	13	435	36	13
290	35	13	440	36	13
295	35	13	445	36	13
300	35	13	450	36	13
305	35	13	455	36	13
310	35	13	460	36	13
315	35	13	465	36	13
320	35	13	470	36	13
325	35	13	475	36	13
330	35	13	480	36	14
335	35	13			
340	35	13			
345	35	13			
350	36	13			
355	36	13			
360	36	13			
365	36	13			
370	36	13			
375	36	13			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	27	27	145	34	13
5	28	8	150	35	12
10	29	8	155	35	12
15	29	9	160	35	13
20	30	9	165	35	13
25	30	10	170	35	13
30	30	10	175	35	13
35	31	10	180	35	13
40	31	10	185	35	13
45	31	10	190	35	13
50	31	10	195	35	13
55	31	11	200	35	13
60	31	11	205	35	13
65	31	11	210	35	13
70	32	11	215	35	13
75	32	11	220	35	13
80	32	11	225	35	13
85	32	11	230	35	13
90	32	11	235	35	13
95	32	11	240	35	13
100	32	11	245	35	13
105	33	12	250	35	13
110	33	12	255	35	13
115	33	12	260	35	13
120	33	12	265	35	13
125	33	12	270	35	13
130	34	12	275	35	13
135	34	12	280	35	13
140	34	12	285	35	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
290	35	13	435	36	13
295	35	13	440	36	13
300	35	13	445	36	13
305	35	13	450	36	13
310	35	13	455	36	14
315	35	13	460	36	14
320	35	13	465	37	14
325	35	13	470	37	14
330	35	13	475	37	14
335	35	13	480	37	14
340	35	13			
345	35	13			
350	35	13			
355	36	13			
360	36	13			
365	36	13			
370	36	13			
375	36	13			
380	36	13			
385	36	13			
390	36	13			
395	36	13			
400	36	13			
405	36	13			
410	36	13			
415	36	13			
420	36	13			
425	36	13			
430	36	13			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 3

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	28	27	145	35	12
5	29	9	150	35	12
10	29	9	155	35	13
15	30	10	160	35	13
20	30	10	165	35	13
25	30	10	170	35	13
30	31	10	175	35	13
35	31	10	180	35	13
40	31	10	185	35	13
45	31	11	190	35	13
50	32	11	195	35	13
55	32	11	200	35	13
60	32	11	205	35	13
65	32	11	210	35	13
70	32	11	215	35	13
75	32	11	220	35	13
80	32	11	225	35	13
85	32	11	230	35	13
90	32	11	235	35	13
95	32	11	240	35	13
100	32	11	245	35	13
105	33	12	250	35	13
110	33	12	255	35	13
115	33	12	260	35	13
120	34	12	265	35	13
125	34	12	270	35	13
130	34	12	275	35	13
135	34	12	280	35	13
140	34	12	285	35	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 20.6 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 3 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
290	35	13	435	36	13
295	35	13	440	36	13
300	35	13	445	36	13
305	35	13	450	36	13
310	35	13	455	36	13
315	35	13	460	36	13
320	35	13	465	36	13
325	35	13	470	37	13
330	35	13	475	37	13
335	35	13	480	38	13
340	35	13			
345	35	13			
350	36	13			
355	36	13			
360	36	13			
365	36	13			
370	36	13			
375	36	13			
380	36	13			
385	36	13			
390	36	13			
395	36	13			
400	36	13			
405	36	13			
410	36	13			
415	36	13			
420	36	13			
425	36	13			
430	36	13			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml

t(min)	$T_{h_{ave}}$ (°C)	$T_{c_{ave}}$ (°C)	t(min)	$T_{h_{ave}}$ (°C)	$T_{c_{ave}}$ (°C)
0	27.66	27	115	33.00	12.00
5	28.66	8.66	120	33.66	12.00
10	29.00	8.66	125	33.66	12.00
15	29.66	9.66	130	34.00	12.00
20	30.00	9.66	135	34.00	12.00
25	30.00	10.00	140	34.00	12.33
30	30.66	10.00	145	34.66	12.66
35	31.00	10.00	150	35.00	12.33
40	31.00	10.00	155	35.00	12.66
45	31.00	10.66	160	35.00	13.00
50	31.66	10.66	165	35.00	13.00
55	31.66	11.00	170	35.00	13.00
60	31.66	11.00	175	35.00	13.00
65	31.66	11.00	180	35.00	13.00
70	32.00	11.00	185	35.00	13.00
75	32.00	11.00	190	35.00	13.00
80	32.00	11.00	195	35.00	13.00
85	32.00	11.00	200	35.00	13.00
90	32.00	11.00	205	35.00	13.00
95	32.00	11.00	210	35.00	13.00
100	32.00	11.00	215	35.00	13.00
105	33.00	12.00	220	35.00	13.00
110	33.00	12.00	225	35.00	13.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml (ต่อ)

t(min)	$T_{h_{ave}}$ (°C)	$T_{c_{ave}}$ (°C)	t(min)	$T_{h_{ave}}$ (°C)	$T_{c_{ave}}$ (°C)
230	35.00	13	380	36.00	13.00
235	35.00	13	385	36.00	13.00
240	35.00	13	390	36.00	13.00
245	35.00	13	395	36.00	13.00
250	35.00	13	400	36.00	13.00
255	35.00	13	405	36.00	13.00
260	35.00	13	410	36.00	13.00
265	35.00	13	415	36.00	13.00
270	35.00	13	420	36.00	13.00
275	35.00	13	425	36.00	13.00
280	35.00	13	430	36.00	13.00
285	35.00	13	435	36.00	13.00
290	35.00	13	440	36.00	13.00
295	35.00	13	445	36.00	13.00
300	35.00	13	450	36.00	13.00
305	35.00	13	455	36.00	13.33
310	35.00	13	460	36.00	13.33
315	35.00	13	465	36.33	13.33
320	35.00	13	470	36.66	13.33
325	35.00	13	475	36.66	13.33
330	35.00	13	480	37.00	13.66
335	35.00	13			
340	35.00	13			
345	35.00	13			
350	35.66	13			
355	36.00	13			
360	36.00	13			
365	36.00	13			
370	36.00	13			
375	36.00	13			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 1

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	26	25	115	31	8
5	26	5	120	32	8
10	26	6	125	32	8
15	27	6	130	32	8
20	27	6	135	32	8
25	28	6	140	32	8
30	28	7	145	32	8
35	28	7	150	32	8
40	29	7	155	32	8
45	29	7	160	32	8
50	29	7	165	33	8
55	29	7	170	33	8
60	29	7	175	33	9
65	30	7	180	33	9
70	30	7	185	33	9
75	30	7	190	33	9
80	30	7	195	33	9
85	31	7	200	33	9
90	31	7	205	33	9
95	31	8	210	33	9
100	31	8	215	33	9
105	31	8	220	33	9
110	31	8	225	33	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
230	34	9	380	34	11
235	34	9	385	34	11
240	34	9	390	34	11
245	34	9	395	35	11
250	34	9	400	35	11
255	34	9	405	35	11
260	34	9	410	35	11
265	34	9	415	35	11
270	34	9	420	35	11
275	34	9	425	35	12
280	34	9	430	35	12
285	34	9	435	35	12
290	34	9	440	35	12
295	34	9	445	35	12
300	34	10	450	35	12
305	34	10	455	35	12
310	34	10	460	35	12
315	34	10	465	35	12
320	34	10	470	35	12
325	34	10	475	35	12
330	34	10	480	35	12
335	34	10			
340	34	10			
345	34	10			
350	34	10			
355	34	10			
360	34	10			
365	34	11			
370	34	11			
375	34	11			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ตารางบันทึกอุณหภูมิต้านร้อนและอุณหภูมิต้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	26	25	145	32	8
5	27	4	150	32	8
10	28	5	155	32	8
15	28	5	160	32	8
20	28	6	165	32	8
25	28	6	170	32	8
30	29	6	175	32	9
35	29	6	180	32	9
40	29	6	185	32	9
45	29	7	190	33	9
50	29	7	195	33	9
55	29	7	200	33	9
60	30	7	205	33	9
65	30	7	210	33	9
70	30	7	215	33	9
75	30	7	220	33	9
80	30	7	225	33	9
85	31	7	230	34	9
90	31	7	235	34	9
95	31	8	240	34	9
100	31	8	245	34	9
105	31	8	250	34	9
110	31	8	255	34	9
115	31	8	260	34	9
120	32	8	265	34	9
125	32	8	270	34	9
130	32	8	275	34	9
135	32	8	280	34	9
140	32	8	285	34	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
290	34	10	435	35	11
295	34	10	440	35	12
300	34	10	445	35	12
305	34	10	450	35	12
310	34	10	455	35	12
315	34	10	460	35	12
320	34	10	465	35	12
325	34	10	470	35	12
330	34	10	475	36	12
335	34	10	480	36	12
340	34	10			
345	34	10			
350	34	11			
355	34	11			
360	34	11			
365	34	11			
370	34	11			
375	34	11			
380	34	11			
385	34	11			
390	34	11			
395	35	11			
400	35	11			
405	35	11			
410	35	11			
415	35	11			
420	35	11			
425	35	11			
430	35	11			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 3

