



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของ  
การรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน

Development of small thermoelectric generator prototype in model of electric  
producing from heat source of concentrated solar thermal with thermal storage media

ผศ.ดร. เชรชฐา รัตนพันธ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของ  
การรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน

Development of small thermoelectric generator prototype in model of electric  
producing from heat source of concentrated solar thermal with thermal storage media

ผศ.ดร. เชษฐา รัตนพันธ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวม  
แสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2561 คณะวิทยาศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2561 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 743,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2560 ถึง 30 ก.ย. 2561

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

1) หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชรณฐา รัตนพันธ์

หน่วยวิจัยและนวัตกรรมด้านวัสดุอัจฉริยะ

คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2) ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) อ. ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์

หน่วยวิจัยและนวัตกรรมด้านวัสดุอัจฉริยะ

คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาคันแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน โดยได้ใช้สาร เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) ผสมรวมกับน้ำ เป็นสารเก็บกักความร้อนจากการรวมแสงแดด จากการทดสอบพบว่าสามารถโฟกัสระบบรวมแสงอาทิตย์ร่วมแล้วผ่านสาร เอทิลีน ไกลคอลไปปรับความร้อนจากระบบรวมแสงแดด สามารถทำความร้อนได้อุณหภูมิสูงถึง  $155.8^{\circ}\text{C}$  ได้ จากเวลาที่ใช้ในการทำความร้อน 5 วัน เมื่อโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประดิษฐ์ขึ้นจากการสังเคราะห์จากสาร  $\text{CaMnO}_3$  ซึ่งเป็นสารวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ได้นำมาสร้างเป็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่ออุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเอทิลีนไกลคอลโดยที่ใช้แท่ง  $\text{CaMnO}_3$  จำนวน 100 แท่ง มาต่อวงจรไฟฟ้าแบบผสม แล้วนำมาติดตั้งบนผิวภายนอกของถังทาวเวอร์ที่ใช้กักเก็บสาร เอทิลีนไกลคอล ซึ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้นได้จากกระบวนการรวมแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากการรวมแสงแดด จากการวิจัยพบว่าโดยระบบ โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้นได้เองระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของโมดูลโดยไม่ต้องมีระบบระบายความร้อนให้กับหน้าสัมผัสด้านเย็นของโมดูล โดยที่อุณหภูมิด้านร้อนของโมดูลซึ่งเป็นด้านที่สัมผัสกับผิวทาวเวอร์สามารถสร้างความร้อนขึ้นได้สูงถึง  $149.8^{\circ}\text{C}$  และที่อุณหภูมิด้านเย็นของโมดูลซึ่งเป็นที่สัมผัสกับอากาศภายนอกมีอุณหภูมิที่  $114.0^{\circ}\text{C}$  จากค่าดังกล่าวสามารถผลิตไฟฟ้าได้ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด  $277.53\text{ mV}$ , ได้ค่ากระแสไฟฟ้า  $1.75\text{ mA}$  และระบบดังกล่าวสามารถคงค่าศักย์ไฟฟ้าไว้ได้ยาวนานตามระยะเวลาได้ด้วย

จึงสามารถสรุปได้ว่างานวิจัยนี้สามารถกักเก็บความร้อนจากแสงแดดได้สูงเกิน  $100^{\circ}\text{C}$  โดยใช้การรวมแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันและกักเก็บไว้ใช้ได้ต่อในเวลากลางคืนได้ ดังนั้นระบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน สามารถเป็นเกิดขึ้นได้จริง

**คำสำคัญ :** เทอร์โมอิเล็กทริก; ระบบเก็บความร้อน; โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก;  $\text{CaMnO}_3$ ; เอทิลีน ไกลคอล



**Research Title:** Development of small thermoelectric generator prototype in model of electric producing from heat source of concentrated solar thermal with thermal storage media

**Researcher:** Asst. Dr. Chesta Ruttanapun

**Faculty:** Science **Department:** Physics

Smart Materials Research and Innovation Unit

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### ABSTRACT

This work aims to develop small thermoelectric generator prototype in model of electric producing from heat source of concentrated solar thermal with thermal storage media. The Ethylene Glycol mixed with water was used for thermal storage media. In experiment, the solar thermal concentration system can heat the Ethylene Glycol reaching to 155.8 °C from using focusing solar radiation for heating in 5 days. The thermoelectric generator devices were invented from  $\text{CaMnO}_3$  thermoelectric material for recovering thermal energy from Ethylene Glycol to electricity. The thermoelectric module was fabricated from 100  $\text{CaMnO}_3$  legs with mixing electric circuit. The thermoelectric device was installed on outside surface of tank of Ethylene Glycol storage tower which was heated from solar thermal concentration system for prototype of thermoelectric generator from concentrated solar thermal system. The experiment found that the thermoelectric device can self-produce temperature difference between hot side and cold of module without using cooling system. This system can produce hot side temperature, which is contacted with tower, of module reaching to 149.8 °C and cold side temperature, which is contacted with air surrounding, of module reaching to 114.0 °C. The electric power was generated 277.53 mV for electric voltage and 1.75 mA for electric current. In addition, the value of electric voltage can maintain in long time.

Thus, the results can conclude that the concentrated solar thermal with thermal storage media system can produce temperature of the Ethylene Glycol reaching as thermal storage media more than 100 °C by using the focusing solar radiation in several days. This system can apply for generating electric in night day. All so, the thermoelectric generator prototype in model can operate for generation electric from heat source of concentrated solar thermal with thermal storage.

**Keyword:** Thermoelectric; Thermal storage system; Thermoelectric module;  $\text{CaMnO}_3$ ; Ethylene Glycol

### กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประเภทส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

|                                                                                                                                                                                                                   | หน้า   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....                                                                                                                                                                                             | I - II |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....                                                                                                                                                                                          | III    |
| กิตติกรรมประกาศ .....                                                                                                                                                                                             | IV     |
| สารบัญ .....                                                                                                                                                                                                      | V      |
| สารบัญรูป .....                                                                                                                                                                                                   | VII    |
| สารบัญตาราง .....                                                                                                                                                                                                 | X      |
| บทที่ 1 บทนำ .....                                                                                                                                                                                                | 1      |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....                                                                                                                                                                          | 1      |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....                                                                                                                                                                                 | 3      |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....                                                                                                                                                                                       | 3      |
| 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย .....                                                                                                                                                                                      | 3      |
| บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                                                                                                                                                                               | 5      |
| 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                                                                                                                                                                                   | 5      |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....                                                                                                                                                                                  | 19     |
| 3.1 การเตรียมวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก .....                                                                                                                                                                         | 19     |
| 3.2 สร้างทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า (Thermoelectric heat chamber tower) .....                                                                                                                              | 24     |
| 3.3 การสร้างระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบ<br>รางพาราโบลิค (PARABOLIC TROUGH SYSTEM) .....                                                                                      | 26     |
| 3.4 การติดตั้งระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบ<br>รางพาราโบลิค (PARABOLIC TROUGH SYSTEM) .....                                                                                    | 31     |
| 3.5 ประกอบติดตั้งแผงวงจรโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด<br>เล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนและ<br>ทำการทดสอบไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกเบื้องต้น ..... | 32     |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย .....                                                                                                                                                                                          | 34     |
| 4.1 ผลการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ $\text{CaMnO}_3$ .....                                                                                                                                      | 34     |
| 4.2 ผลการทดสอบค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก $\text{CaMnO}_3$ ให้องปฏิบัติการ .....                                                                                                                   | 35     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองอุณหภูมิระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) และ<br>ทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า .....                                                                                                         | 41 |
| 4.4 ผลการทดสอบค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก $\text{CaMnO}_3$ จำนวน 100 โมดูล ต่อ<br>วงจรไฟฟ้าแบบผสมติดตั้งกับระบบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจาก<br>ความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน ..... | 50 |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b> .....                                                                                                                                                                                           | 54 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย .....                                                                                                                                                                                                                   | 54 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ .....                                                                                                                                                                                                                       | 55 |
| <b>บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย</b> .....                                                                                                                                                                                           | 56 |
| 6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้ .....                                                                                                                                                                                 | 56 |
| <b>เอกสารอ้างอิง</b> .....                                                                                                                                                                                                                 | 57 |
| <b>ภาคผนวก</b> .....                                                                                                                                                                                                                       | 58 |
| ภาคผนวก ก .....                                                                                                                                                                                                                            | 58 |
| <b>ประวัตินักวิจัย</b> .....                                                                                                                                                                                                               | 62 |



## สารบัญรูป

หน้า

|                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>รูปที่ 1.1</b> ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย แผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปี<br>เฉลี่ยรายเดือนต่อปี และการแปลค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่ว<br>ประเทศ.....                    | 1  |
| <b>รูปที่ 1.2</b> แผนผังต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์<br>ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน                                                                                                                 | 3  |
| <b>รูปที่ 2.1</b> โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบหอคอยรวมแสงที่ใหญ่ที่สุดในโลกปัจจุบัน<br>ตั้งอยู่ที่สเปน.....                                                                                                                           | 6  |
| <b>รูปที่ 2.2</b> กระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบจานรับแสง/<br>เครื่องจักรกลสเตอร์ลิงโครงการมารีโคพาโซลาร์ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบ<br>จานรับแสง/เครื่องจักรกลสเตอร์ลิงในรัฐออริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา | 7  |
| <b>รูปที่ 2.3</b> กระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบรางพาราโบลา<br>โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ ระบบรางพาราโบลาโรงแรกที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ใน<br>จังหวัดสุพรรณบุรี                                                   | 8  |
| <b>รูปที่ 2.4</b> ต้นแบบโรงไฟฟ้าพลังความร้อนระบบปล่องลมพลังแสงอาทิตย์ในประเทศสเปน ปล่องลม<br>ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เมตร ความสูง 200 เมตร พื้นที่หลังคากระจก 45,000 ตารางเมตรกำลัง<br>ผลิตไฟฟ้าสูงสุด 50 kW                                  | 9  |
| <b>รูปที่ 2.5</b> การสะสมความร้อนของระบบบ่อรับแสง                                                                                                                                                                                              | 9  |
| <b>รูปที่ 2.6</b> เทอร์โมอิเล็กทริกกำเนิดไฟฟ้า ประดิษฐ์เป็นเตาเผาผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล                                                                                                                                           | 11 |
| <b>รูปที่ 2.7</b> เทอร์โมอิเล็กทริกในยานสำรวจดาวอังคารสำหรับค้นไฟฟ้าโดยตรงจากความร้อนนิวเคลียร์                                                                                                                                                | 11 |
| <b>รูปที่ 2.8</b> การผันไฟฟ้าจากความร้อนท่อไอเสีย                                                                                                                                                                                              | 12 |
| <b>รูปที่ 2.9</b> ยานอวกาศสำรวจพื้นผิวดาวอังคารที่ใช้ RTG โดยใช้เชื้อเพลิงพลูโตเนียม $^{238}\text{Pu}$                                                                                                                                         | 12 |
| <b>รูปที่ 2.10</b> ตำแหน่ง TEG ที่ถูกติดตั้งกับระบบท่อไอเสียรถยนต์และการพัฒนาของ TEG ในรถยนต์                                                                                                                                                  | 13 |
| <b>รูปที่ 2.11</b> แบตเตอรี่ TEG ขนาด 70 วัตต์ที่ถูกประยุกต์ใช้กับเตาเผาไม้                                                                                                                                                                    | 13 |

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 2.12 หม้อต้มน้ำผลิตไฟฟ้าหรือ Powerpot                                                                                    | 14 |
| รูปที่ 2.13 โมดูลของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกและโครงสร้างขององค์ประกอบของ p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก | 15 |
| รูปที่ 2.14 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด n-type และชนิด p-type                                                                    | 15 |
| รูปที่ 3.1 การบดผสมด้วยลูกบด (Ball-milling)                                                                                     | 20 |
| รูปที่ 3.2 แบบการอัดสารตัวอย่างและแสดงการอัดสารตัวอย่างจากบล็อกรจริง                                                            | 21 |
| รูปที่ 3.3 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร                                  | 21 |
| รูปที่ 3.4 การเชื่อมขั้วไฟฟ้าแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล                                                                    | 22 |
| รูปที่ 3.5 (a) การเชื่อมต่อแบบอนุกรม (b) ต่อเข้าแผงพื้นที่ขนาด 20 x 20 เซนติเมตร                                                | 22 |
| รูปที่ 3.6 ผลการทดสอบแท่งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ                                                        | 23 |
| รูปที่ 3.7 แผนขั้นตอนการพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน | 23 |
| รูปที่ 3.8 การออกแบบทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า                                                                           | 24 |
| รูปที่ 3.9 ชุดโครงสร้างหลักส่วนประกอบโครงสร้างเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า                                                    | 25 |
| รูปที่ 3.10 โครงสร้างและส่วนประกอบทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้าที่สร้างเสร็จจริงตามแบบ                                      | 25 |
| รูปที่ 3.11 การหุ้มฉนวนกันความร้อนทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า                                                      | 26 |
| รูปที่ 3.12 ระบบความร้อนการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบรางพาราโบลา                                            | 27 |
| รูปที่ 3.13 ฐานและโครงสร้างระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบรางพาราโบลา                          | 27 |
| รูปที่ 3.14 รางพาราโบลา (Parabolic Troughs) ใช้แผ่นสะท้อนและรวมแสง                                                              | 28 |
| รูปที่ 3.15 ท่อหล่อแก้วโฟกัสแสง                                                                                                 | 28 |
| รูปที่ 3.16 การประกอบระบบท่อหล่อแก้วโฟกัสแสงเข้ากับโครงสร้าง                                                                    | 29 |
| รูปที่ 3.17 ระบบกักเก็บความร้อน และเอทิลีน ไกลคอล                                                                               | 29 |
| รูปที่ 3.18 ปัมป์และท่อส่งความร้อนของเหลวร้อน                                                                                   | 30 |
| รูปที่ 3.19 ระบบควบคุม (Control System)                                                                                         | 31 |
| รูปที่ 3.20 ติดตั้งจริงต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน       | 31 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 3.21 การติดตั้งแผงวงจร โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน                                                                                                                                            | 32 |
| รูปที่ 3.22 การทดสอบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนเบื้องต้น                                                                                                                                                                          | 33 |
| รูปที่ 4.1 แบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผงแคลเซียมแมกนีซออกไซด์                                                                                                                                                                                                                                       | 34 |
| รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เบื้องต้นสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลต่อแบบอนุกรม                                                                                                                                                                          | 36 |
| รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เบื้องต้นสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลต่อแบบอนุกรม                                                                                                                                                                          | 37 |
| รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เบื้องต้นสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลต่อแบบขนาน                                                                                                                                                                            | 39 |
| รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เบื้องต้นสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 10 โมดูลต่อแบบขนาน                                                                                                                                                                           | 40 |
| รูปที่ 4.6 ผลอุณหภูมิกับเวลาของระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) และทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้าโดยใช้น้ำเป็นสารกักเก็บความร้อน                                                                                                                                                     | 42 |
| รูปที่ 4.7 ผลอุณหภูมิกับเวลาของระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) โดยใช้เอทิลีนไกลคอลเป็นสารกักเก็บความร้อน                                                                                                                                                                                      | 45 |
| รูปที่ 4.8 ผลอุณหภูมิกับเวลาของระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) ทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า ( $T_{\text{tower}}$ ) ใช้เอทิลีนไกลคอลเป็นสารกักเก็บความร้อน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ )                                                                             | 51 |
| รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิด้าน ( $T_{\text{tower}}$ ) อุณหภูมิเย็น ( $T_{\text{cold}}$ ) ค่าศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เบื้องต้นสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 100 โมดูลต่อแบบผสม กับระบบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน | 52 |