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	27	25	145	32	8
5	27	5	150	32	8
10	27	5	155	32	8
15	27	5	160	32	8
20	27	6	165	33	8
25	28	6	170	33	8
30	28	6	175	33	9
35	28	6	180	33	9
40	29	6	185	33	9
45	29	6	190	33	9
50	29	7	195	33	9
55	29	7	200	33	9
60	29	7	205	33	9
65	29	7	210	33	9
70	30	7	215	33	9
75	30	7	220	33	9
80	30	7	225	33	9
85	30	7	230	34	9
90	30	7	235	34	9
95	30	8	240	34	9
100	30	8	245	34	9
105	31	8	250	34	9
110	31	8	255	34	9
115	31	8	260	34	9
120	32	8	265	34	9
125	32	8	270	34	9
130	32	8	275	34	9
135	32	8	280	34	9
140	32	8	285	34	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 3 (ต่อ)

t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$
290	34	9	435	35	12
295	34	9	440	35	12
300	34	10	445	35	12
305	34	10	450	35	12
310	34	10	455	35	12
315	34	10	460	35	12
320	34	10	465	35	12
325	34	10	470	35	12
330	34	10	475	35	12
335	34	10	480	35	12
340	34	10			
345	34	10			
350	34	10			
355	34	10			
360	34	10			
365	34	11			
370	34	11			
375	34	11			
380	34	11			
385	34	11			
390	34	11			
395	34	11			
400	34	11			
405	35	11			
410	35	11			
415	35	11			
420	35	11			
425	35	12			
430	35	12			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วย ต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml

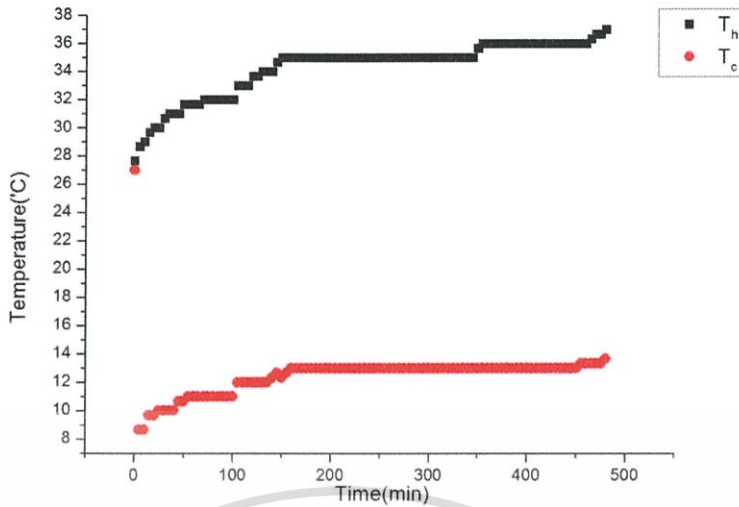
t(min)	$T_{h_{ave}}$ (°C)	$T_{c_{ave}}$ (°C)	t(min)	$T_{h_{ave}}$ (°C)	$T_{c_{ave}}$ (°C)
0	26.33	25.00	115	31.00	8.00
5	26.66	4.66	120	32.00	8.00
10	27.00	5.33	125	32.00	8.00
15	27.33	5.33	130	32.00	8.00
20	27.33	6.00	135	32.00	8.00
25	28.00	6.00	140	32.00	8.00
30	28.33	6.33	145	32.00	8.00
35	28.33	6.33	150	32.00	8.00
40	29.00	6.33	155	32.00	8.00
45	29.00	6.66	160	32.00	8.00
50	29.00	7.00	165	32.66	8.00
55	29.00	7.00	170	32.66	8.00
60	29.33	7.00	175	32.66	9.00
65	29.66	7.00	180	32.66	9.00
70	30.00	7.00	185	32.66	9.00
75	30.00	7.00	190	33.00	9.00
80	30.00	7.00	195	33.00	9.00
85	30.66	7.00	200	33.00	9.00
90	30.66	7.00	205	33.00	9.00
95	30.66	8.00	210	33.00	9.00
100	30.66	8.00	215	33.00	9.00
105	31.00	8.00	220	33.00	9.00
110	31.00	8.00	225	33.00	9.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

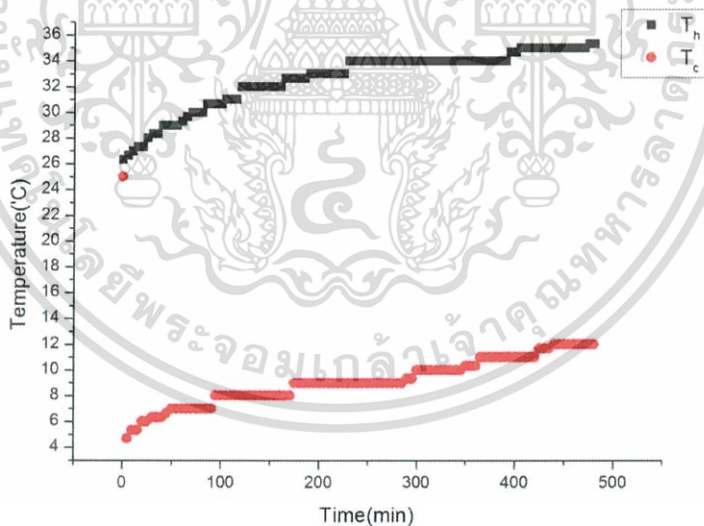
ตารางที่ 4.20 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วย ต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml (ต่อ)

t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)	t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)
230	34	9.00	380	34.00	11.00
235	34	9.00	385	34.00	11.00
240	34	9.00	390	34.00	11.00
245	34	9.00	395	34.66	11.00
250	34	9.00	400	34.66	11.00
255	34	9.00	405	35.00	11.00
260	34	9.00	410	35.00	11.00
265	34	9.00	415	35.00	11.00
270	34	9.00	420	35.00	11.00
275	34	9.00	425	35.00	11.66
280	34	9.00	430	35.00	11.66
285	34	9.00	435	35.00	11.66
290	34	9.33	440	35.00	12.00
295	34	9.33	445	35.00	12.00
300	34	10.00	450	35.00	12.00
305	34	10.00	455	35.00	12.00
310	34	10.00	460	35.00	12.00
315	34	10.00	465	35.00	12.00
320	34	10.00	470	35.00	12.00
325	34	10.00	475	35.33	12.00
330	34	10.00	480	35.33	12.00
335	34	10.00			
340	34	10.00			
345	34	10.00			
350	34	10.33			
355	34	10.33			
360	34	10.33			
365	34	11.00			
370	34	11.00			
375	34	11.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยต่อขนานกัน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุ 3 แอมแปร์ ในเวลา 8 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยต่ออนุกรมกัน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุ 3 แอมแปร์ ในเวลา 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่1