## สารบัญตาราง

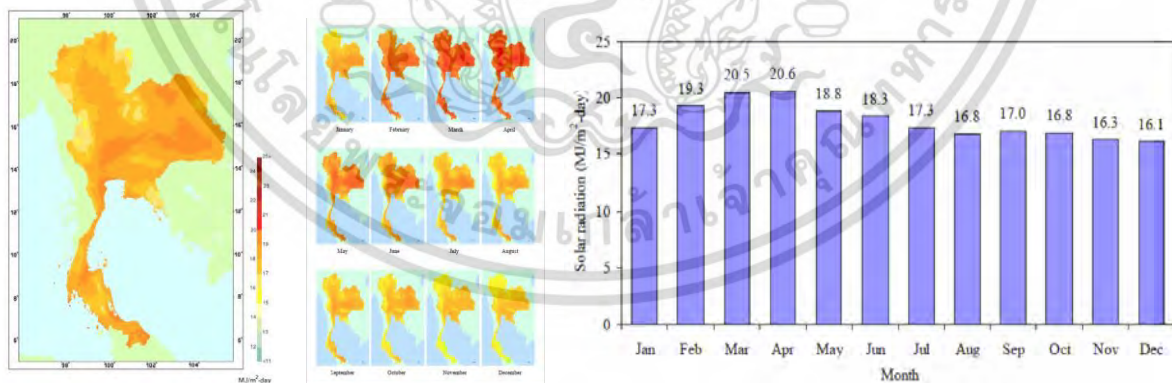
|                                                                                                                                                                                                                                      | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่า Seebeck coefficient ของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก $\text{CaMnO}_3$                                                                                                                                              | 35   |
| ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 1 โมดูล ต่อแบบอนุกรม                                                                                                                                                                           | 36   |
| ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 2 โมดูล ต่อแบบอนุกรม                                                                                                                                                                           | 38   |
| ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 2 โมดูล ต่อแบบขนาน                                                                                                                                                                             | 39   |
| ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 10 โมดูล ต่อแบบขนาน                                                                                                                                                                            | 41   |
| ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองอุณหภูมิระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) และทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้าโดยใช้น้ำเป็นสารกักเก็บ                                                                                         | 43   |
| ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองอุณหภูมิระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) โดยใช้ เอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) เป็นสารกักเก็บความร้อน                                                                                              | 46   |
| ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก $\text{CaMnO}_3$ จำนวน 100 โมดูลต่อวงจรไฟฟ้าแบบผสมติดตั้งกับระบบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารกักเก็บความร้อน | 51   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากธรรมชาติ ที่มีความสะอาดปราศจากการก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมมีปริมาณมากมายมหาศาลอยู่ทั่วทุกหนแห่งของโลก และสามารถนำมาใช้อย่างไม่หมดสิ้น ดังนั้นหากมนุษย์สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพก็จะเป็นหนทางในการแก้ไขสภาพความไม่แน่นอนของราคาจากพลังงานน้ำมัน ซึ่งนับวันจะมีแนวโน้มที่ราคาพุ่งสูงขึ้นและมีความผันผวนสูง ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาของประเทศที่จำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมัน และประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบจากปัญหานี้เป็นอย่างมาก การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อาจจำแนกเป็นผลที่ได้รับสองด้านหลักๆ คือ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และการผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้นโดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง สำหรับการนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อุปกรณ์รวมแสง เราจำเป็นต้องทราบศักยภาพรังสีตรงด้วย ในกรณีของประเทศไทย ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในบริเวณต่าง ๆ โดยเฉลี่ยทั้งปีสามารถแสดงได้ด้วยแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีดังรูปที่ 1.1 [1]



**รูปที่ 1.1** ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย แผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปี เฉลี่ยรายเดือนต่อปี และการแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ [1]



จะเห็นว่าปริมาณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ ที่คำนวณได้จะแปรค่าในรอบปีอยู่ในช่วงระหว่าง 16-21 MJ/m<sup>2</sup>-day โดยมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมและสูงสุดในเดือนเมษายน แล้วค่อยๆ ลดลงต่ำอีกครั้งในเดือนสิงหาคมและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอีกครั้งในเดือนกันยายนแล้วจึงลดลงต่ำสุดในเดือนธันวาคม จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าระดับของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทยมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นผลดีต่อการประยุกต์ใช้ด้านพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

เมื่อพิจารณาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อน (ความแตกต่างอุณหภูมิในวัสดุ) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีในตัวเอง วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจึงสามารถประยุกต์เป็นอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อน (**Thermoelectric power generator: TEG**) โดยปรากฏการณ์โมอิเล็กทริกเกิดขึ้นในวัสดุของแข็ง (solid state) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เปลี่ยนความแตกต่างของอุณหภูมิในวัสดุให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ในตัวเอง ผ่าน ปรากฏการณ์ซีเบค ถูกค้นพบโดย Thomas ดังนั้นเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกจึงสามารถนำมาประยุกต์ได้หลากหลายมาก รวมทั้งการประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือความร้อนสูญเสียเปล่าต่างๆ เช่น ในท่อไอเสียรถยนต์ เตาเผาขยะ เตาชีวมวล หรือความร้อนจากเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม ดังนั้น จึงมีแนวคิดที่จะนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์เป็นตัวผลิตไฟฟ้าจากความร้อนต่างๆ ที่มีอุณหภูมิสูง(มากกว่า 300 °C) เช่น ความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบรางพาราโบลิค ความร้อนจากโรงไฟฟ้าความร้อน ความร้อนจากโรงงานอุตสาหกรรม ความร้อนจากการเผาขยะ ความร้อนจากการเผาทำลายชีวมวลได้

จึงเป็นที่มาของการเสนอโครงการนี้ เพื่อศึกษาออกแบบและสร้าง “การพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน” โดยหลักการการทำงานของรางพาราโบลิกจะใช้หลักการรวมแสงจากรังสีอาทิตย์ที่ตัวรางพาราโบลาเข้าสู่หลอดแก้วที่อยู่ตรงกลางราง เมื่อของเหลวได้รับความร้อนก็จะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและมีแรงดันพุ่งเข้าสู่ระบบเก็บความร้อน (Thermal Storage) ที่ถูกติดตั้งคู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric power generator: TEG) และก่อให้เกิดไฟฟ้าในที่สุด ซึ่งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนแบบขั้นตอนเดียวก็สามารถเปลี่ยนจากความร้อนเป็นไฟฟ้าได้ทันที โดยที่ไม่มีส่วนประกอบของระบบระบบคัมน์ ระบบไอน้ำระบบเทอร์โมปั๊มไฟฟ้า ดังแผนผัง รูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนผังต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อการพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน เป็นต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้า

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ออกแบบและสร้างต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน เป็นต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้า พร้อมรวบรวมควบคุม และเก็บพลังงานไฟฟ้า

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

มีรายละเอียดดังนี้

- 1) การผลิตวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก การเตรียมวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยคนในห้องปฏิบัติการ
- 2) ผลิตโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกและประกอบขั้วอิเล็กทรอนิกส์
- 3) การผลิตแผงวงจรโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก
- 4) การสร้างระบบทดสอบแผงวงจรโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ขนาด 1 แผง

5) การสร้างทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า และแหล่งกำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

6) ประกอบติดตั้งแผงวงจร โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเข้าทาวเวอร์

7) ติดตั้งชุดระบบควบคุม

8) การทดสอบต้นแบบโรงไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก



## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โรงไฟฟ้าในโลกเรามีหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไปตามความต้องการ หรือความจำเป็นของแต่ละประเทศ ซึ่งอาจจะดูจากทรัพยากรพลังงาน หรือสภาพภูมิอากาศของประเทศนั้นๆ แต่เพื่อให้่ายต่อความเข้าใจมากขึ้น เราอาจแยกโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

#### โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ [1]

พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้หลายรูปแบบ นอกเหนือจากการใช้แผงโซลาร์เซลล์แล้ว ยังมีการใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เราเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Solar Thermal Power Plant (โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์) หลักการทำงานของ Solar Thermal Power Plant จะทำงานคล้ายการรวมแสงจากแว่นขยาย แล้วเกิดความร้อน ณ จุดที่มีการรวมแสง เราเรียกว่า ตัวรับแสง ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปพลังงาน ถ่ายเทความร้อนสู่ตัวกลาง เพื่อเข้าสู่ระบบผลิตไฟฟ้าต่อไป Solar Thermal Power Plant สามารถแบ่งออกเป็น 5 รูปแบบ ดังนี้

##### 1. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนระบบหอคอยรวมแสง (CENTRAL RECEIVER SYSTEM)

การผลิตความร้อนในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่อาศัยการสะท้อนแสงอาทิตย์ด้วยกระจกเฮลิโอสแตต (heliostat) จำนวนมากไปรวมที่จุดรวมแสงบริเวณตัวรับ (receiver) ที่ติดตั้งบนยอดหอคอย ทำหน้าที่แปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนถ่ายเทให้กับตัวกลาง (medium) สามารถนำไปผลิตไอน้ำป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป กระจกเฮลิโอสแตตแต่ละแผ่นที่ติดตั้งในทุ่งเฮลิโอสแตต (heliostat field) ได้รับการออกแบบให้ตำแหน่งของการติดตั้งรับกับองศาของมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์และองศาของมุมสะท้อนแสงที่แตกต่างกันไป เพื่อสะท้อนแสงอาทิตย์จากแต่ละตำแหน่งของดวงอาทิตย์ไปที่ตัวรับได้ตลอดทั้งวัน ตัวรับบนยอดหอคอยอาจใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger tube receiver) ที่ภายในท่อบรรจุตัวกลางของเหลว เช่น น้ำมันสังเคราะห์ (synthetic oil) (เกลือหลอมเหลว) ตัวรับอัดอากาศระบบปิด (closed air receiver) หรือตัวรับมวลอากาศระบบเปิด (open volumetric air receiver) ซึ่งใช้อากาศเป็นตัวกลางเพื่อลดการกัดกร่อนและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากน้ำมันสังเคราะห์ที่ไหลเวียนในระบบ

ประสิทธิภาพโดยรวมของการแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนของเทคโนโลยี หอคอยรวมแสงขึ้นอยู่กับชนิดและการจัดเรียงกระจกในทุ่งเฮลิโอสแตต ความสูงของหอคอย และประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของตัวรับแสง โรงไฟฟ้าระบบหอคอยรวมแสงที่ใหญ่ที่สุดในโลกปัจจุบัน คือ โครงการ Planta Solar 10 และPlanta Solar 20 (PS10 และ PS20) ตั้งอยู่ในเมืองซานลูคา ลา มายอ (Sanlúcar la Mayor) ในประเทศสเปน ครอบคลุมพื้นที่ 225,000 ตารางเมตร โครงการ PS10 และ PS20 เป็นโครงการที่ในระยะแรกจะเริ่มผลิตไฟฟ้าที่กำลังการผลิตรวม 31 เมกะวัตต์ (MW) หลังโครงการเสร็จสิ้นทั้งหมดในปี ค.ศ. 2013 จะมีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดรวม 300 เมกะวัตต์ (MW)



รูปที่ 2.1 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบหอคอยรวมแสงที่ใหญ่ที่สุดในโลกปัจจุบัน ตั้งอยู่ที่สเปน

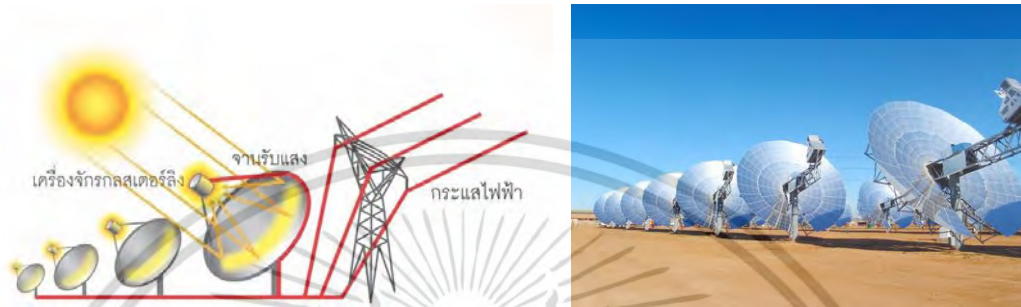
ที่มา : [http://en.wikipedia.org/wiki/PS20\\_solar\\_power\\_plant](http://en.wikipedia.org/wiki/PS20_solar_power_plant)

## 2. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนระบบจานรับแสง/เครื่องจักรกลสเตอร์ลิง

ความร้อนในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยแผ่นกระจกรับแสงรูป จานโค้งทำหน้าที่สะท้อนแสงไปที่ตัวรับแสง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งติดตั้งอยู่ที่จุดโฟกัสของจาน รับแสง ทำหน้าที่แปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานกลเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจ่าย กระแสไฟฟ้าได้ทันที โดยอาศัยหลักการของวัฏจักรสเตอร์ลิงตัวรับแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมี ตัวกลาง คือ แก๊สไฮโดรเจนหรือแก๊สฮีเลียมบรรจุอยู่ในกระบอกสูบซึ่งขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน จากการรวมแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 20 MPa แก๊สที่เย็นตัวลง จะหมุนเวียนกลับไปรับความร้อน ทำให้ถูกสูบเคลื่อนที่เกิดเป็นพลังงานกลเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ฐานของจานโค้งรับแสงถูกออกแบบให้มีระบบติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เพื่อรับ แสงอาทิตย์จากรังสีตรง ความเข้มสูงได้ตลอดทั้งวัน จานรับแสงอาจมีลักษณะเป็นจานโค้งผิวเรียบ



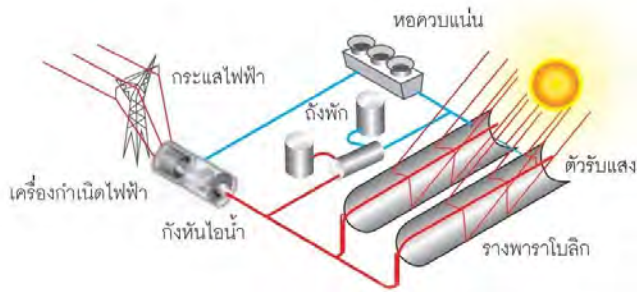
แผงกระจกรวม หรือแผงกระจกแยกส่วน เนื่องจากการออกแบบที่มีความซับซ้อนทำให้ระบบจานรับแสง/เครื่องจักรกลสเตอร์ลิงมีกำลังผลิตไฟฟ้าในระดับไม่เกิน 40 กิโลวัตต์ต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจาน 5.5 เมตร เหมาะสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในระบบสายส่ง



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบจานรับแสง/เครื่องจักรกลสเตอร์ลิง โครงการมริโคพาโซลาร์ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบจานรับแสง/เครื่องจักรกลสเตอร์ลิงในรัฐออริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา  
ที่มา: <http://www.power-technology.com>, <http://www.mortenson.com>

### 3. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ระบบรางพาราโบลิค (PARABOLIC TROUGH SYSTEM)

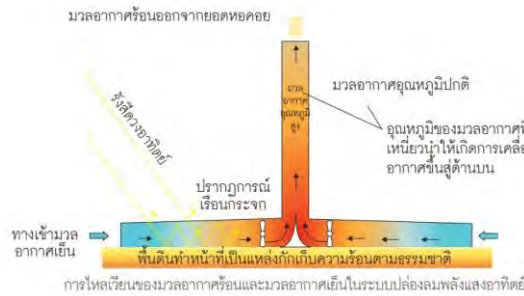
การผลิตความร้อนในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิค ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความร้อนถ่ายเทให้กับตัวกลาง (medium) เพื่อนำไปผลิตไอน้ำแรงดันสูงป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิคเริ่มนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าครั้งแรกในปี 1984 ที่โรงไฟฟ้าในโครงการ Solar Energy Generating Systems (SEGS) บริเวณทะเลทรายโมฮาเว่ ทางตะวันตกเฉียงใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ใหญ่ที่สุดในโลกครอบคลุมพื้นที่ 20.5 ตารางกิโลเมตร มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 364 เมกะวัตต์ (MW) โดยมีโรงไฟฟ้าระบบรางพาราโบลิคจำนวน 9 โรง ทำงานร่วมกับระบบเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ ในเวลากลางคืนหรือช่วงที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ต่ำ



**รูปที่ 2.3** กระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ระบบรางพาราโบลิก  
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ ระบบรางพาราโบลิกโรงแรกที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ในจังหวัด  
สุพรรณบุรี