t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$
0	25	25	115	41	14
5	27	3	120	41	14
10	29	4	125	42	14
15	31	6	130	42	14
20	32	7	135	42	14
25	33	8	140	42	14
30	35	9	145	42	14
35	35	9	150	42	14
40	36	10	155	42	14
45	37	11	160	42	15
50	37	11	165	42	15
55	38	12	170	42	15
60	38	12	175	42	15
65	39	12	180	42	14
70	39	13	185	42	14
75	39	13	190	42	14
80	40	13	195	42	14
85	40	13	200	42	14
90	40	13	205	42	14
95	41	14	210	42	14
100	41	14	215	42	14
105	41	14	220	42	15
110	41	14	225	42	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
230	42	15	380	39	15
235	42	15	385	39	15
240	42	15	390	39	15
245	41	15	395	39	15
250	41	15	400	39	15
255	41	15	405	39	15
260	39	15	410	39	15
265	39	15	415	39	15
270	39	16	420	39	15
275	39	15	425	39	15
280	39	15	430	39	15
285	39	15	435	39	15
290	39	15	440	39	15
295	39	15	445	39	15
300	39	15	450	39	15
305	39	15	455	39	15
310	39	15	460	39	15
315	39	15	465	39	15
320	39	15	470	39	15
325	39	15	475	39	15
330	39	15	480	39	15
335	39	15			
340	39	15			
345	39	15			
350	39	15			
355	39	15			
360	39	15			
365	39	15			
370	39	15			
375	39	15			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	26	26	145	42	14
5	27	2	150	42	14
10	28	3	155	42	14
15	29	3	160	42	14
20	30	3	165	42	14
25	31	4	170	42	14
30	32	5	175	42	14
35	33	6	180	42	14
40	34	6	185	42	14
45	34	7	190	42	14
50	34	8	195	42	14
55	35	9	200	42	14
60	36	9	205	42	14
65	38	11	210	42	14
70	39	11	215	42	14
75	39	11	220	42	14
80	39	12	225	42	14
85	40	13	230	42	14
90	40	13	235	42	14
95	40	13	240	42	14
100	41	13	245	42	14
105	41	13	250	42	14
110	41	13	255	42	14
115	42	13	260	42	14
120	42	13	265	42	15
125	42	13	270	42	16
130	42	13	275	42	15
135	42	14	280	42	15
140	42	14	285	42	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่2 (ต่อ)

t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	t(min)	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$
290	42	15	435	42	15
295	42	15	440	42	15
300	42	15	445	42	15
305	42	15	450	42	15
310	42	15	455	42	15
315	42	15	460	42	15
320	42	15	465	42	16
325	42	15	470	42	16
330	42	15	475	42	16
335	42	15	480	42	16
340	42	15			
345	42	15			
350	42	15			
355	42	15			
360	42	15			
365	42	15			
370	42	15			
375	42	15			
380	42	15			
385	42	15			
390	42	15			
395	42	15			
400	42	15			
405	42	15			
410	42	15			
415	42	15			
420	42	15			
425	42	15			
430	42	15			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 3

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	25	25	145	42	14
5	27	4	150	42	14
10	28	3	155	42	14
15	29	3	160	42	15
20	30	5	165	42	15
25	31	5	170	42	15
30	32	6	175	42	15
35	32	8	180	42	15
40	33	10	185	42	15
45	34	10	190	42	15
50	35	10	195	42	15
55	36	12	200	42	15
60	36	12	205	42	15
65	38	12	210	42	15
70	39	13	215	42	15
75	39	13	220	42	15
80	39	13	225	42	15
85	39	13	230	42	15
90	39	13	235	42	15
95	39	13	240	42	15
100	40	13	245	41	15
105	40	14	250	41	15
110	41	14	255	41	15
115	41	14	260	42	15
120	41	14	265	42	15
125	41	14	270	42	16
130	41	14	275	42	15
135	41	14	280	42	15
140	41	14	285	42	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่3 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°c)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°c)
290	42	15	435	42	15
295	42	15	440	42	15
300	42	15	445	42	15
305	42	15	450	42	15
310	42	15	455	42	15
315	42	15	460	42	16
320	42	15	465	43	16
325	42	15	470	43	16
330	42	15	475	43	16
335	42	15	480	43	16
340	42	15			
345	42	15			
350	42	15			
355	42	15			
360	42	15			
365	42	15			
370	42	15			
375	42	15			
380	42	15			
385	42	15			
390	42	15			
395	42	15			
400	42	15			
405	42	15			
410	42	15			
415	42	15			
420	42	15			
425	42	15			
430	42	15			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml

t(min)	$T_{h_{ave}}$ (°C)	$T_{c_{ave}}$ (°C)	t(min)	$T_{h_{ave}}$ (°C)	$T_{c_{ave}}$ (°C)
0	25.33	25.33	115	41.33	13.66
5	27.00	3.00	120	41.33	13.66
10	28.33	3.33	125	41.66	13.66
15	29.66	4.00	130	41.66	13.66
20	30.66	5.00	135	41.66	14.00
25	31.66	5.66	140	41.66	14.00
30	33.00	6.66	145	42.00	14.00
35	33.33	7.66	150	42.00	14.00
40	34.33	8.66	155	42.00	14.00
45	35.00	9.33	160	42.00	14.66
50	35.33	9.66	165	42.00	14.66
55	36.33	11.00	170	42.00	14.66
60	36.66	11.00	175	42.00	14.66
65	38.33	11.66	180	42.00	14.33
70	39.00	12.33	185	42.00	14.33
75	39.00	12.33	190	42.00	14.33
80	39.33	12.66	195	42.00	14.33
85	39.66	13.00	200	42.00	14.33
90	39.66	13.00	205	42.00	14.33
95	40.00	13.33	210	42.00	14.33
100	40.66	13.33	215	42.00	14.33
105	40.66	13.66	220	42.00	14.66
110	41.00	13.66	225	42.00	14.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วย ต่อขนาน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml (ต่อ)

t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)	t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)
230	42.00	14.66	380	41.00	15.00
235	42.00	14.66	385	41.00	15.00
240	42.00	14.66	390	41.00	15.00
245	41.33	14.66	395	41.00	15.00
250	41.33	14.66	400	41.00	15.00
255	41.33	14.66	405	41.00	15.00
260	41.00	14.66	410	41.00	15.00
265	41.00	15.00	415	41.00	15.00
270	41.00	15.00	420	41.00	15.00
275	41.00	15.00	425	41.00	15.00
280	41.00	15.00	430	41.00	15.00
285	41.00	15.00	435	41.00	15.00
290	41.00	15.00	440	41.00	15.00
295	41.00	15.00	445	41.00	15.00
300	41.00	15.00	450	41.00	15.00
305	41.00	15.00	455	41.00	15.00
310	41.00	15.00	460	41.00	15.33
315	41.00	15.00	465	41.33	15.66
320	41.00	15.00	470	41.33	15.66
325	41.00	15.00	475	41.33	15.66
330	41.00	15.00	480	41.33	15.66
335	41.00	15.00			
340	41.00	15.00			
345	41.00	15.00			
350	41.00	15.00			
355	41.00	15.00			
360	41.00	15.00			
365	41.00	15.00			
370	41.00	15.00			
375	41.00	15.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 1

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	27	27	115	34	7
5	27	4	120	35	7
10	28	5	125	35	7
15	29	5	130	35	7
20	29	6	135	35	8
25	30	6	140	35	8
30	30	6	145	35	8
35	30	6	150	36	8
40	31	6	155	36	8
45	31	6	160	36	8
50	31	6	165	36	9
55	32	6	170	37	9
60	32	6	175	37	9
65	32	6	180	37	9
70	32	6	185	37	9
75	33	6	190	37	9
80	33	6	195	37	10
85	33	7	200	37	10
90	33	7	205	38	10
95	34	7	210	39	11
100	34	7	215	39	11
105	34	7	220	40	12
110	34	7	225	40	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
230	40	13	380	46	15
235	40	13	385	46	15
240	42	13	390	46	15
245	42	13	395	46	15
250	42	13	400	46	15
255	42	13	405	46	16
260	43	13	410	46	16
265	43	13	415	46	16
270	43	13	420	46	16
275	43	14	425	46	16
280	43	14	430	46	16
285	43	14	435	46	16
290	43	14	440	46	16
295	43	14	445	46	16
300	43	14	450	46	16
305	43	14	455	46	16
310	43	14	460	46	16
315	44	14	465	46	16
320	45	14	470	46	16
325	45	14	475	47	17
330	45	14	480	47	17
335	46	15			
340	46	15			
345	46	15			
350	46	15			
355	46	15			
360	46	15			
365	46	15			
370	46	15			
375	46	15			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	27	27	145	35	8
5	28	4	150	35	8
10	29	4	155	36	8
15	29	3	160	36	8
20	30	5	165	36	9
25	30	6	170	36	9
30	30	6	175	36	9
35	30	6	180	37	9
40	30	6	185	37	9
45	31	6	190	37	9
50	31	6	195	37	10
55	32	6	200	37	10
60	32	6	205	38	10
65	32	6	210	38	11
70	32	6	215	38	11
75	33	6	220	39	12
80	33	7	225	39	12
85	34	7	230	39	13
90	34	7	235	40	13
95	34	7	240	40	13
100	34	7	245	40	13
105	34	7	250	40	13
110	35	7	255	41	13
115	35	7	260	41	14
120	35	7	265	42	14
125	35	7	270	42	14
130	35	7	275	43	14
135	35	8	280	43	14
140	35	8	285	43	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
290	43	14	435	46	16
295	43	14	440	46	16
300	43	14	445	46	16
305	43	14	450	46	16
310	43	14	455	47	16
315	44	14	460	47	16
320	45	14	465	47	16
325	45	14	470	47	16
330	45	14	475	47	16
335	45	15	480	47	16
340	45	15			
345	45	15			
350	45	15			
355	45	15			
360	46	15			
365	46	15			
370	46	15			
375	46	15			
380	46	15			
385	46	15			
390	46	15			
395	46	16			
400	46	16			
405	46	16			
410	46	16			
415	46	16			
420	46	16			
425	46	16			
430	46	16			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 3

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
0	26	26	145	36	8
5	27	4	150	36	8
10	28	5	155	36	8
15	29	5	160	36	8
20	29	5	165	36	9
25	29	5	170	36	9
30	29	6	175	36	9
35	30	6	180	36	9
40	30	6	185	37	9
45	31	6	190	37	9
50	31	6	195	37	10
55	32	6	200	37	10
60	32	6	205	38	10
65	32	6	210	38	11
70	32	6	215	38	11
75	33	6	220	38	11
80	33	6	225	39	11
85	33	7	230	39	11
90	33	7	235	40	11
95	33	7	240	42	11
100	33	7	245	42	11
105	33	7	250	42	11
110	33	7	255	42	11
115	34	8	260	43	11
120	35	8	265	43	11
125	35	8	270	43	13
130	35	8	275	43	13
135	35	8	280	43	13
140	35	8	285	43	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 ตารางบันทึกอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml ทดลองครั้งที่ 3 (ต่อ)

t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)	t(min)	T _h (°C)	T _c (°C)
290	43	14	435	46	16
295	43	14	440	46	16
300	43	14	445	46	16
305	43	14	450	46	16
310	43	14	455	46	16
315	44	14	460	47	16
320	45	14	465	47	16
325	45	14	470	47	16
330	45	14	475	47	15
335	46	15	480	47	16
340	46	15			
345	46	15			
350	46	15			
355	46	15			
360	46	15			
365	46	15			
370	46	15			
375	46	15			
380	46	15			
385	46	15			
390	46	15			
395	46	15			
400	46	15			
405	46	15			
410	46	15			
415	46	15			
420	46	15			
425	46	15			
430	46	15			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วย ต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml

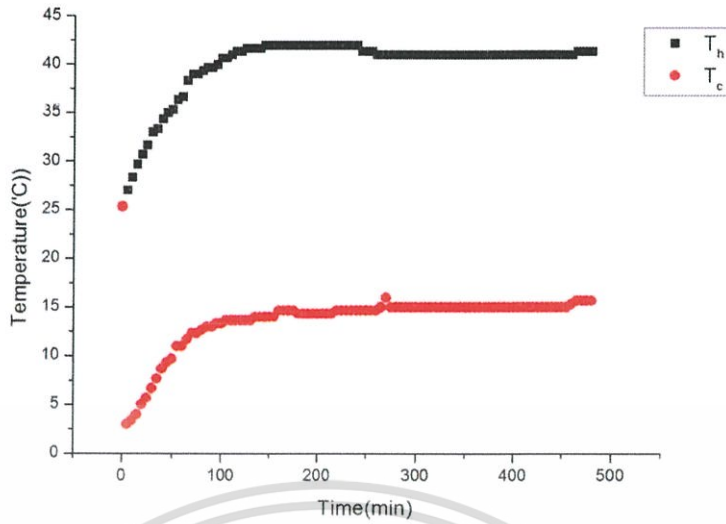
t(min)	$T_{h_{mc}}$	$T_{c_{ave}}$	t(min)	$T_{h_{ave}}$	$T_{c_{ave}}$
0	26.60	26.60	115	34.30	7.30
5	27.30	4.00	120	35.00	7.30
10	28.30	4.60	125	35.00	7.30
15	29.00	4.30	130	35.00	7.30
20	29.30	5.30	135	35.00	8.00
25	29.60	5.60	140	35.00	8.00
30	29.60	6.00	145	35.30	8.00
35	30.00	6.00	150	35.60	8.00
40	30.30	6.00	155	36.00	8.00
45	31.00	6.00	160	36.00	8.00
50	31.00	6.00	165	36.00	9.00
55	32.00	6.00	170	36.30	9.00
60	32.00	6.00	175	36.30	9.00
65	32.00	6.00	180	36.60	9.00
70	32.00	6.00	185	37.00	9.00
75	33.00	6.00	190	37.00	9.00
80	33.00	6.30	195	37.00	10.00
85	33.30	7.00	200	37.00	10.00
90	33.30	7.00	205	38.00	10.00
95	33.60	7.00	210	38.30	11.00
100	33.60	7.00	215	38.30	11.00
105	33.60	7.00	220	39.00	11.60
110	34.00	7.00	225	39.30	11.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

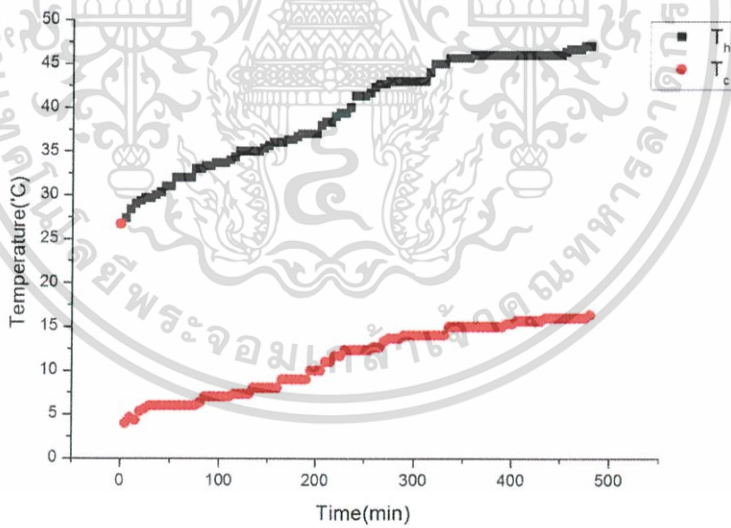
ตารางที่ 4.28 ตารางเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วย ต่ออนุกรม เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 แอมแปร์ และค่าความต่าง ศักย์ 10 โวลต์ ระบายความร้อนออกด้วยน้ำปริมาตร 700 ml (ต่อ)