#### 4. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ปล่องลมพลังแสงอาทิตย์ (SOLAR CHIMNEY)

อุปกรณ์แปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานกลโดยอาศัยอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้น เช่นเดียวกับอากาศใต้หลังคาของอาคารที่ติดตั้งลูกหมุนระบายอากาศ ที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน จะลอยตัวสูงขึ้นผ่านลูกหมุนระบายอากาศออกไปนอกอาคาร ขณะที่อากาศเย็นจากภายนอกอาคารจะไหลเข้ามาแทนที่ช่วยระบายอากาศภายในอาคารได้ โดยไม่ต้องใช้พัดลมดูดอากาศ และช่วยลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ สามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้กับปล่องลมพลังแสงอาทิตย์ ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยสร้างหลังคากระจกคลุมพื้นดินเป็นบริเวณกว้างรอบปล่องลมสูง เพื่อให้เกิดการสะสมความร้อนในอากาศ เป็นลักษณะปรากฏการณ์เรือนกระจกเหนือพื้นดิน มีระบบท่อที่บรรจุน้ำไว้เต็มทำหน้าที่กักเก็บความร้อน ในช่วงเวลากลางวัน มวลอากาศความร้อนสูงใต้หลังคาจะลอยตัวเข้าไปในปล่องลมเพื่อขับกังหัน (turbine) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งไว้บริเวณใต้ปล่องลม นอกจากนั้นมวลอากาศร้อนยังทำให้น้ำในท่อและพื้นดินใต้หลังคากระจกมีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งจะปลดปล่อยความร้อนออกมาในเวลากลางคืน เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลอากาศไปขับกังหัน สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง แม้ช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานโดยรวมของเทคโนโลยีปล่องลมพลังแสงอาทิตย์ต่ำมาก เมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ประเภทอื่น

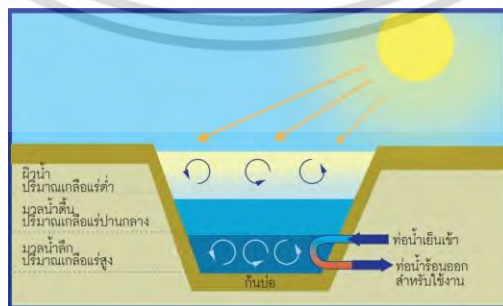


**รูปที่ 2.4** ต้นแบบโรงไฟฟ้าพลังความร้อนระบบป้อนลมพลังแสงอาทิตย์ในประเทศสเปน ป้อนลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เมตร ความสูง 200 เมตร พื้นที่หลังคากระจก 45,000 ตารางเมตรกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุด 50 kW

(ที่มา: [http://www.sbp.de/system/attachments/project\\_images/1844/xlarge\\_1006\\_82\\_a.jpg](http://www.sbp.de/system/attachments/project_images/1844/xlarge_1006_82_a.jpg) 1291626240)

## 5. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ระบบป้อนแสง (SOLAR POND SYSTEM)

ระบบสะสมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยอาศัยหลักการจัดช่วงชั้นของเกลือแร่ในน้ำ โดยทั่วไปแหล่งน้ำตามธรรมชาติหรือแหล่งเก็บน้ำที่สร้างขึ้นจะมีปริมาณเกลือแร่เพิ่มขึ้นตามระดับความลึกจากผิวน้ำ เมื่อได้รับแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน มวลน้ำลึกที่มีเกลือแร่สูงจะสะสมความร้อน ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและเคลื่อนที่ขึ้นมาที่ผิวน้ำ เนื่องจากมวลน้ำอุ่นจะมีความหนาแน่นต่ำกว่ามวลน้ำเย็นที่ความลึกระดับหนึ่ง ซึ่งมีปริมาณเกลือแร่มากพอ ความหนาแน่นของมวลน้ำสูงมากจนไม่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นมาสู่ผิวน้ำได้แม้ว่าจะสะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์จนอุณหภูมิเกือบถึงจุดเดือดของน้ำก็ตาม (80-90 องศาเซลเซียส) เรียกว่าบริเวณเก็บความร้อน ความร้อนที่สะสมอยู่ในมวลน้ำบริเวณนี้สามารถถ่ายเทมาใช้อย่างประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ในกรณีนี้มวลน้ำในระดับที่ตื้นกว่าที่มีปริมาณเกลือแร่ปานกลาง จะทำหน้าที่เป็นฉนวน ป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการระเหย การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนจากมวลน้ำลึกที่มีความร้อนสูงอีกด้วย



**รูปที่ 2.5** การสะสมความร้อนของระบบป้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### สำหรับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก มีรายละเอียดดังนี้

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ในตัวเองโดยตรงอย่างทันทีทันใดและสามารถผันกลับ โดยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกนั้นถูกประดิษฐ์ขึ้นจากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นวัสดุที่สามารถเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีในตัวเองได้ ผ่านปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ ที่เกี่ยวข้อง กับผลของความแตกต่างอุณหภูมิ (Temperature difference) ทำให้เกิดความศักย์ไฟฟ้า (electric potential) หรือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ในวัสดุที่เป็นชนิดของแข็ง โดยปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric effect) เป็นปรากฏการณ์แบบภาพใหญ่ที่ครอบคลุมทั้ง 3 ปรากฏการณ์ของปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) และปรากฏการณ์ทอมสัน (Tomson effect) เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ที่สามารถผันความร้อนให้เป็นไฟฟ้าได้ในตัวเองโดยตรง ในทันทีทันใด ในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะเกิดในวัสดุของแข็ง (solid state) โดยเป็นปรากฏการณ์ที่เปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีในตัวเองถูกเรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) [2-4] เพราะถูกค้นพบโดย Thomas Seebeck ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าได้ เรียกว่า Thermoelectric Generator สำหรับปรากฏการณ์ซีเบคนี้ จะมีค่าคงที่ของวัสดุซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับผลต่างของอุณหภูมิ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ซีเบค โดยมีค่าทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังเช่นในวัสดุสารกึ่งตัวนำจะมี สัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นบวกสารกึ่งตัวนำชนิด p-type และ สัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นลบสารกึ่งตัวนำชนิด n-type และมากไปกว่านั้นปรากฏการณ์ในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถสร้างปรากฏการณ์ผันกลับได้ คือเมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าแก่วัสดุนั้นก็จะเกิดความแตกต่างอุณหภูมิขึ้นในวัสดุนั้นได้ โดยจะมีด้านหนึ่งของวัสดุเย็นกว่าอีกด้านตลอดเวลาที่มีการให้กระแสไฟฟ้า เรียกปรากฏการณ์นี้ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) เพราะถูกค้นพบโดย Jean Peltire สามารถนำมาประยุกต์เป็นตัวทำความเย็นได้ เรียกว่า thermoelectric cooler

ดังนั้นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนในท่อไอเสียรถยนต์ และ ผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับดาวเทียมโดยใช้ความร้อนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกในด้านความเย็น โดยสร้างตู้เย็นขนาดเล็กที่พกพาเคลื่อนที่ได้ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากการแบตเตอรี่ และใช้สำหรับการระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกสร้างไฟฟ้าจากความร้อนจากแสงแดด โดยการรวมความร้อนจากแสงแดดไปยังอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนในท่อไอเสียรถบรรทุก ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าให้กับนาฬิกาโดย

อาศัยความร้อนจากผิวหนังของมนุษย์ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อน แสงแดดแทนเซลล์แสงอาทิตย์

มีการนำสิ่งประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric generator; TEG) มาประยุกต์ใช้งานมีดังนี้

1. ในวารสารนโยบายพลังงาน ฉบับ ม.ค. - มี.ค. 2557 ได้เกริ่นนำถึงการนำเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกกำเนิดไฟฟ้า ประดิษฐ์เป็นเตาเผาผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับใช้ที่ทุรกันดาร หรือ ที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง เช่น ในเกาะ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เทอร์โมอิเล็กทริกกำเนิดไฟฟ้า ประดิษฐ์เป็นเตาเผาผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล

2. NASA ได้ติดตั้งวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกในยานสำรวจดาวอังคารสำหรับผันไฟฟ้าโดยตรงจากความร้อนนิวเคลียร์

The low efficiency of thermoelectric semiconductors, however, has limited their application to situations where efficiency and cost are less important than reliability, for example in satellites and rovers exploring planets, like the Curiosity rover sent to Mars a few years ago (see Figure 2).

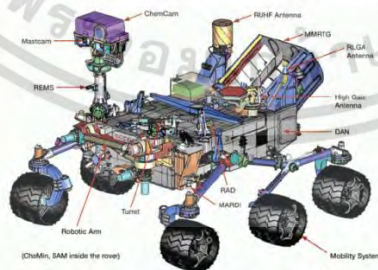


Figure 2. The Curiosity Rover on Mars is powered by a thermoelectric generator (MMRTG)  
Credit: www.jpl.nasa.gov/

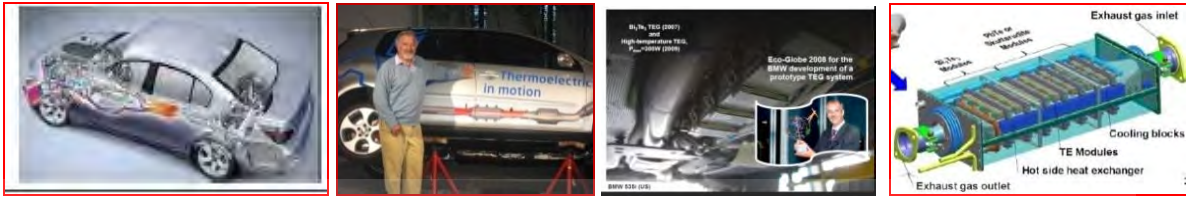
รูปที่ 2.7 เทอร์โมอิเล็กทริกในยานสำรวจดาวอังคารสำหรับผันไฟฟ้าโดยตรงจากความร้อน

นิวเคลียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

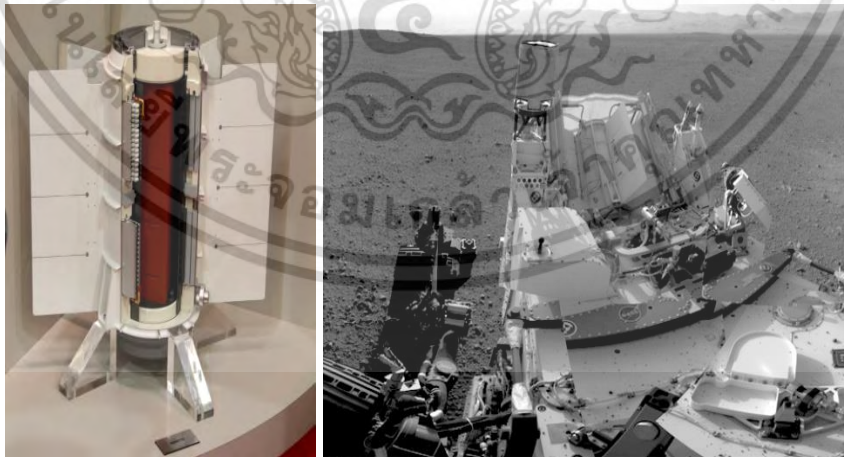


### 3. ผลิตไฟฟ้าจากความร้อนท่อไอเสีย



รูปที่ 2.8 การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนท่อไอเสีย

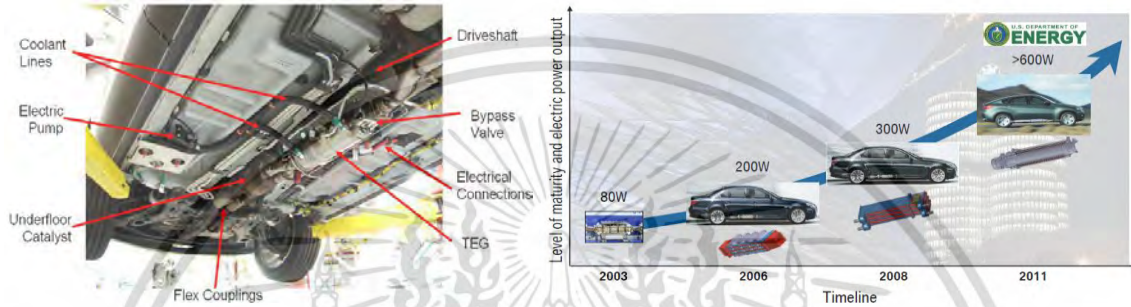
4. เทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (TEG) ในยุคแรกได้ถูกพัฒนาในยานอวกาศเพื่อเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้า ให้กับระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี ซึ่งถูกเรียกว่าเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนจากไอโซโทปรังสี (Radioisotope thermoelectric generator; RTG) ในปี ค.ศ. 1961 เทอร์โมอิเล็กทริกกำเนิดไฟฟ้า RTG ได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนดาวเทียมสำรวจ Navy Transit 4A ของประเทศสหรัฐอเมริกา และในปี ค.ศ. 1968 องค์การนาซา (NASA) ได้นำเทคโนโลยี RTG เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้กับยานอวกาศ SNAP-19 ในการสำรวจดวงจันทร์ นอกจากนี้แล้ว RTG ยังถูกนำไปใช้ในการสำรวจดาวอังคาร ในปี ค.ศ. 2011 จนถึงปัจจุบัน ในชื่อรุ่น MMRTG ซึ่งสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 125 วัตต์ โดยมีผลต่างอุณหภูมิ 700°C และใช้แหล่งพลังงานความร้อนจาก  $^{238}\text{Pu}$  สามารถให้อุณหภูมิด้านร้อนสูงถึง 1000°C



รูปที่ 2.9 ยานอวกาศสำรวจพื้นผิวดาวอังคารที่ใช้ RTG โดยใช้เชื้อเพลิงพลูโตเนียม  $^{238}\text{Pu}$  [8]

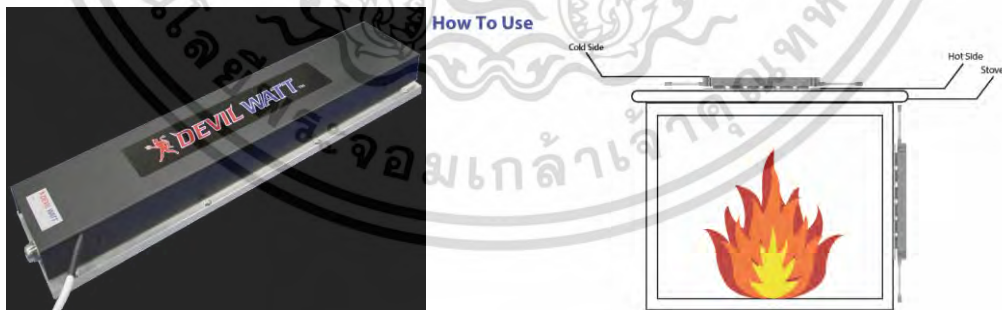
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ในปี ค.ศ. 2005 บริษัท Gentherm และ BMW ได้นำเทคโนโลยี TEG มาพัฒนาเป็นครั้งแรกในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยใช้แหล่งความร้อนเหลือทิ้งจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในระบบท่อไอเสียซึ่งมีความร้อนเหลือทิ้งถึง 33% ได้นำ TEG ติดตั้งกับระบบท่อไอเสียที่มีอุณหภูมิประมาณ 200-300 °C ซึ่งสามารถกำเนิดกำลังไฟฟ้าได้ 200 วัตต์ ในระยะแรกของการทดลองและสามารถพัฒนาได้ถึง 600 วัตต์ ในปัจจุบัน TEG ได้รับความสนใจอย่างมากในอุตสาหกรรมรถยนต์



รูปที่ 2.10 ตำแหน่ง TEG ที่ถูกติดตั้งกับระบบท่อไอเสียรถยนต์และการพัฒนาของ TEG ในรถยนต์ [6]

6. ในปัจจุบันเทคโนโลยี TEG ได้แพร่หลายไปทั่วโลกและได้รับความสนใจอย่างมากในการศึกษาและนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้ง นอกจากนี้แล้ว TEG ยังสามารถผลิตเชิงพาณิชย์ได้อีกด้วย อาทิเช่น แบตเตอรี่ TEG ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 10 วัตต์ไปจนถึง 100 วัตต์ หม้อต้มน้ำผลิตไฟฟ้าหรือ Power Pot สำหรับนักเดินป่า เป็นต้น



รูปที่ 2.11 แบตเตอรี่ TEG ขนาด 70 วัตต์ที่ถูกประยุกต์ใช้กับเตาเผาไม้ [9]