t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)	t(min)	T _{h,ave} (°C)	T _{c,ave} (°C)
230	39.30	12.30	380	46.00	15.00
235	40.00	12.30	385	46.00	15.00
240	41.30	12.30	390	46.00	15.00
245	41.30	12.30	395	46.00	15.30
250	41.30	12.30	400	46.00	15.30
255	41.60	12.30	405	46.00	15.60
260	42.30	12.60	410	46.00	15.60
265	42.60	12.60	415	46.00	15.60
270	42.60	13.30	420	46.00	15.60
275	43.00	13.60	425	46.00	15.60
280	43.00	13.60	430	46.00	15.60
285	43.00	13.60	435	46.00	16.00
290	43.00	14.00	440	46.00	16.00
295	43.00	14.00	445	46.00	16.00
300	43.00	14.00	450	46.00	16.00
305	43.00	14.00	455	46.30	16.00
310	43.00	14.00	460	46.60	16.00
315	44.00	14.00	465	46.60	16.00
320	45.00	14.00	470	46.60	16.00
325	45.00	14.00	475	47.00	16.00
330	45.00	14.00	480	47.00	16.30
335	45.60	15.00			
340	45.60	15.00			
345	45.60	15.00			
350	45.60	15.00			
355	45.60	15.00			
360	46.00	15.00			
365	46.00	15.00			
370	46.00	15.00			
375	46.00	15.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่อขนานกัน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุ 3 แอมแปร์ ในเวลา 8 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยต่ออนุกรมกัน เมื่อป้อนกระแสให้กับวัสดุ 3 แอมแปร์ ในเวลา 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร เพื่อเลือกใช้โซลาร์เซลล์ให้เหมาะสมกับระบบ

จากสูตร

$$P = IV$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้า

I คือ กระแสไฟฟ้า

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า

เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ 3 แอมแปร์ และความต่างศักย์ 12 โวลต์

ระบบใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 1 หน่วยและพัดลมขนาดเล็ก

$$\begin{aligned} \text{จะต้องใช้กำลังไฟฟ้า} &= (3+2.5)(12) \\ &= 66 \text{ W} \end{aligned}$$

ระบบใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วยและพัดลมขนาดเล็กต่อขนานกัน

$$\begin{aligned} \text{จะต้องใช้กำลังไฟฟ้า} &= (3+3+2.5)(12) \\ &= 102 \text{ W} \end{aligned}$$

ระบบใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วยและพัดลมขนาดเล็กต่ออนุกรมกัน

$$\begin{aligned} \text{จะต้องใช้กำลังไฟฟ้า} &= (3+2.5)(12) \\ &= 66 \text{ W} \end{aligned}$$

ระบบใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยและพัดลมขนาดเล็กต่อขนานกัน

$$\begin{aligned} \text{จะต้องใช้กำลังไฟฟ้า} &= (3+3+3+2.5)(12) \\ &= 108 \text{ W} \end{aligned}$$

ระบบใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 3 หน่วยและพัดลมขนาดเล็กต่ออนุกรมกัน

$$\begin{aligned} \text{จะต้องใช้กำลังไฟฟ้า} &= (3+2.5)(12) \\ &= 66 \text{ W} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยและพัดลมขนาดเล็กต่อขนานกัน

$$\begin{aligned} \text{จะต้องใช้กำลังไฟฟ้า} &= (3+3+3+3+2.5)(12) \\ &= 174 \text{ W} \end{aligned}$$

ระบบใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วยและพัดลมขนาดเล็กต่ออนุกรมกัน

$$\begin{aligned} \text{จะต้องใช้กำลังไฟฟ้า} &= (3+2.5)(12) \\ &= 66 \text{ W} \end{aligned}$$

เนื่องจากการนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมาต่อขนานกันนั้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ความเย็นและความร้อน ในการเลือกใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้เหมาะสมกับระบบและกำลังไฟฟ้าที่ไม่มากจนเกินไปจึงเลือกใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 หน่วยต่อขนานกันในการสร้างระบบกระตุ้นรอบอาคารหรือผนังอาคาร

ในการทดลองได้ต่อระบบกระตุ้นรอบอาคารกับโซล่าเซลล์ขนาด 74 วัตต์ 5 แอมแปร์ และ 12 โวลต์เป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง ซึ่งโซล่าเซลล์ให้กำลังไฟฟ้าไม่พอจึงใช้แบตเตอรี่เป็นตัวช่วยในการเก็บกระแสไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ อีกทั้งสามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ต้องใช้ได้ดังนี้

$$\text{ขนาดกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้จากแบตเตอรี่} = \frac{\text{ค่าพลังงานรวม}}{\text{แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่} \times 0.6}$$

เมื่อ 0.6 คือ % การใช้งานกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่

$$\text{จะได้ว่าขนาดไฟฟ้าที่ต้องใช้จากแบตเตอรี่} = \frac{(102\text{W} \times 8\text{hr})}{12\text{V} \times 0.6} = 113 \text{ AH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐบล็อกเมื่อนำระบบติดเข้ากับ
กรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน ทดลองครั้งที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
0	29	33
1	28	33
2	27	33
3	25	32
4	22	33
5	20	33
6	19	32
7	19	32
8	18	32

ตารางที่ 4.30 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐบล็อกเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบ
อาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน ทดลองครั้งที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	28	33
2	26	33
3	23	33
4	22	33
5	21	33
6	20	32
7	19	32
8	18	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.31 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐบล็อกเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน ทดลองครั้งที่ 3

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	27	32
2	26	32
3	24	32
4	23	32
5	20	31
6	18	31
7	17	31
8	17	31

ตารางที่4.32 ตารางเฉลี่ยค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐบล็อกเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	27.6	32.6
2	26.3	32.6
3	24	32.3
4	22.3	32.6
5	20.3	32.3
6	19	31.6
7	18.3	31.6
8	17.6	31.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับ
กรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน ทดลองครั้งที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	27	33
2	24	34
3	22	33
4	20	33
5	19	34
6	18	34
7	18	33
8	17	33

ตารางที่ 4.34 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับ
กรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน ทดลองครั้งที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	26	33
2	24	33
3	22	33
4	20	33
5	19	33
6	18	32
7	17	32
8	16	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.35 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับ
กรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน ทดลองครั้งที่3

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	25	32
2	22	32
3	20	32
4	19	32
5	17	31
6	16	31
7	15	31
8	15	31

ตารางที่4.36 ตารางเฉลี่ยค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบ
อาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	26	32.6
2	23.3	33
3	21.3	32.6
4	19.6	32.6
5	18.3	32.6
6	17.3	32.3
7	16.6	32
8	16	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.37 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากไม้อัดเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน ทดลองครั้งที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	33
2	28	33
3	27	32
4	26	33
5	24	33
6	23	32
7	22	32
8	20	32

ตารางที่ 4.38 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากไม้อัดเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน ทดลองครั้งที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	33
2	28	33
3	26	33
4	25	33
5	24	33
6	24	32
7	23	32
8	22	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.39 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากไม้อัดเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน ทดลองครั้งที่ 3

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	28	32
2	28	32
3	26	32
4	25	32
5	23	31
6	22	31
7	22	31
8	20	31

ตารางที่ 4.40 ตารางเฉลี่ยค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	28.6	32.6
2	28	32.6
3	26.3	32.3
4	25.3	32.6
5	23.6	32.3
6	23	31.6
7	22.3	31.6
8	20.6	31.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.41 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐบล็อกเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน ทดลองครั้งที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	31
2	29	30
3	29	30
4	29	29
5	29	29
6	30	29
7	30	28
8	30	28

ตารางที่ 4.42 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐบล็อกเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน ทดลองครั้งที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	28
2	29	28
3	29	28
4	29	27
5	29	27
6	30	27
7	30	27
8	30	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.43 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐบล็อกเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน ทดลองครั้งที่ 3

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	30
2	29	30
3	29	30
4	29	29
5	30	29
6	31	29
7	31	29
8	31	28