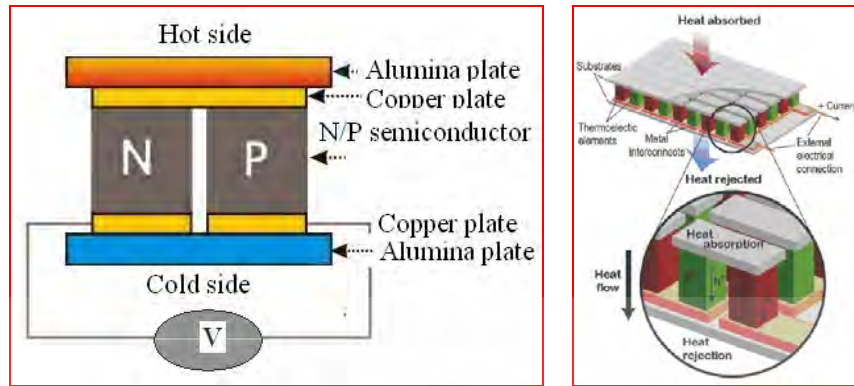


รูปที่ 2.12 หม้อต้มน้ำผลิตไฟฟ้าหรือ Powerpot [10]

จะเห็นได้ว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (TEG) นั้นสามารถใช้ได้กับแหล่งความร้อนได้ทุกช่วงอุณหภูมิและสามารถใช้ผลิตไฟฟ้าได้จริงดังจะเห็นได้จากตัวอย่างข้างต้น ซึ่งมีความน่าสนใจอย่างมากสำหรับนำมาประยุกต์ผันไฟฟ้าจากความร้อนแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้เปล่าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่มีวันหมดสิ้น

โดยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกตัวกำเนิดไฟฟ้าที่จะนำไปประยุกต์ผันไฟฟ้านั้น จะประคิษฐ์มาจากโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกจากหลายโมดูลมาต่ออนุกรมด้วยกัน โดยโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 จะประคิษฐ์จากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นถึงตัวนำที่สมบัติความเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีชนิด n-type และชนิด p-type อย่างละ 1 เซลล์ จะถูกเชื่อมต่อกันด้วยแผ่นตัวนำให้กระแสไฟฟ้าไหล และใช้แผ่นเซรามิกบางเพื่อเป็นตัวดูดซับหรือคายความร้อนประกบด้านบนและล่างด้วยให้ความร้อนผ่านโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกสะดวกได้เป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก p-n เทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล และในการประคิษฐ์อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีโมดูลประกอบจำนวนมากนั้น สร้างได้โดย นำ p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนหลายๆอันมาต่ออนุกรม ดังแสดงในรูปที่ 2.13

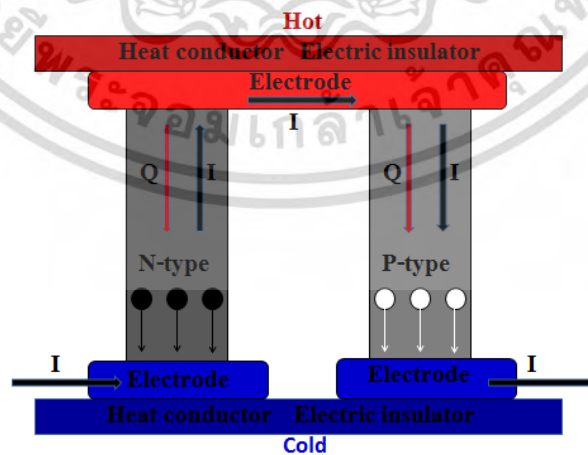




รูปที่ 2.13 โมดูลของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกและโครงสร้างขององค์ประกอบของ p-n  
โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก

ในการสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อน สามารถออกแบบและสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในรูปทรง แบบต่างๆ ที่ประกอบขึ้นจาก p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ดังในรูปที่ 2.13 สำหรับการประดิษฐ์อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีโมดูลจำนวนมาก ทำได้โดยการนำ p-n เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล มาต่ออนุกรมหลายอัน ในการประดิษฐ์อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก p-n เทอร์โมอิเล็กทริกกลไกการทำงานของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล

จากรูปเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล [2-4] ที่ประกอบด้วยเซลล์ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด n-type และชนิด p-type ต่อกันด้วยแผ่นตัวนำให้กระแสไฟฟ้าไหลดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด n-type และชนิด p-type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อทำให้เกิดความต่างอุณหภูมิขึ้นระหว่างด้านบนและด้านล่างของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก โดยจากรูปให้ด้านบนร้อนกว่าด้านล่าง ก็จะเกิดการไหลของประจุไฟฟ้าขึ้น โดยมีการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าจากบนลงล่าง ในสารตัวนำชนิด p-type ซึ่งประจุบวก หรือ โฮล เป็นส่วนใหญ่ จะไหลจากบนลงล่าง และ ในสารตัวนำชนิด n-type ซึ่งประจุลบ หรือ อิเล็กตรอน เป็นส่วนใหญ่ ก็จะไหลจากบนลงล่างเช่นกัน เมื่อมีการต่อโหลดภายนอกเช่นหลอดไฟฟ้าก็จะมีไฟฟ้าไหลครบวงจร เพราะทิศการไหลของประจุบวกจะมีทิศเดียวกับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า ขณะที่ทิศการไหลของประจุลบจะมีทิศตรงกันข้ามกับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการไหลของกระแสไฟฟ้าจึงเกิดขึ้น

สำหรับอุปกรณ์ thermoelectric generator พลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกมาจะวัดเป็นค่า แรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผันได้จะขึ้นอยู่กับ การเลือกชนิดวัสดุ และความต่างของอุณหภูมิที่ป้อนให้แก่อุปกรณ์ ยิ่งป้อนผลต่างอุณหภูมิให้แก่อุปกรณ์สูงขึ้นก็จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น และเมื่อสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้จำนวน p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีจำนวนมากขึ้น จะได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นตามด้วย สำหรับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีจำนวน p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนมาก ประสิทธิภาพของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกของตัวผันไฟฟ้าจากความร้อน (generator) นั้นพิจารณาจากสัดส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้กับพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าไป เขียนความสัมพันธ์ของ ประสิทธิภาพของตัวเทอร์โมอิเล็กทริกตัวผันไฟฟ้าความร้อน ( $\eta$ ) เป็น

$$\eta = \frac{P_{out}}{Q_{in}} \quad (1)$$

เมื่อ  $P_{out}$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกมา และ  $Q_{in}$  คือพลังงานความร้อนที่ให้เข้าไปและสมการของประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าของโมดูลนั้น ( $\eta$ ) มีสมการเป็นไปตามความสัมพันธ์ของ

$$\eta = \frac{P_{out}}{Q_{in}} = \frac{T_h - T_c}{T_h} \times \frac{\left[ 1 + Z \left( \frac{T_c + T_h}{2} \right) \right]^{1/2} - 1}{\left[ 1 + Z \left( \frac{T_c + T_h}{2} \right) \right]^{1/2} + \frac{T_h}{T_c}} \quad (2)$$

เมื่อ  $P_{out}$  คือ the electric power output  $Q_{in}$  คือ the thermal power input  $T_h$  และ  $T_c$  คืออุณหภูมิด้านร้อนและเย็นตามของโมดูลต่ำดับและ  $Z$  คือ Figure of merit โดยประสิทธิภาพอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ 1) ขึ้นกับวัสดุที่เลือกใช้ว่ามีสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกดีเพียงใด และ 2) ขึ้นกับรูปแบบและรูปทรงของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถสร้างความแตกต่างความอุณหภูมิได้สูงสุด

เมื่อพิจารณาแหล่งความร้อนได้แปล่าต่างจะอยู่ในช่วง 100 ถึง 1000 °C แต่เมื่อพิจารณาจากปัจจุบันวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ให้ค่า  $ZT$  สูงนั้น เป็นที่รู้จักดีคือสารประกอบ  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  [2] แต่ก็ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อผันเป็นพลังงานไฟฟ้าที่อุณหภูมิเกิน 100 °C ได้ แต่ในความเป็นจริงนั้น ความร้อนที่เหลือทิ้งจากกิจกรรมมนุษย์ที่จะนำมาผันเป็นไฟฟ้า มักมีอุณหภูมิเกิน 500 °C ดังนั้นสารประกอบ  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  จึงไม่เหมาะสมที่จะมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์สำหรับผันไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric generator) และ  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  เองก็เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นพิษ ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นวัสดุที่เหมาะสมควรเป็นออกไซด์ เช่น  $\text{Mg}_2\text{Si}$   $\text{ZnAlO}_2$   $\text{CaMnO}_3$

สำหรับการประดิษฐ์อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยมีรูปแบบการประกอบเพื่อประดิษฐ์เป็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นรูปแบบแบบดั้งเดิมนั้น เป็นไปตามคำขอตามสิทธิบัตรเลขที่คำขอ US 2008/0245397 A1 [12] ซึ่งเป็นการประกอบแบบคู่ p-n ประกอบติดขัดด้วยการเชื่อม และปัจจุบันได้มีการผลิตโมดูลสำเร็จมาเป็นเชิงพาณิชย์จึงได้มีการต่อขยายโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบเชิงพาณิชย์มาพัฒนาเป็นสิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ต่างๆในประเทศไทยมีดังนี้ คือ

ตามเลขอ้างอิงตามสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 0501002576 [13] มีการประดิษฐ์เป็นตู้เก็บรักษาผลผลิตเกษตรแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

อ้างอิงตามสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 061446 [14] มีการประดิษฐ์เป็นระบบปรับอากาศด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

อ้างอิงตามสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 059629 [15] มีการประดิษฐ์เป็นระบบร่วมผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อน จากไอเสียรถยนต์

อ้างอิงตามสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 068457 [16] มีการประดิษฐ์เป็นพัดลมปรับอากาศด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

อ้างอิงตามสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 059630 [17] มีการประดิษฐ์เป็นระบบร่วมผลิตไฟฟ้าและความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนจากการสันดาปของ LPG และ NGV

โดยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ผันไฟฟ้าได้จากความร้อนในยาน 100 °C สามารถหาซื้อ ตัวละ 300 บาท เป็น วัสดุชนิด  $\text{BiTe}$  มีข้อเสียคือ ทนทานความร้อนได้ไม่เกิน 100 °C ทำให้ไม่สามารถประยุกต์ในการ

ผันไฟฟ้าจากความร้อนระดับเกิน  $500^{\circ}\text{C}$  ได้ ถ้าเป็นความร้อนระดับ  $500^{\circ}\text{C}$  เป็นวัสดุ  $\text{Mg}_2\text{Si}$  มีราคาประมาณ 5,000 ถึง 50,000 บาท ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมในด้านราคาสำหรับประเทศไทย วัสดุที่สามารถทนทานได้เกินกว่า  $500^{\circ}\text{C}$  จนถึงเกินกว่า  $1000^{\circ}\text{C}$  ราคาจะสูงมาก เพราะต้องใช้เทคโนโลยีการทำขั้วไฟฟ้า และ ต้องใช้วัสดุ ที่ต้องทนทานได้เกิน  $1000^{\circ}\text{C}$  ราคาจึงแพงมากขึ้น

ดังนั้นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ต้องทนทานความร้อนให้เกิน  $1000^{\circ}\text{C}$  จึงต้องพัฒนาขึ้นเองในห้องปฏิบัติการเพื่อให้มีราคาที่ถูกลง จนสามารถนำมาติดตั้งในระบบความร้อนสูงได้ ซึ่งปัจจุบันข้าพเจ้าและคณะผู้วิจัย ได้ทำการวิจัยและพัฒนาผนังทนความร้อนสูงเกิน  $1000^{\circ}\text{C}$  ได้ตามช่วงอุณหภูมิต่างๆ ตามย่านการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก จากองค์ความรู้ที่มีสามารถนำมาใช้กับระบบการพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระบบรางพาราโบลิค

โดยโครงการวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน โดยระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าวนี้เป็นระบบขนาดเล็กมากกว่าระบบอื่นมาก เพราะสามารถเปลี่ยนจากความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยในการศึกษาพัฒนาต้นแบบ โรงไฟฟ้างกล่าว จะเป็นการพัฒนาตั้งแต่ ต้นน้ำ กลางน้ำและปลายน้ำ คือ เริ่มต้นตั้งผลิตโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นเองจากห้องปฏิบัติการให้สามารถทนความร้อนได้สูง และพัฒนาระบบแหล่งความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับตัวกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งจะเป็นการพัฒนาโรงไฟฟ้าต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ให้ได้กำลังในการผลิตไฟฟ้าที่ 350 W โดยการพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนที่ได้ออกแบบไว้ในงานวิจัยนี้

## บทที่ 3

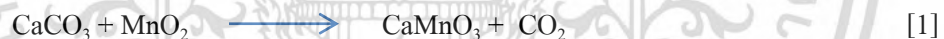
### วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย ประกอบด้วยส่วน 5 ส่วนหลัก คือ 1.) การเตรียมวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2.) การ สร้าง ทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า 3.) การสร้างระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบรางพาราโบลิก 4.) การติดตั้งระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบรางพาราโบลิก 5.) ประกอบติดตั้งแผงวงจรโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนและทำการทดสอบไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกเบื้องต้น ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 การเตรียมวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

ซึ่งรายละเอียดวิธีขั้นตอนการเตรียมวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้สาร  $\text{CaMnO}_3$  มีดังต่อไปนี้

3.1.1) สังเคราะห์วัสดุ  $\text{CaMnO}_3$  โดยใช้  $\text{CaCO}_3$  ผสมกับ  $\text{MnO}_2$  ตามสมดุลสมการเคมี ตามสมการที่ 1



3.1.2) นำวัสดุที่ซังได้ใส่ขวดพลาสติกที่บรรจุเม็ดเซอร์โคเนียอยู่ แล้วทำการบดย่อย ด้วยลูกบด (Ball-milling) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งกระบวนการบดผสมด้วยลูกบด เป็นการ บดผสมโดยใช้แรงกลในการบดผสมและในระหว่างการบดผสมนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีมีเพียงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเท่านั้นกระบวนการนี้ได้รับความนิยมสูงในการนำมาลดอนุภาคผงเฉลี่ยทำลาออนุภาคผงที่มีรูปทรงหรือสิ่งแปลกปลอมที่ฝังอยู่ด้านในแตกออก สามารถนำมาใช้ในการผสมผงต่างชนิดกันให้เป็นเนื้อเดียวกันไปพร้อมๆกับการลดขนาดอนุภาคโดยอาศัยการหมุนของหม้อบดที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงมีฝาปิดด้านหนึ่งในหม้อบดนี้ต้องใส่ลูกบดและสารหล่อลื่นในปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดของหม้อบดโดยขณะที่หม้อบดหมุนลูกบดที่บรรจุด้านในจะต้องมีการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 3.1



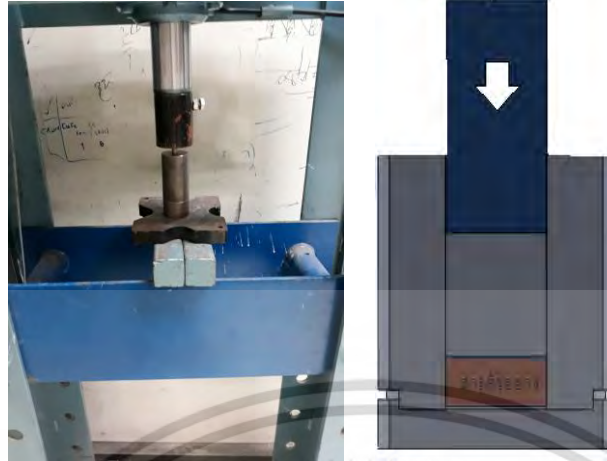


รูปที่ 3.1 การบดผสมด้วยลูกบด (Ball-milling)

3.1.3) เมื่อทำการบดเรียบร้อยแล้วมากรองผ่านตะแกรงกรองใส่บีกเกอร์และใช้เอทิลแอลกอฮอล์ล้างลูกบดจนสะอาด แล้วจึงอบแห้ง 24 ชั่วโมง ซึ่งการอบในตูอบสารนี้จะทำงานโดยใช้ความร้อนให้แอลกอฮอล์ระเหยได้ไวขึ้นและการดูดความชื้นช่วยให้เหลือแต่สารที่อบเพียงอย่างเดียว