ตารางที่ 4.44 ตารางเฉลี่ยค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐบล็อกเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	29.6
2	29	29.3
3	29	29.3
4	29	28.3
5	29.3	28.3
6	30.3	28.3
7	30.3	28
8	30.3	27.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.45 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับ
กรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน ทดลองครั้งที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	31
2	29	30
3	29	30
4	30	29
5	30	29
6	30	29
7	30	28
8	30	28

ตารางที่ 4.46 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับ
กรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน ทดลองครั้งที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	28
2	29	28
3	29	28
4	29	27
5	30	27
6	30	27
7	30	27
8	30	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.47 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับ
กรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน ทดลองครั้งที่ 3

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	30
2	29	30
3	30	30
4	30	29
5	30	29
6	31	29
7	31	29
8	31	28

ตารางที่ 4.48 ตารางเฉลี่ยค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบ
อาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	30
2	29	30
3	30	30
4	30	29
5	30	29
6	31	29
7	31	29
8	31	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.49 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากไม้อัดเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน ทดลองครั้งที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	31
2	29	30
3	29	30
4	29	29
5	29	29
6	29	29
7	30	28
8	30	28

ตารางที่ 4.50 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากไม้อัดเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน ทดลองครั้งที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	28
2	29	28
3	29	28
4	29	27
5	29	27
6	30	27
7	30	27
8	30	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

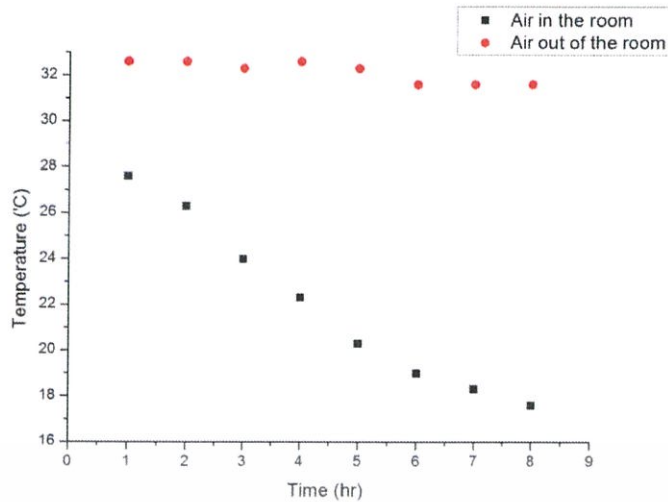
ตารางที่ 4.51 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากไม้อัดเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน ทดลองครั้งที่ 3

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	30
2	29	30
3	29	30
4	29	29
5	29	29
6	29	29
7	30	29
8	30	28

ตารางที่ 4.52 ตารางเฉลี่ยค่าอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากไม้อัดเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง (องศาเซลเซียส)
1	29	29.6
2	29	29.3
3	29	29.3
4	29	28.3
5	29	28.3
6	29.3	28.3
7	30	28
8	30	27.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

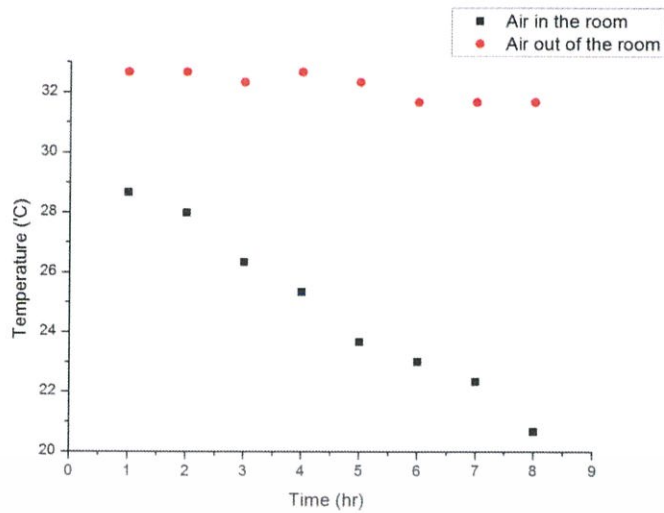


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐบล็อกเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

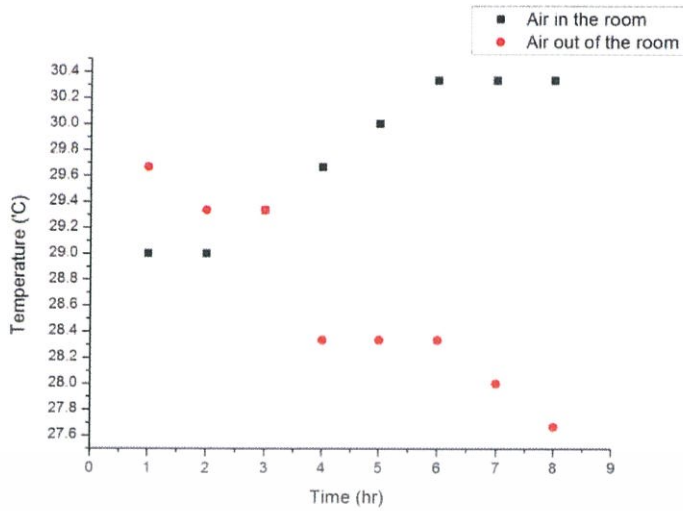


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากไม้อัดเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความเย็นทำงาน

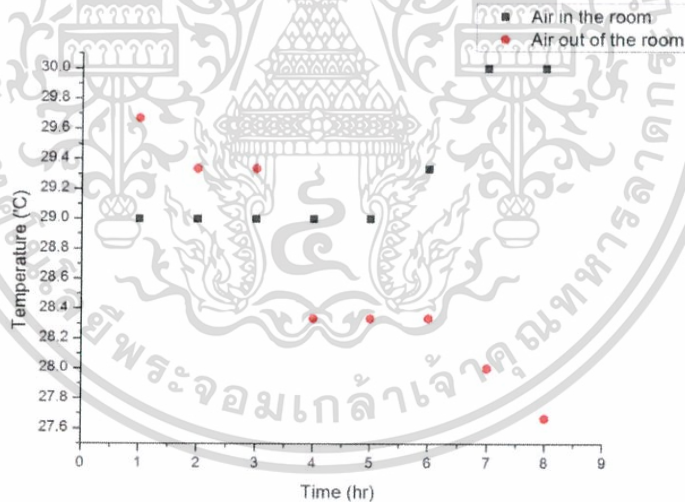


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากไม้อัดเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4. กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบาเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน



รูปที่4.12 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในห้องจำลองที่สร้างจากไม้อัดเมื่อนำระบบติดเข้ากับกรอบอาคารหรือผนังอาคารและเปิดให้ด้านทำความร้อนทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการสร้างระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคารโดยใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวให้ความร้อนและทำความร้อน ได้ทำการทดสอบโมดูลก่อนจะสร้างระบบด้วยการนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมาต่ออนุกรม และต่อขนานแล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความร้อนและการทำความร้อนของวัสดุซึ่งพบว่าโมดูลแสดงประสิทธิภาพได้ไม่เต็มที่จึงได้ทำการเพิ่มโมดูลเข้าไป จากหนึ่งเป็นสอง จากสองเป็นสาม และจากสามเป็นสี่โมดูลตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นสอง สาม และสี่เท่าอย่างที่คาดไว้ เนื่องมาจากการระบายความร้อนที่ยังไม่ดีพออีกทั้งเพาเวอร์ซัพพลายไม่สามารถจ่ายไฟได้ตามต้องการ สำหรับในส่วนของระบบกระตุ้นกรอบอาคารหรือผนังอาคารเมื่อต่อเข้ากับห้องจำลองทั้งสามประเภทแล้ว จะเห็นได้ว่าเมื่อเปิดการทำงานด้านเย็นของระบบห้องจำลองที่มีอากาศภายในห้องเย็นที่สุดคือห้องจำลองที่สร้างจากอิฐมวลเบา ถัดมาเป็นห้องที่สร้างจากอิฐบล็อก และห้องที่สร้างจากไม้อัดตามลำดับ เมื่อปิดการทำงานด้านเย็นและเปิดการทำงานด้านร้อนของระบบก็จะพบว่าห้องจำลองที่มีอากาศภายในอบอุ่นที่สุดคือห้องที่สร้างจากอิฐมวลเบา ถัดมาเป็นห้องที่สร้างจากอิฐบล็อก และห้องที่สร้างจากไม้อัดตามลำดับอีกเช่นกัน ซึ่งผลที่ได้ไม่เป็นไปตามต้องการเพราะถึงจะให้ความเย็นในห้องได้ถึง 17 องศาเซลเซียส แต่เวลาที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงนั้นช้าเกินไป ในส่วนของการทำความร้อนสามารถให้ความอบอุ่นกับห้องจำลองได้ถึง 31 องศาเซลเซียส ยิ่งถือว่าไม่ดีพอเพราะอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกห้องมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นอีกทั้งเวลาในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิยังช้าเกินความต้องการอีกด้วย