3.1.4) นำมาบดเป็นผงละเอียดบรรจุใส่ถ้วยอลูมินา แล้วทำการเผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง การเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็งเป็นการเกิดปฏิกิริยาที่มีการสลายตัวของตัวทำปฏิกิริยาเกิดเป็นของแข็งชนิดใหม่กับก๊าซ โดยให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นที่มีลักษณะเป็นของแข็งเพื่อทำให้เกิดการสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยาและเกิดเป็นของแข็งชนิดใหม่ ขึ้นมา เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการแคลไซน์ (Calacination)

3.1.5) นำมาบดเป็นผงละเอียด ซึ่งโดยน้ำหนัก 6 กรัม จากนั้นอัดบล็อกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตรแล้วจึงนำไปเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงการเผา ผนึก (Sintering) คือกระบวนการทางความร้อนที่ทำให้อนุภาคเกิดการสร้างพันธะกันอย่างสมดุลที่มีจะเกิดขึ้นในระดับอะตอม การเกิดพันธะเชื่อมต่อกันดังกล่าวทำให้มีความแข็งแรงสูงขึ้นและมีพลังงานลดลง นอกจากนี้ยังอาจจะกล่าวได้ว่าการเผา ผนึกนั้นหมายถึงการจัดรูปที่อยูระหว่างผง เริ่มต้นและมีความหนาแน่นมากขึ้น โดยอาศัยการหดตัวขององค์ประกอบที่เชื่อมอยู่ติดกันแล้วโต ไปด้วยกัน โดยมีการสร้างพันธะที่แข็งแรงระหว่างอนุภาคที่อยู่ติดกันมากขึ้นทุกขั้นตอนที่อยู่ ระหว่างการเปลี่ยนสภาพขึ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูป ไปเป็นโครงสร้างจุลภาคที่ประกอบด้วยกรยึด เกาะกันของเกรนต่างๆ เมื่อเผาผนึกขึ้นรูปเสร็จแล้วก็จะได้แท่งเซลล์โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกดังรูปที่ 3.2

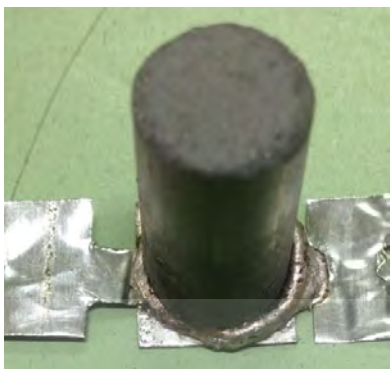


รูปที่ 3.2 แบบการอัดสารตัวอย่างและแสดงการอัดสารตัวอย่างจากบล็อกจริง



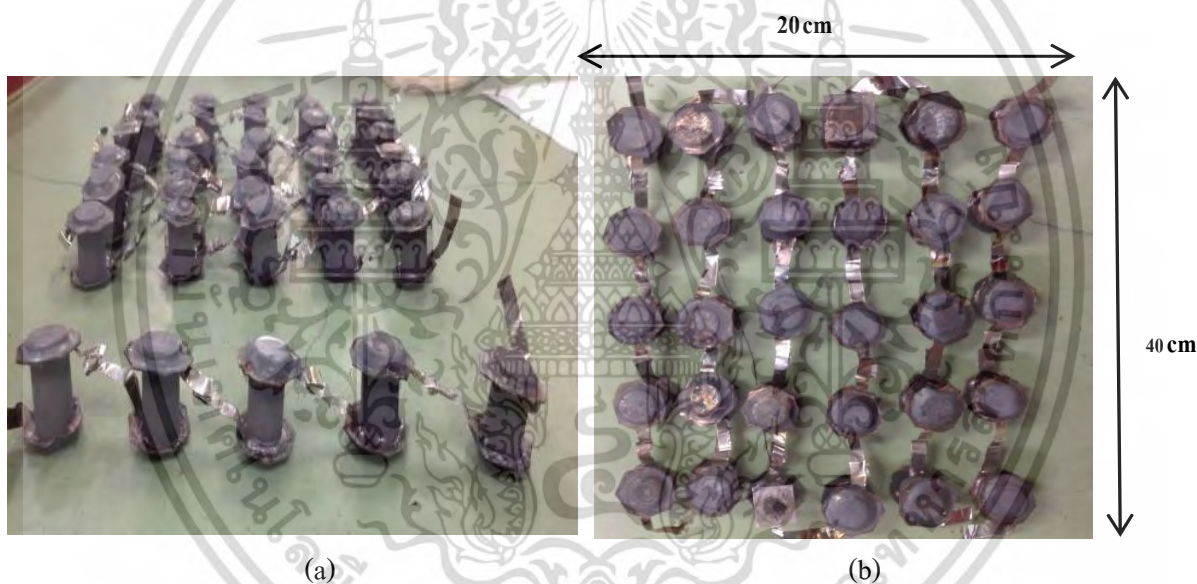
รูปที่ 3.3 แท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร

3.1.6) ขั้นตอนการเชื่อมขั้วไฟฟ้า ทำการตัดลวดเชื่อมทองแดงที่มีส่วนผสมของเงิน 5% ขนาด 2 เซนติเมตรได้ลงบนเบ้าหลอมเกรไฟต์ ทำการหลอมลวดเชื่อมทองแดงที่มีส่วนผสมของเงิน การนั้นเทลงบนเบ้าเซรามิกที่มีแผ่นฐานรองสแตนเลสกับฟอยล์สแตนเลสอยู่ด้านล่างแล้วก็กดแท่งเทอร์โมอิเล็กทริกลงไปบนเบ้า เซรามิอย่างรวดเร็ว ซึ่งขณะที่ลวดทองแดงหลอมมีอุณหภูมิสูงลงบนแผ่นฐานรองสแตนเลสกับฟอยล์สแตนเลส ช่วยให้แผ่นฐานรองสแตนเลสกับฟอยล์สแตนเลสและแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเชื่อมติดกันจะได้ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 การเชื่อมขั้วไฟฟ้าแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

3.1.7) ขั้นตอนการต่อแผงโดยขั้วไฟฟ้าต่อแบบอนุกรมดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 (a) การเชื่อมต่อแบบอนุกรม (b) ต่อเข้าแผงพื้นที่ขนาด 20 x 40 เซนติเมตร

3.1.8) ผลการทดสอบแท่งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ เมื่อทำการทดสอบแท่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 โมดูล ที่ได้พัฒนาในการเชื่อมขั้วไฟฟ้านี้ทดสอบกับเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำแท่งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกต่อเข้ากับแผงเพื่อไปติดตั้งกับทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนที่ได้ออกแบบไว้ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.6





รูปที่ 3.6 ผลการทดสอบแท่งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ

สรุปขั้นตอนการทดลอง การพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน ตามแผนผังในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนขั้นตอนการพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน

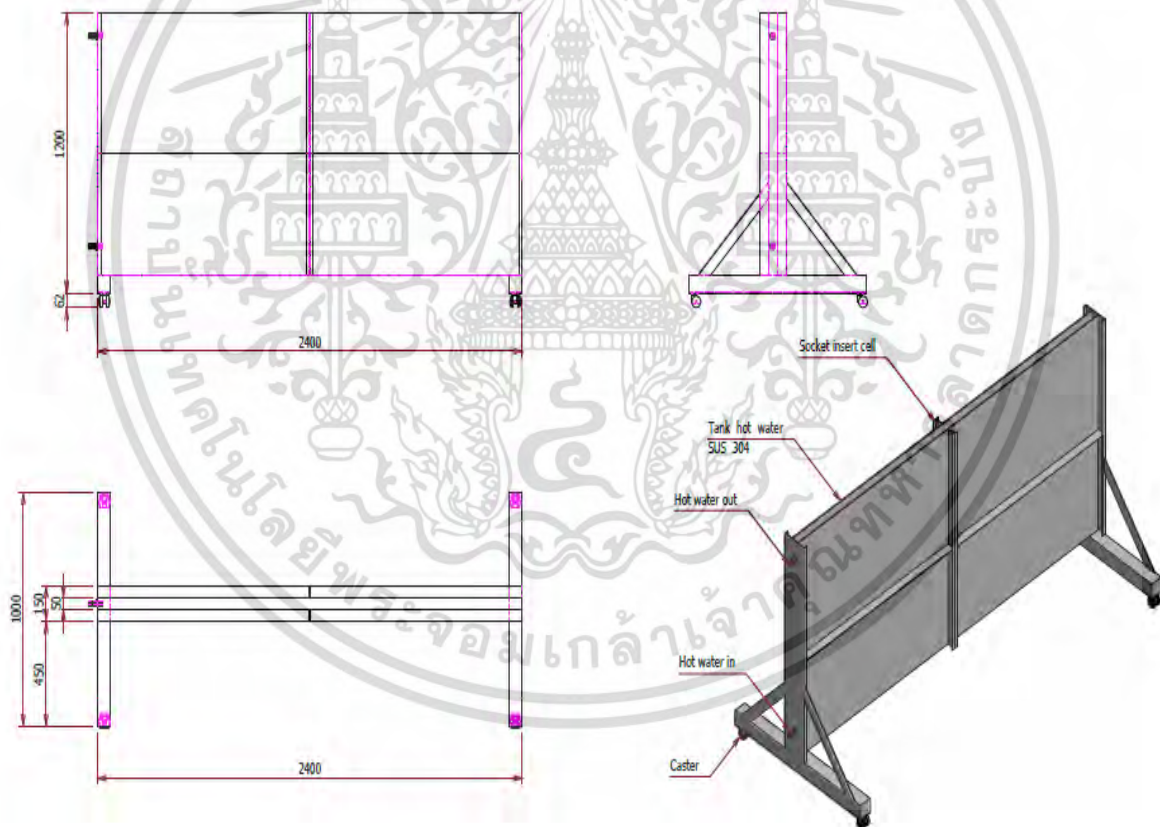
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.2 สร้างทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า (Thermoelectric heat chamber tower)

การออกแบบและสร้างทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า ทำด้วยวัสดุที่สามารถส่งผ่านความร้อนได้ดีและทนอุณหภูมิสูงได้ โดยมีการออกแบบให้สามารถติดตั้งแผงเทอร์โมอิเล็กทริกได้ง่ายสะดวกต่อการติดตั้ง โดยเป็นห้องกักเก็บความร้อนจากจากแสงอาทิตย์ระบบรางพาราโบลาเพื่อผลิตไฟฟ้า ทาวเวอร์เป็นห้องทรงสี่เหลี่ยม ขนาดความกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร และสูง 1.2 เมตร ทำด้วยสแตนเลส 310S ทนความร้อนสูง และสามารถส่งผ่านความร้อนได้ดี ตั้งบนชั้นลาดฟ้าติ๊กคณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะติดตั้งในแนวนอน มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.1) ทำการออกแบบ และสร้างทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.8



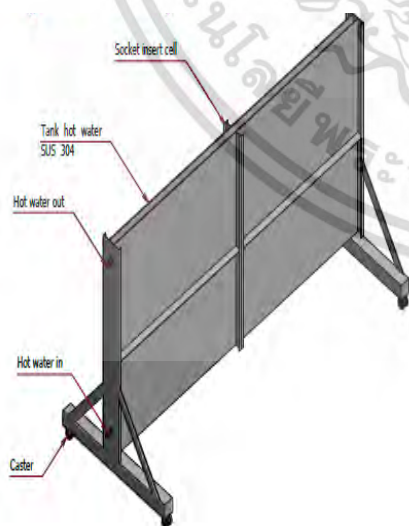
รูปที่ 3.8 การออกแบบทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า

### 3.2.2) ส่วนประกอบโครงสร้างเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า

จากแบบข้างต้นได้เริ่มสร้างชุดโครงเหล็กส่วนประกอบโครงสร้างเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 ชุดโครงสร้างเหล็กส่วนประกอบโครงสร้างเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 โครงสร้างและส่วนประกอบทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้าที่สร้างเสร็จจริงตามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3) การหุ้มฉนวนกันความร้อนทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า

การหุ้มฉนวนกันความร้อนทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อน เพื่อการป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อนหรือมีการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุดจากภายในทาวเวอร์สู่ภายนอกสิ่งแวดล้อม เป็นการช่วยให้ทาวเวอร์สามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้นานได้ตามที่อุณหภูมิความร้อนที่เราต้องการได้ ซึ่งฉนวนที่เลือกใช้เป็นแบบฉนวนใยแก้ว ชนิดทนความร้อนสูง สามารถทนความร้อนได้ถึง  $540^{\circ}\text{C}$  และใช้ร่วมกับแผ่นฉนวนแคลเซียมซิลิเกต ดังรูปที่ 3.11

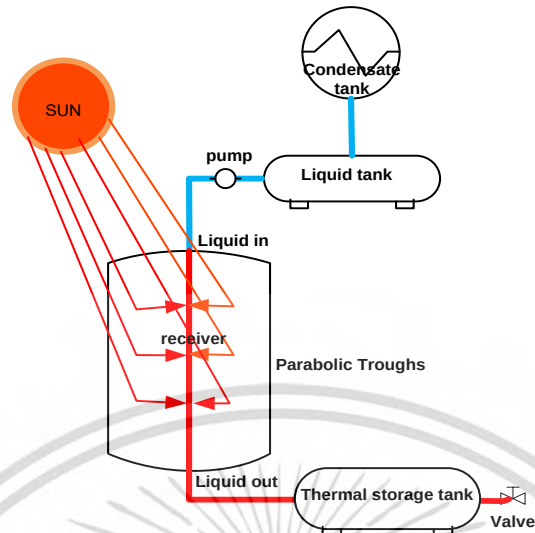


รูปที่ 3.11 การหุ้มฉนวนกันความร้อนทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า

### 3.3 การสร้างระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบรางพาราโบลา (PARABOLIC TROUGH SYSTEM)

การออกแบบระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบรางพาราโบลา (PARABOLIC TROUGH SYSTEM) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนจากความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระบบรางพาราโบลา ดังรูปที่ 3.12 มีรายละเอียดของอุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้





รูปที่ 3.12 ระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบรางพาราโบลา

3.3.1 ฐานและโครงสร้าง ของระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบรางพาราโบลา ทำด้วยเหล็กกล้าสามารถปรับหมุนตามทิศทางแสงจากดวงอาทิตย์แกนเดียวเคลื่อนที่ได้ และสามารถถอดประกอบเป็นชุดเคลื่อนย้ายได้ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ฐานและโครงสร้างระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบรางพาราโบลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.3.2. รางพาราโบลิค (Parabolic Troughs) ใช้กระจกหรือแผ่นสะท้อนและรวมแสงและหมุนตามดวงอาทิตย์เพื่อสะท้อนแสงและส่งไปยังตัวรับแสงซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งแผ่นเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร ติดตั้งแบบโค้งงอตามโครงสร้างที่ได้สร้างไว้ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 รางพาราโบลิค (Parabolic Troughs) ใช้แผ่นสะท้อนและรวมแสง

3.3.3 ท่อหลอดแก้วโฟกัสแสง ทำการติดตั้งขนานกับแนวรางรวมแสงเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับของเหลวที่ไหลหมุนเวียนผ่านท่อโดยการแลกเปลี่ยนความร้อน ความร้อนเมื่อถูกถ่ายเทให้ของเหลวทำงานจะกลายเป็นไอร้อน โดยท่อที่ใช้เป็นวัสดุที่ทำจากทองแดง เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดี ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ท่อหลอดแก้วโฟกัสแสง

3.3.4 การประกอบระบบท่อหลอดแก้วไฟก๊สแสงเข้ากับโครงสร้าง จากข้อข้างต้นได้ทำการติดตั้งส่วนประกอบต่างๆ ของระบบรวบรวมแสงเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.16 เป็นระบบรางพาราโบลาและระบบท่อหลอดแก้วไฟก๊สแสงที่ประกอบเข้าด้วยกันกับโครงสร้างเสร็จแล้ว ประด้วย 3 ชุด ซึ่งสามารถแยกแต่ละชุดประกอบเข้ากันได้เพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย