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่เกิดขึ้นคือในระบบเราใช้พัดลมในการขับเคลื่อนความเย็นซึ่งมีเสียงดังรบกวน โดยในอนาคตอาจเปลี่ยนไปใช้น้ำในการส่งความเย็นผ่านยางแบบบางในฝั่งลงในผนังด้านในห้องเพื่อลดมลพิษทางเสียง ซึ่งระบบของเรานี้เป็นระบบทำความร้อนและทำความเย็นโดยเราสามารถนำความร้อนและความเย็นนี้มาผลิตกระแสไฟใช้โดยผ่านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

ทศวรรษ สีตะวัน, เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก, สกลนคร.คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร, 2556

นันท์ ภักดี, ธีรภูมิ สุดแก้ว, คมสัน หุตะแพทย์, คู่มือพลังงานทางเลือก ผลิตไฟฟ้าใช้เองด้วยเซลล์

แสงอาทิตย์:เกษตรกรรมธรรมชาติ, 2556

Xuxu, Steven Van Dessel, Evaluation of a prototype active building envelope window-system, ScienceDirect Energy and Buildings 40 (2008) 168-174

Xuxu, Steven Van Dessel, Achille Messac, Study of the performance of thermoelectric module for use in active building envelopes, ScienceDirect Building and Environment 42 (2008) 1489-1502

D. Guasch, S. Silvestre, Dynamic battery model for photovoltaic application, research and applications (2003) 193-206

[online].Available : solar-system.champbizshop.com/WinCong%20Solar%20Charge%20Controller's%20User%20Manual.pdf [12 พฤษภาคม 2558]

[online].Available : solar-system.champbizshop.com/Battery_and_Time%20Calculation.pdf [12 พฤษภาคม 2558]

[online].Available : solar-system.champbizshop.com/index.htm [12 พฤษภาคม 2558]

[online].Available : ocw.tudelft.nl/fileadmin/ocw/courses/SolarCells/res00029/CH9_Photovoltaiic_systems.pdf [23 มิถุนายน 2558]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ·
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก



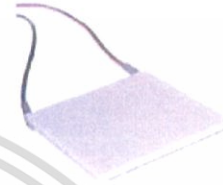
Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd

Thermoelectric
Cooler

TEC1-12710

Performance Specifications

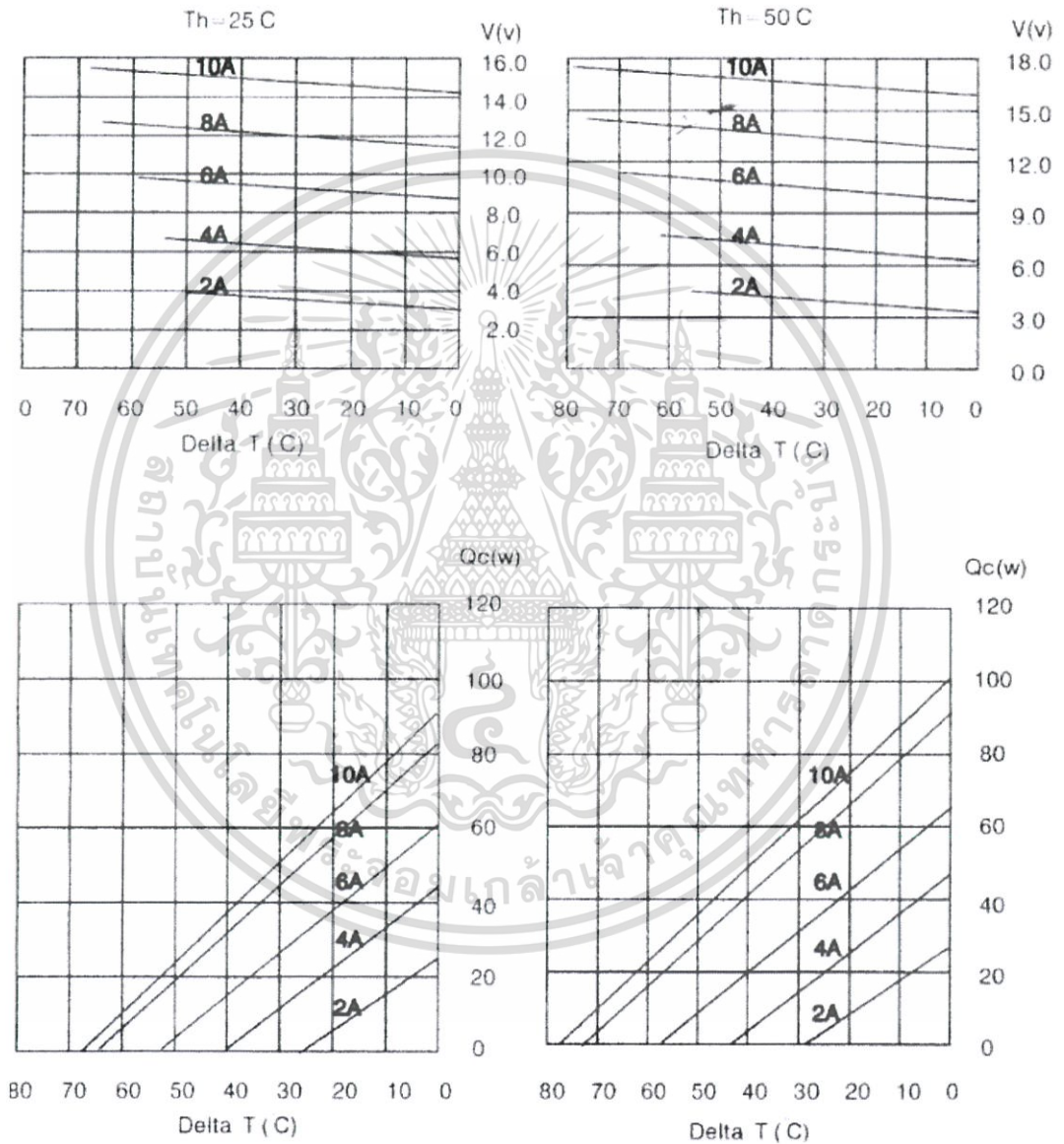
Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	85	96
Delta Tmax (° C)	66	75
I _{max} (Amps)	10.5	10.5
V _{max} (Volts)	15.2	17.4
Module Resistance (Ohms)	1.08	1.24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEC1-12710

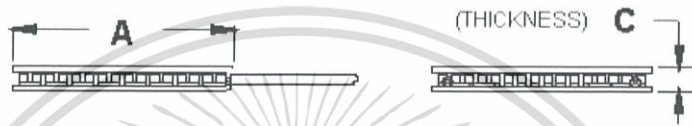
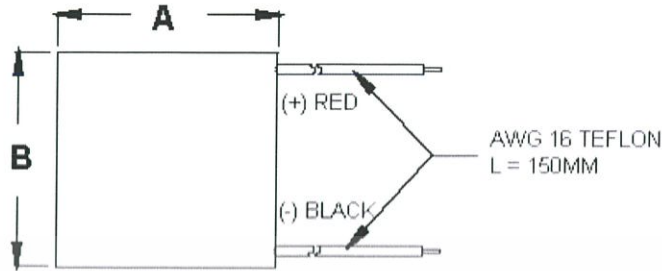