รูปที่ 3.16 การประกอบระบบท่อหลอดแก้วไฟก๊สแสงเข้ากับ โครงสร้าง

3.3.5 ระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) เป็นถังกักเก็บความร้อนขนาดความจุ 100 ลิตร ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะสารที่ของเหลวกลายเป็นไอร้อนจากการผ่านระบบรางพาราโบลาและระบบท่อหลอดแก้วไฟก๊สแสง โดยของเหลวที่ใช้ในระบบคือ เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) ที่มีจุดเดือด  $197^{\circ}\text{C}$  ให้อุณหภูมิสูงขึ้นมากก็เก็บเอาไว้ เพื่อส่งต่อไปยังห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้าทาวเวอร์ สามารถให้อุณหภูมิที่สูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยไม่ต้องใช้ระบบการจัดมลพิษทางอากาศ ประกอบ ระบบความดันและวัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.17

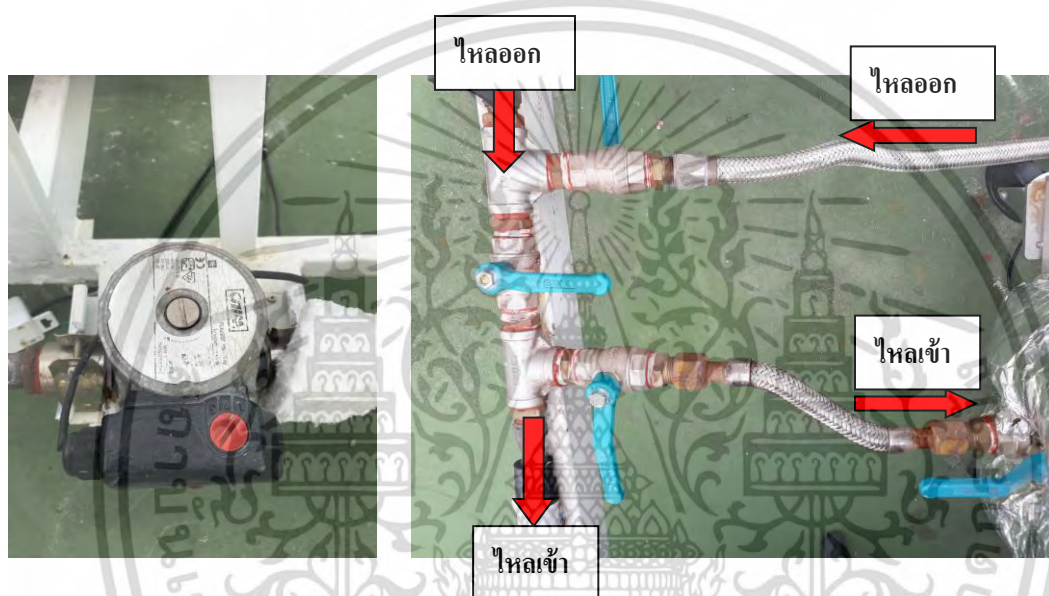


รูปที่ 3.17 ระบบกักเก็บความร้อน และเอทิลีน ไกลคอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.3.6 ระบบปั๊มและวาล์วควบคุมทิศทางอัตราการไหลวน ปั๊มเป็นชนิดสามารถควบคุมการไหลได้ 3 ระดับ คือ 1.) ระดับสูง 2.) ระดับกลาง และ 3.) ระดับต่ำ ตามที่เราต้องการได้โดยใช้ปุ่มสีแดงโดยมีวาล์วต่อตรง วาล์ว 3 ทาง ที่สามารถทนความร้อนได้และความคุมทิศทางอัตราการไหลวนของระบบซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับระบบท่อหลอดแก้วโฟกัสแสง ระบบกักเก็บความร้อนและความร้อนทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ปั๊มและท่อส่งความร้อน

3.3.6 ระบบควบคุม (Control System) ประกอบด้วย เซนเซอร์แสงสำหรับปรับมุมระบบรางพาราโบลิคโฟกัสแสงตามแสงอาทิตย์ ซึ่งต่อเข้าสู่ควบคุมระบบ โดยภายในตู้ควบคุมสามารถควบคุมระบบได้ 2 ระบบคือ ระบบ Auto เป็นการควบคุมการทำงานของระบบแบบอัตโนมัติตามที่เราต้องการ และระบบ Manual เป็นการกำหนดการทำงานของระบบเองด้วยมือตามที่เราต้องการ และมีระบบตั้งเวลาเปิด-ปิดได้ด้วย Timer ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ระบบควบคุม (Control System)

### 3.4 การติดตั้งระบบความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนด้วยระบบรางพาราโบลา (PARABOLIC TROUGH SYSTEM)

นำอุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นของต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนทำการติดตั้งจริงบนชั้นดาดฟ้าตึกคณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งระบบรางพาราโบลาติดตั้งในแนวทิศ ตะวันออก-ตก ด้วยระบบเข็มทิศเป็นทิศการรับแสงอาทิตย์ ในดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ติดตั้งจริงต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



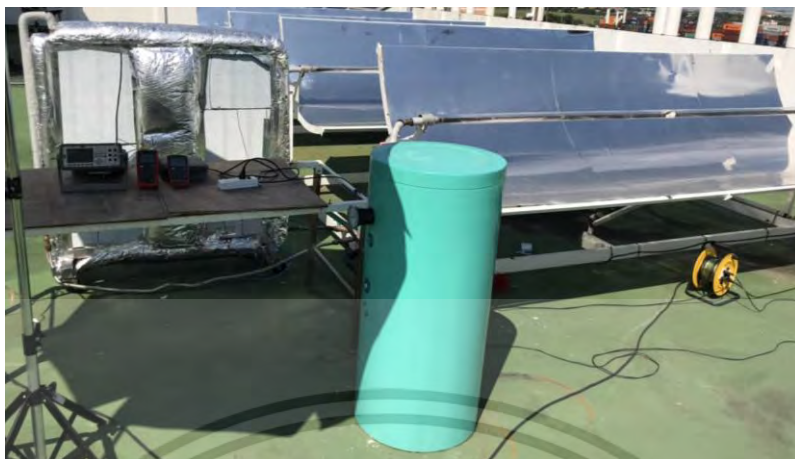
### 3.5 ประกอบติดตั้งแผงวงจรโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนและทำการทดสอบไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกเบื้องต้น

การติดตั้งแผงเทอร์โมอิเล็กทริก ขนาดความกว้างและความยาว 20x40 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยภายในประกอบด้วยแท่งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 100 โมดูล ต่อวงจรไฟฟ้าแบบผสมทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน ซึ่งแผงทำด้วยวัสดุที่สามารถทนความร้อนได้สูงและเป็นฉนวนได้ด้วย โดยออกแบบให้ส่งผ่านความร้อนได้ดีมายังตัวแผงเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เรียกว่า “ด้านร้อน” และชั้นฉนวนอยู่ระหว่างกลางและแผ่ระบายความร้อนด้วยน้ำอยู่ชั้นนอกสุด เรียกว่า “ด้านเย็น” ทำให้สามารถผลิตต่างอุณหภูมิไว้ได้ ซึ่งแผงเทอร์โมอิเล็กทริกก็สามารถผันความร้อนเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้โดยตรงเมื่อเกิดผลต่างอุณหภูมิขึ้น ซึ่งนำไปติดตั้งจริงเข้าทาวเวอร์เป็นห้องความร้อนผลิตไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.21



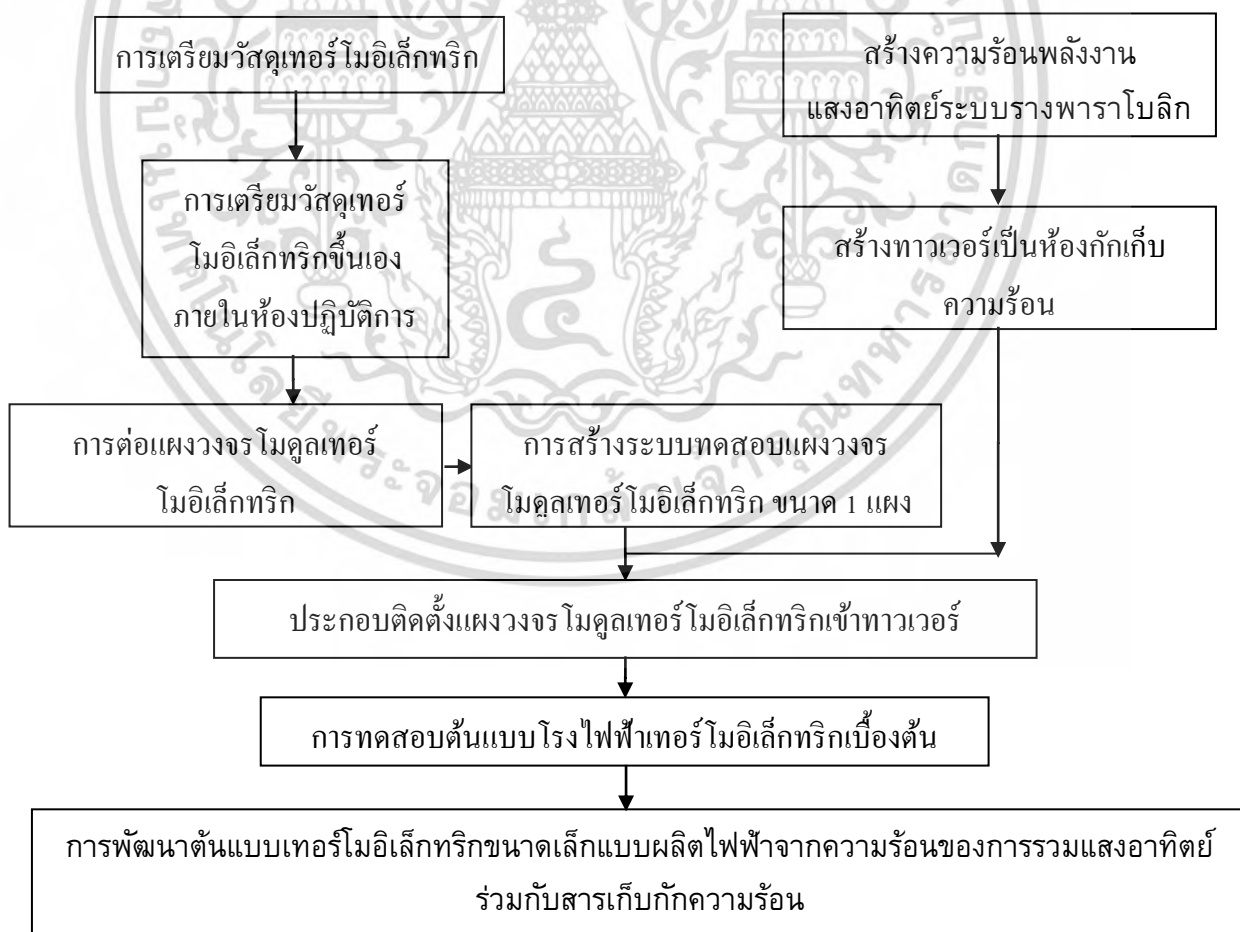
รูปที่ 3.21 การติดตั้งแผงวงจรโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน

การทดสอบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนเบื้องต้น เพื่อวัดและปรับตั้งค่าต่างๆ ให้ค่าที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยทำการวัดอุณหภูมิค่าความร้อนของระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) ระบบทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า ที่ได้จากแสงอาทิตย์ระบบรางพาราโบลา และวัดค่าทางไฟฟ้าเบื้องต้นของแผงวงจรโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดตั้งกับต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การทดสอบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนเบื้องต้น

### สรุปขั้นตอนการทำงานวิจัย (Work Flow Diagram)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

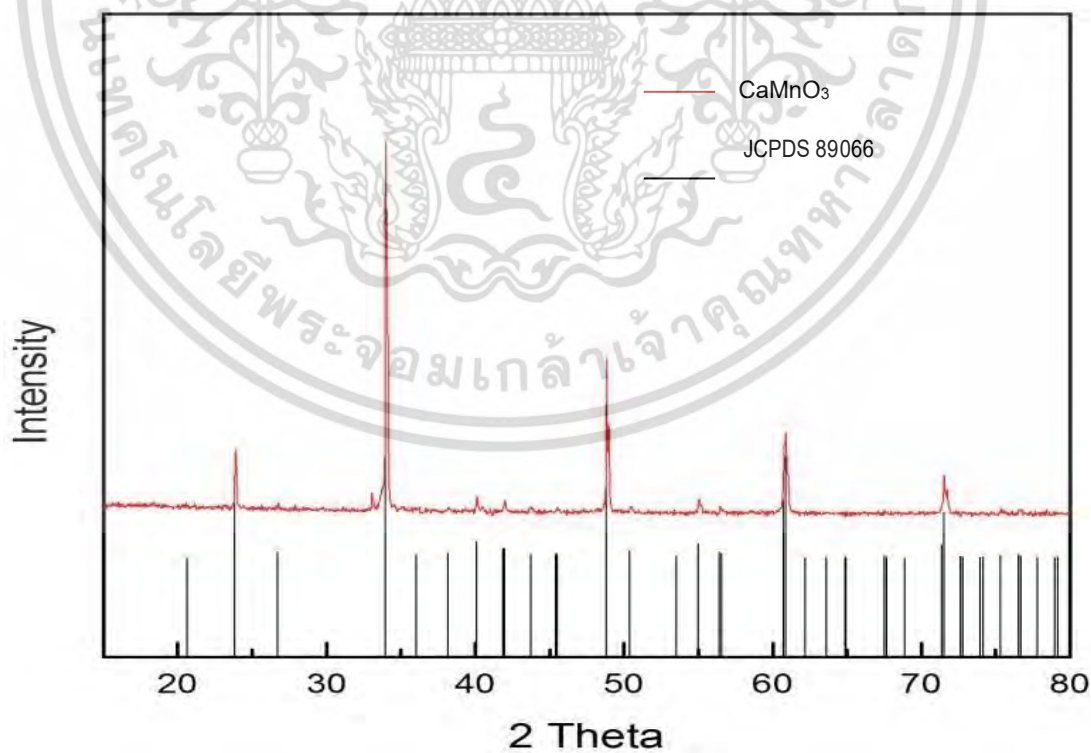
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ $\text{CaMnO}_3$

##### 4.1.1 การวิเคราะห์ ผลด้วย XRD

จากการสังเคราะห์วัสดุ  $\text{CaMnO}_3$  โดยใช้  $\text{CaCO}_3$  ผสมกับ  $\text{MnO}_2$  นำมาบดเป็นผงละเอียดบรรจุใส่ถ้วยอลูมินา แล้วทำการเผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง การเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็งเป็นการเกิดปฏิกิริยาที่มีการสลายตัวของตัวทำปฏิกิริยาเกิดเป็นของแข็งชนิดใหม่กับก๊าซ โดยให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นที่มีลักษณะเป็นของแข็งเพื่อทำให้เกิดการสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยาและเกิดเป็นของแข็งชนิดใหม่ ขึ้นมา เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการแคลไซน์ (Calacination) แล้วนำมาวิเคราะห์ผลด้วย XRD ดังรูปที่ 4.1





### รูปที่ 4.1 แบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผงแคลเซียมแมงกานีสออกไซด์

#### 4.1.2 ผลการวัดค่า Seebeck coefficient ของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก $\text{CaMnO}_3$

ผลการวัดค่า Seebeck coefficient ของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก  $\text{CaMnO}_3$  ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่า Seebeck coefficient ของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก  $\text{CaMnO}_3$