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd

TEC1-12710



Ceramic Material: Alumina (Al_2O_3)
Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

Size table:

A	B	C		
40	40	3.3		

Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed I_{max} or V_{max} when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
-
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



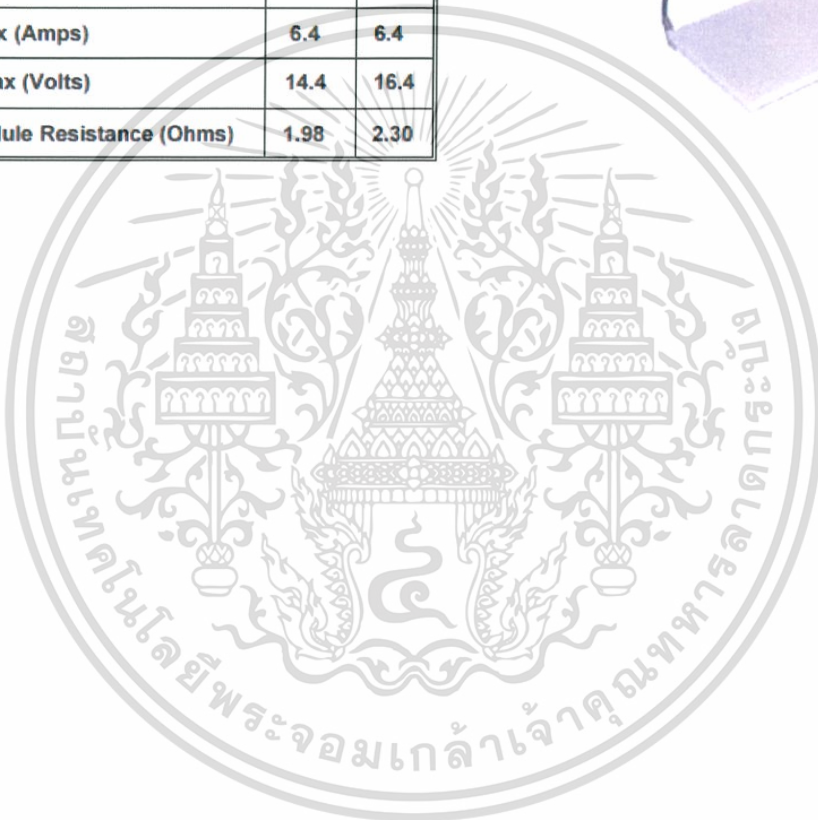
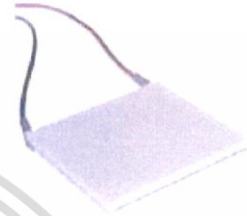
Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.

Thermoelectric
Cooler

TEC1-12706

Performance Specifications

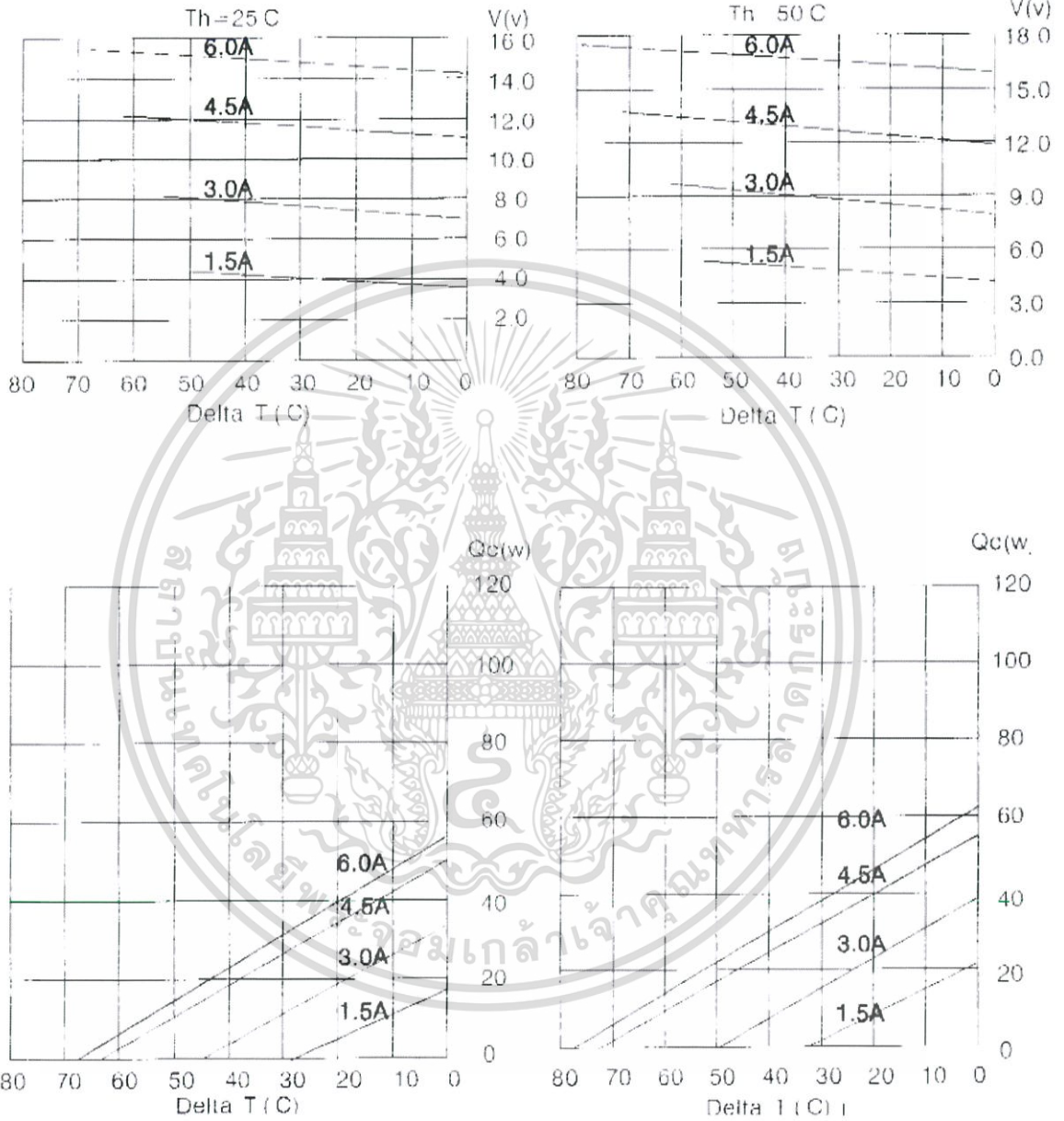
Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (° C)	66	75
I _{max} (Amps)	6.4	6.4
V _{max} (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Performance curves:



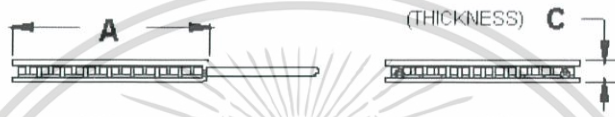
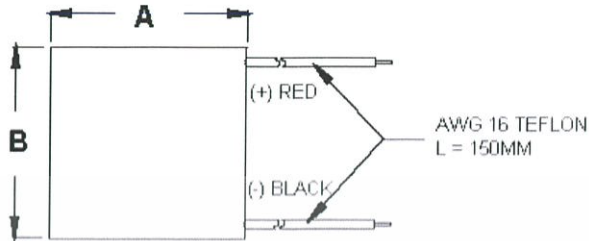
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.

Thermoelectric
Cooler

TEC1-12706



Ceramic Material: Alumina (Al_2O_3)
Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

Size table:

A	B	C			
40	40	3.9			

Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed I_{max} or V_{max} when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว สมัญญา เมฆนิตติ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2536
ภูมิลำเนา	จังหวัดชุมพร
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ. 2554 เข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษา หลักสูตรฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้