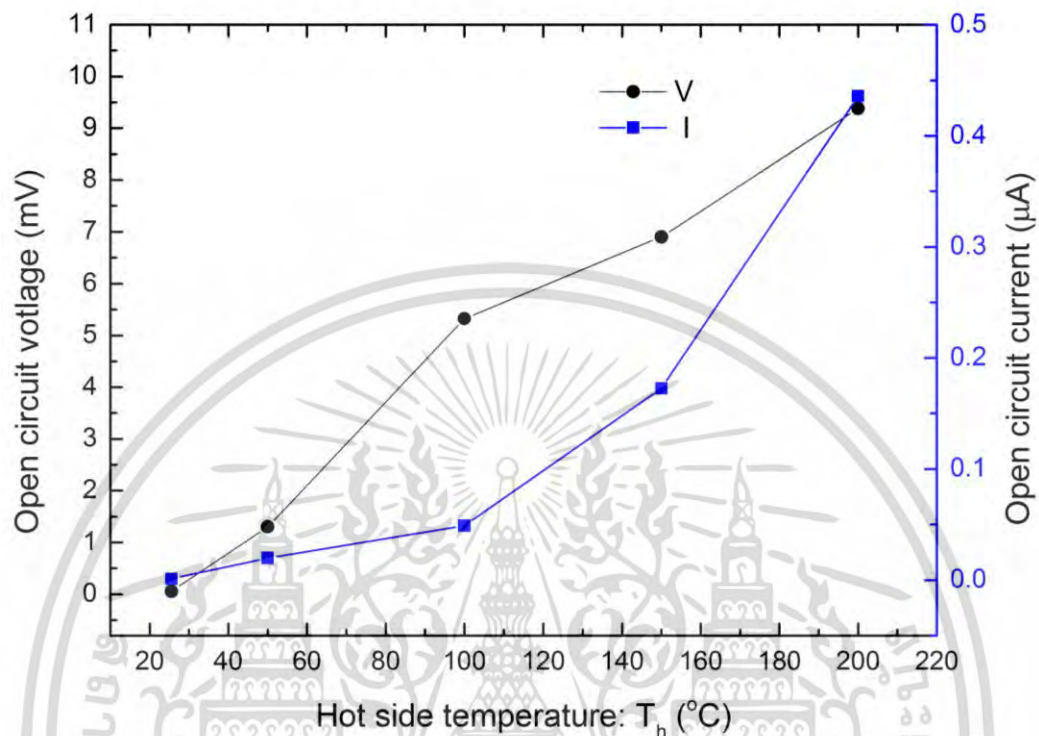
| Temperaure<br>(Celcius) | Resistivity<br>(Ohm m) | Seebeck Coefficient<br>(V/K) | Power Factor<br>(W/mK <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 31.06                   | 8.74E-03               | -5.41E-04                    | 3.35E-05                             |
| 50.22                   | 8.24E-03               | -5.56E-04                    | 3.75E-05                             |
| 97.06                   | 7.30E-03               | -5.59E-04                    | 4.28E-05                             |
| 146.65                  | 6.57E-03               | -5.33E-04                    | 4.33E-05                             |
| 193.82                  | 5.92E-03               | -5.28E-04                    | 4.71E-05                             |
| 245.21                  | 5.43E-03               | -4.86E-04                    | 4.34E-05                             |
| 295.12                  | 4.86E-03               | -5.34E-04                    | 5.86E-05                             |

#### 4.2 ผลการทดสอบค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก $\text{CaMnO}_3$ ในห้องปฏิบัติการ

##### 4.2.1 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 1 โมดูล ต่อแบบอนุกรม

ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในห้องปฏิบัติการ เมื่อนำโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล (ที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นเองจากสาร  $\text{CaMnO}_3$  ในห้องปฏิบัติการ) มาทำการทดลองบนเตาความร้อน (hot plate) เพื่อทดสอบการทนความร้อน และสร้างความแตกต่างของความร้อนระหว่างด้านที่สัมผัสหน้าเตากับด้านที่ไม่สัมผัสหน้าเตา ผลปรากฏว่า เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถทนความร้อนได้ที่อุณหภูมิเกิน 200 °C ถึง 800 °C (นำมาติดตั้งให้กับต้นแบบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนได้) และสามารถสร้างความแตกต่างของความร้อน (เป็นการเปลี่ยนแปลงความร้อนจากด้านที่ให้ความร้อนกับด้านที่ไม่ได้ให้ความร้อนหรือด้านเย็นกว่า) ถึง 171.8 °C และผลการทดสอบการวัดค่าทางไฟฟ้าเทียบกับผลต่างอุณหภูมิในช่วงต่างๆ พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 9.38 mV, กระแสไฟฟ้า 0.4356  $\mu\text{A}$  และสามารถคงค่าศักย์ไฟฟ้าไว้ได้นานตามระยะเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.2 แสดงผลวัดค่าไฟฟ้าต่างๆ แสดงให้เห็นว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถผันความร้อนให้เป็นไฟฟ้าได้ในตัวเองโดยตรง ในทันทีทันใด ซึ่งไปตาม

ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) และค่าทางไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิโดยมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เบื้องต้นสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลต่อแบบอนุกรม

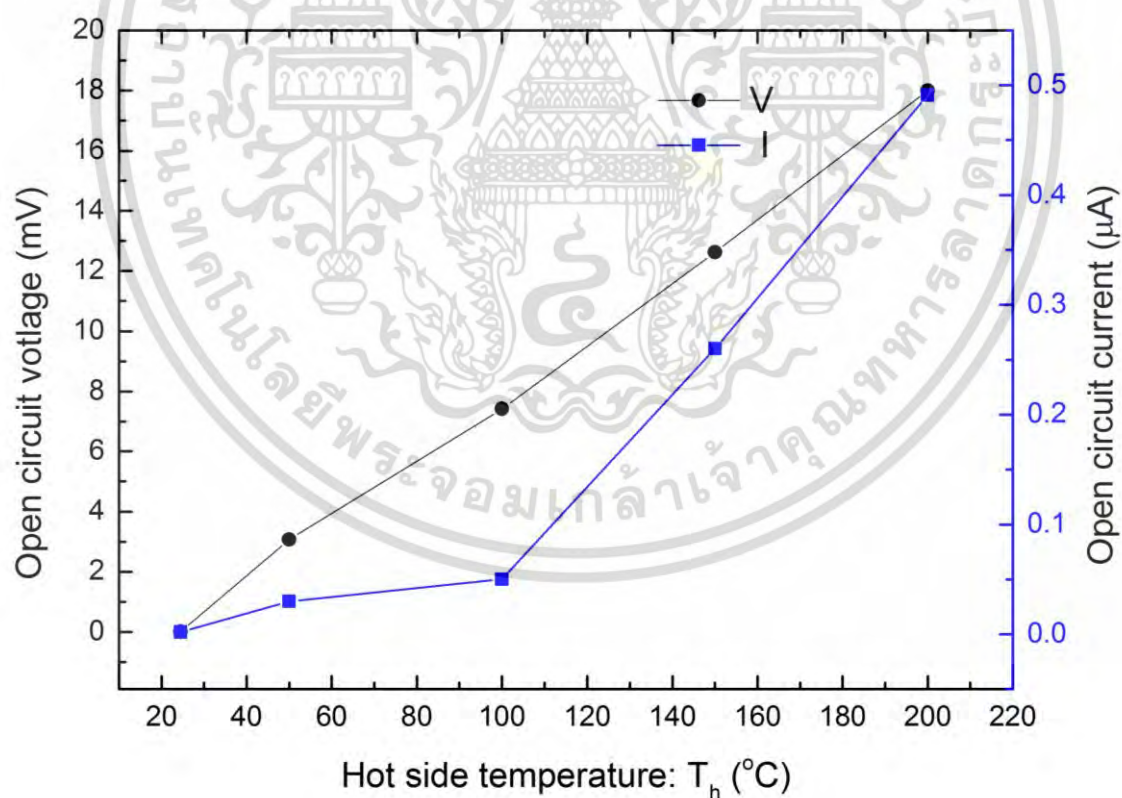
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 1 โมดูล ต่อแบบอนุกรม

| อุณหภูมิ<br>ด้านเย็น<br>( $T_{\text{cold}}$ )<br>(°C) | อุณหภูมิ<br>ด้านร้อน<br>( $T_{\text{hot}}$ )<br>(°C) | ผลต่าง<br>อุณหภูมิ<br>$\Delta T$<br>(°C) | ความต้าน<br>ทานไฟฟ้า<br>(R)<br>( $\Omega$ ) | ความต่าง<br>ศักย์ไฟฟ้า<br>(V)<br>(mV) | กระแส<br>ไฟฟ้า<br>(I)<br>(μA) |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| 25.5                                                  | 25.5                                                 | 0                                        | 219.86                                      | 0.06                                  | 0.0010                        |
| 27.5                                                  | 50.0                                                 | 22.50                                    | 137.44                                      | 1.30                                  | 0.0200                        |
| 29.2                                                  | 100.0                                                | 70.80                                    | 50.66                                       | 5.32                                  | 0.0490                        |
| 34.9                                                  | 150.0                                                | 115.10                                   | 28.59                                       | 6.90                                  | 0.1726                        |
| 40.2                                                  | 200.0                                                | 171.80                                   | 23.57                                       | 9.38                                  | 0.4356                        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 2 โมดูล ต่อแบบอนุกรม

ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในห้องปฏิบัติการ เมื่อนำโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล พบว่า ที่อุณหภูมิด้านร้อน  $200^{\circ}\text{C}$  มีความแตกต่างของความร้อน (เป็นการเปลี่ยนแปลงความร้อนจากด้านที่ให้ความร้อนกับด้านที่ไม่ได้ให้ความร้อนหรือด้านเย็นกว่า) ถึง  $158^{\circ}\text{C}$  และผลการทดสอบการวัดค่าทางไฟฟ้า เทียบกับผลต่างอุณหภูมิในช่วงต่างๆ พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด  $18.00\text{ mV}$ , กระแสไฟฟ้า  $0.491\text{ }\mu\text{A}$  และสามารถคงค่าศักย์ไฟฟ้าไว้ได้นานตามระยะเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.3 แสดงผลวัดค่าไฟฟ้าต่างๆ แสดงให้เห็นว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถผันความร้อนให้เป็นไฟฟ้าได้ในตัวเองโดยตรง ในทันทีทันใด ซึ่งไปตามปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) และค่าทางไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิโดยมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นและการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมของโมดูลทั้งสอง มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าตามจำนวนเท่าของโมดูล



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เบื้องต้นสำหรับ



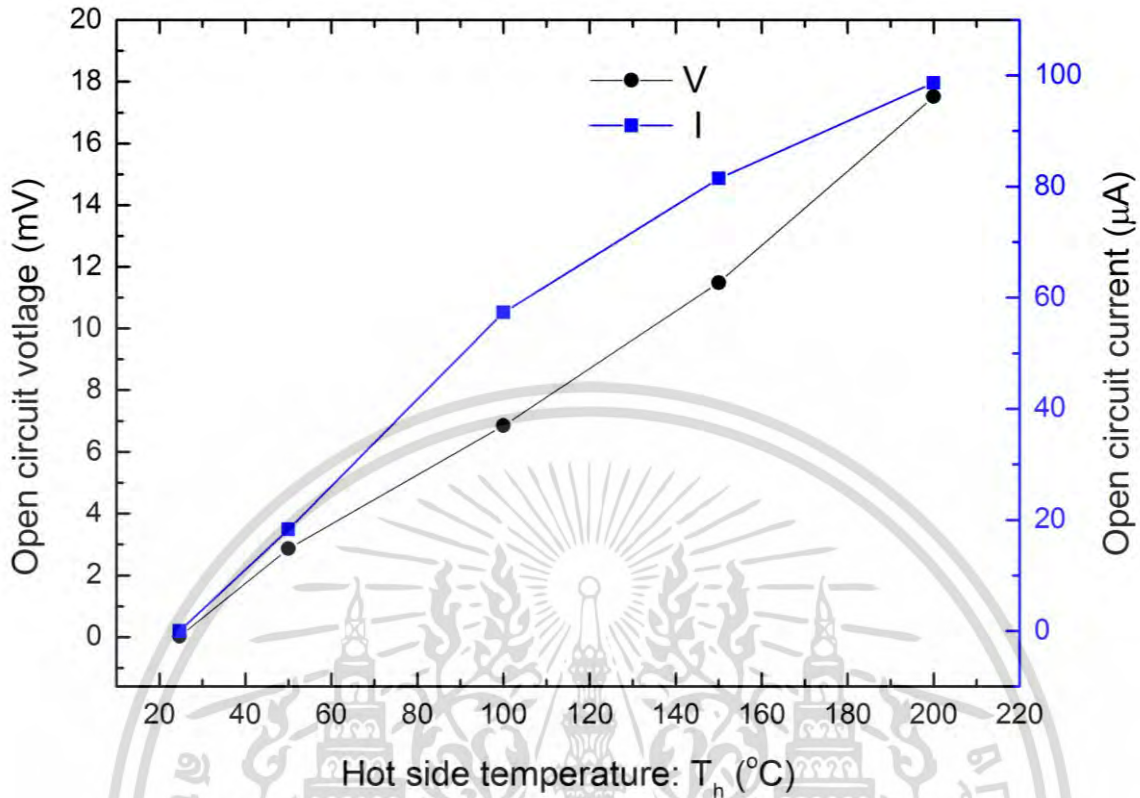
## เทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลต่อแบบอนุกรม

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 2 โมดูล ต่อแบบอนุกรม

| อุณหภูมิ<br>ด้านเย็น<br>( $T_{\text{cold}}$ )<br>(°C) | อุณหภูมิ<br>ด้านร้อน<br>( $T_{\text{hot}}$ )<br>(°C) | ผลต่าง<br>อุณหภูมิ<br>$\Delta T$<br>(°C) | ความต้าน<br>ทานไฟฟ้า<br>(R)<br>( $\Omega$ ) | ความต่าง<br>ศักย์ไฟฟ้า<br>(V)<br>(mV) | กระแส<br>ไฟฟ้า<br>(I)<br>( $\mu\text{A}$ ) |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| 24.5                                                  | 24.5                                                 | 0.0                                      | 440.997                                     | 0.012                                 | 0.002                                      |
| 25.4                                                  | 50.0                                                 | 24.6                                     | 273.525                                     | 3.070                                 | 0.030                                      |
| 29.8                                                  | 100.0                                                | 70.2                                     | 87.228                                      | 7.420                                 | 0.050                                      |
| 34.7                                                  | 150.0                                                | 115.3                                    | 50.279                                      | 12.620                                | 0.260                                      |
| 42.0                                                  | 200.0                                                | 158.0                                    | 45.930                                      | 18.00                                 | 0.491                                      |

## 4.2.3 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 2 โมดูล ต่อแบบขนาน

ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในห้องปฏิบัติการ เมื่อนำโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูล ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน พบว่า ที่อุณหภูมิด้านร้อน 200 °C มีความแตกต่างของความร้อน (เป็นการเปลี่ยนแปลงความร้อนจากด้านที่ให้ความร้อนกับด้านที่ไม่ได้ให้ความร้อนหรือด้านเย็นกว่า) ถึง 163.2 °C และผลการทดสอบการวัดค่าทางไฟฟ้าเทียบกับผลต่างอุณหภูมิในช่วงต่างๆ พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 17.5 mV, กระแสไฟฟ้า 98.68  $\mu\text{A}$  และสามารถคงค่าศักย์ไฟฟ้าไว้ได้นานตามระยะเวลา แสดงผลวัดค่าไฟฟ้าต่างๆ ให้เห็นว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถผันความร้อนให้เป็นไฟฟ้าได้ในตัวเองโดยตรง ในทันทีทันใด ซึ่งไปตามปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่แต่มีค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิโดยมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.4



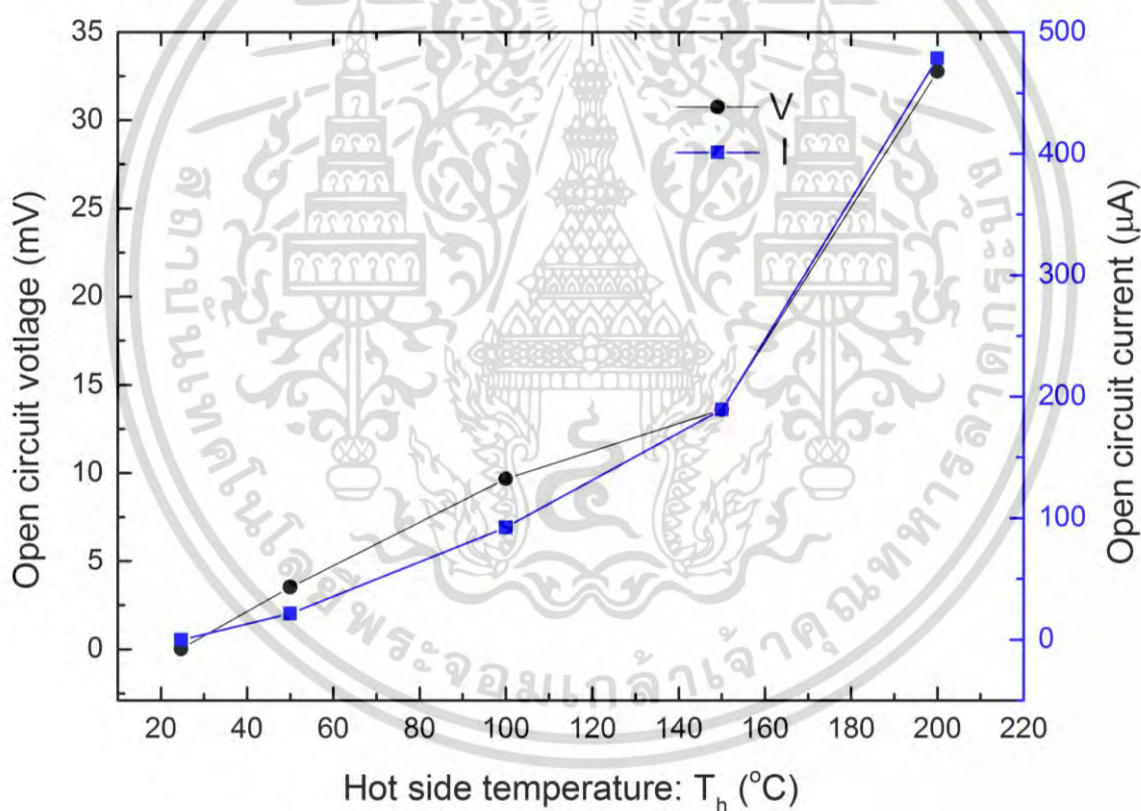
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เบื้องต้นสำหรับ เทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลต่อแบบขนาน

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 2 โมดูล ต่อแบบขนาน

| อุณหภูมิ<br>ด้านเย็น<br>( $T_{cold}$ )<br>(°C) | อุณหภูมิ<br>ด้านร้อน<br>( $T_{hot}$ )<br>(°C) | ผลต่าง<br>อุณหภูมิ<br>$\Delta T$<br>(°C) | ความต้าน<br>ทานไฟฟ้า<br>(R)<br>( $\Omega$ ) | ความต่าง<br>ศักย์ไฟฟ้า<br>(V)<br>(mV) | กระแส<br>ไฟฟ้า<br>(I)<br>( $\mu A$ ) |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 24.7                                           | 24.7                                          | 0                                        | 96.63                                       | 0.022                                 | 0.005                                |
| 25.4                                           | 50                                            | 24.6                                     | 68.19                                       | 2.87                                  | 18.28                                |
| 27.4                                           | 100                                           | 72.6                                     | 25.93                                       | 6.85                                  | 57.35                                |
| 30.2                                           | 150                                           | 119.8                                    | 15.32                                       | 11.49                                 | 81.45                                |
| 36.8                                           | 200                                           | 163.2                                    | 14.61                                       | 17.52                                 | 98.68                                |

#### 4.2.4 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 10 โมดูล ต่อแบบขนาน

ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในห้องปฏิบัติการ เมื่อนำโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 10 โมดูล ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน พบว่า ที่อุณหภูมิด้านร้อน  $200^{\circ}\text{C}$  มีความแตกต่างของความร้อน (เป็นการเปลี่ยนแปลงความร้อนจากด้านที่ให้ความร้อนกับด้านที่ไม่ได้ให้ความร้อนหรือด้านเย็นกว่า) ถึง  $163.5^{\circ}\text{C}$  และผลการทดสอบการวัดค่าทางไฟฟ้าเทียบกับผลต่างอุณหภูมิในช่วงต่างๆ พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด  $32.76\text{ mV}$ , กระแสไฟฟ้า  $478.617\text{ }\mu\text{A}$  และสามารถคงค่าศักย์ไฟฟ้าไว้ได้นานตามระยะเวลา แสดงผลวัดค่าไฟฟ้าต่างๆ ให้เห็นว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถผันความร้อนให้เป็นไฟฟ้าได้ในตัวเองโดยตรง ในทันทีทันใด ซึ่งไปตามปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) และมีค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิโดยมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เบื้องต้นสำหรับ  
เทอร์โมอิเล็กทริก 10 โมดูลต่อแบบขนาน



ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 10 โมดูล ต่อแบบขนาน

| อุณหภูมิ<br>ด้านเย็น<br>( $T_{\text{cold}}$ )<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | อุณหภูมิ<br>ด้านร้อน<br>( $T_{\text{ร้อน}}$ )<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | ผลต่าง<br>อุณหภูมิ<br>$\Delta T$<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | ความต้าน<br>ทานไฟฟ้า<br>( $R$ )<br>( $\Omega$ ) | ความต่าง<br>ศักย์ไฟฟ้า<br>( $V$ )<br>(mV) | กระแส<br>ไฟฟ้า<br>( $I$ )<br>( $\mu\text{A}$ ) |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 24.7                                                                    | 24.7                                                                    | 0.00                                                       | 181.390                                         | 0.013                                     | 0.002                                          |
| 25.0                                                                    | 50.0                                                                    | 25.00                                                      | 162.908                                         | 3.518                                     | 21.595                                         |
| 26.2                                                                    | 100.0                                                                   | 73.80                                                      | 104.686                                         | 9.672                                     | 92.397                                         |
| 31.3                                                                    | 150.0                                                                   | 118.70                                                     | 72.673                                          | 13.594                                    | 189.420                                        |
| 36.5                                                                    | 200.0                                                                   | 163.50                                                     | 67.028                                          | 32.769                                    | 478.617                                        |

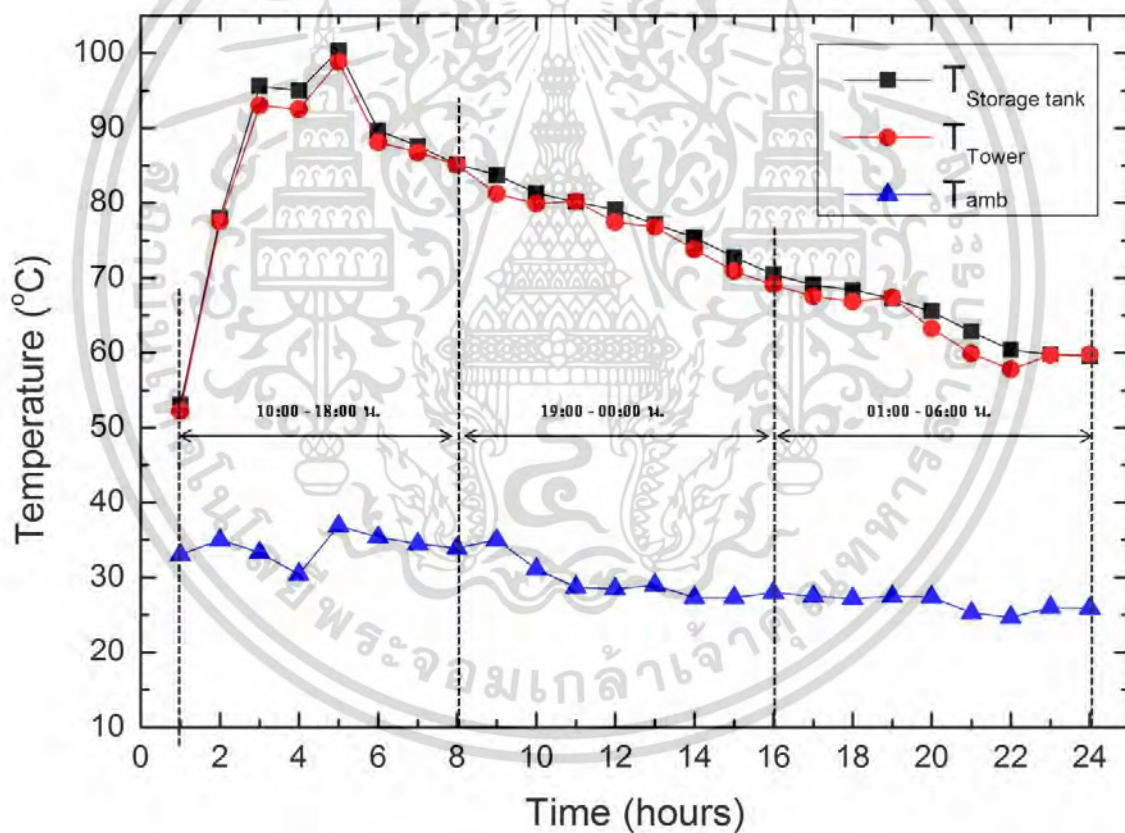
#### 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองอุณหภูมิระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) และทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า

ในการทดลองอุณหภูมิระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) และทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า โดยใช้สารกักเก็บเป็นของเหลว 2 ชนิด เปรียบเทียบกัน คือ น้ำ กับ เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) เป็นสารกักเก็บให้แก่วัสดุ ซึ่งได้ทดลองผลของอุณหภูมิดังต่อไปนี้

##### 4.3.1 ผลการทดลองอุณหภูมิระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) และทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้าโดยใช้น้ำเป็นสารกักเก็บความร้อน

จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 10:00 น. ถึง 9:00 น. ในวันที่ 2-3 ตุลาคม 2561 รวมแล้วเป็นการเก็บข้อมูลใช้เวลา 24 ชั่วโมง ทั้งกลางวันและกลางคืน พบว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้นสียาทิตย์เพิ่มขึ้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อความเข้มข้นสียาทิตย์ลดลงอุณหภูมิก็นลดลงตาม แสดงว่าอุณหภูมิแปรผันตามความเข้มข้นสียาทิตย์ สำหรับค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดพบว่าอุณหภูมิของตำแหน่ง ในระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  กักเก็บอุณหภูมิได้สูงสุดที่  $100.4^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งเริ่มโฟกัสแสงอาทิตย์ เวลา 10:00 น. ถึง 14:00 น. และเมื่อเวลา 15:00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 9:00 น. มีอุณหภูมิของระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  ลดลงต่ำสุดที่  $59.5^{\circ}\text{C}$  และตำแหน่งที่ผิวของทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า  $T_{\text{tower}}$  กักเก็บอุณหภูมิได้สูงสุดที่  $98.8^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งเริ่มโฟกัสแสงอาทิตย์ เวลา 10:00 น. ถึง 14:00 น. และ

เมื่อเวลา 15:00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 9:00 น. มีอุณหภูมิของทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า  $T_{\text{tower}}$  ลดลงต่ำสุดที่  $59.8^{\circ}\text{C}$  โดยมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ ) เฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $29.95 \pm 3.71^{\circ}\text{C}$  แสดงให้เห็นว่าที่ระบบรางพาราโบลา (PARABOLIC TROUGH SYSTEM) ตามที่ได้ออกแบบเอาไว้เบื้องต้นสามารถโฟกัสรวมแสงอาทิตย์ให้ความร้อนกับสารกักเก็บของเหลวที่เป็นน้ำทำให้อุณหภูมิน้ำถึงจุดเดือดได้ และกลายเป็นไอน้ำเดือด ผลการทดลองยืนยันว่ามีการแบ่งเป็นชั้นความร้อน (thermal stratification) ภายในระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  กับ ทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า  $T_{\text{tower}}$  คือ  $T_{\text{storage tank}} > T_{\text{tower}}$  ที่อุณหภูมิสูงสุดมีผลต่าง  $1.6^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากตำแหน่งทั้งสองที่การส่งผ่านทางท่อจึงเกิดการสูญเสียความร้อนขึ้นระหว่างการถ่ายเทความร้อนกัน แต่อย่างไรก็ตามทั้งสองถังก็สามารถกักเก็บความร้อนได้ ซึ่งมีสมบัติกักเก็บความร้อน (thermal mass) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลอุณหภูมิกับเวลาของระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) และทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้าโดยใช้น้ำเป็นสารกักเก็บความร้อน

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองอุณหภูมิระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) และทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้าโดยใช้น้ำเป็นสารกักเก็บ

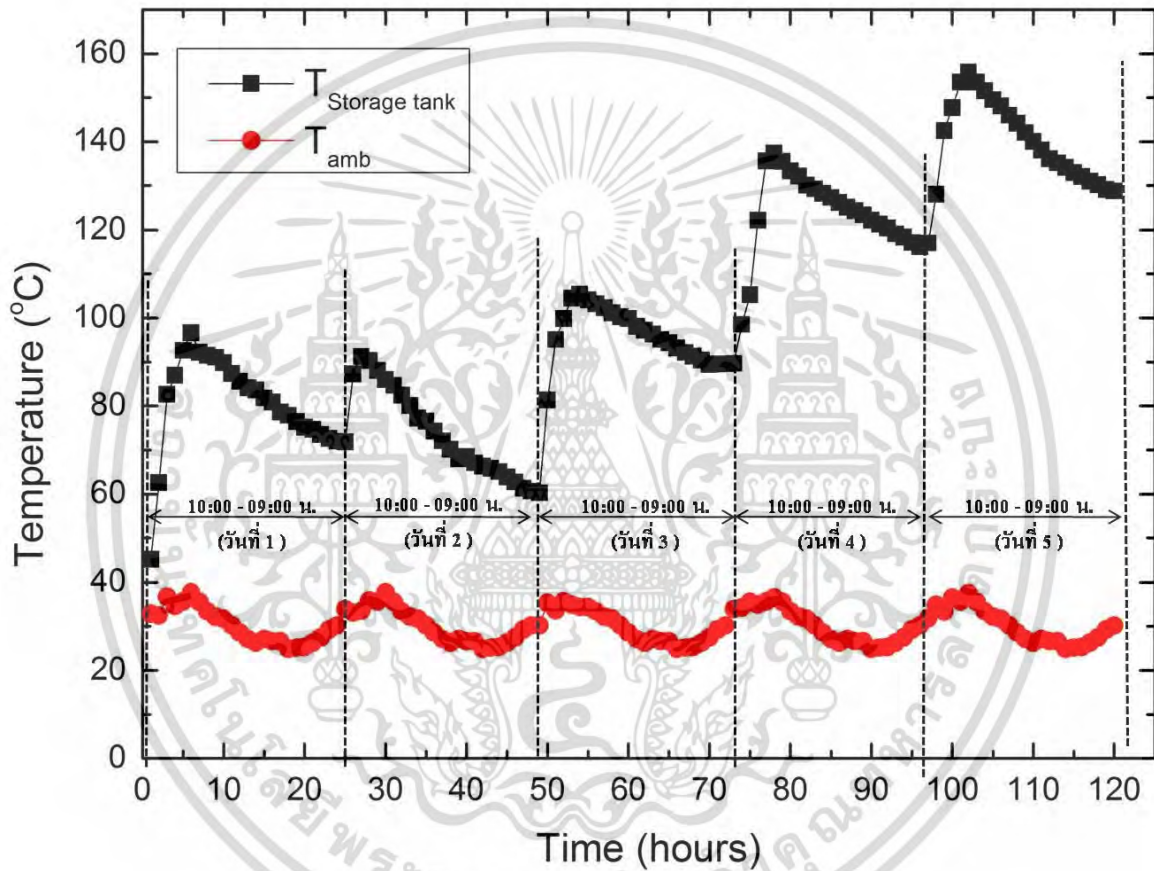
| Time<br>(hr) | T <sub>storage tank</sub><br>(°C) | T <sub>tower</sub><br>(°C) | T <sub>amb</sub><br>(°C) | ΔT (T <sub>tower</sub> - T <sub>amb</sub> )<br>(°C) |
|--------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| 10:00        | 53.1                              | 52.2                       | 33.0                     | 19.2                                                |
| 11:00        | 78.0                              | 77.5                       | 35.0                     | 42.5                                                |
| 12:00        | 95.6                              | 93.0                       | 33.3                     | 60.0                                                |
| 13:00        | 95.0                              | 92.5                       | 30.4                     | 62.1                                                |
| 14:00        | 100.4                             | 98.8                       | 36.9                     | 61.9                                                |
| 15:00        | 89.7                              | 88.1                       | 35.4                     | 52.7                                                |
| 16:00        | 87.6                              | 86.8                       | 34.5                     | 52.3                                                |
| 17:00        | 85.2                              | 85.1                       | 33.9                     | 51.2                                                |
| 18:00        | 83.7                              | 81.2                       | 35.0                     | 46.2                                                |
| 19:00        | 81.3                              | 79.9                       | 31.1                     | 48.8                                                |
| 20:00        | 80.1                              | 80.2                       | 28.7                     | 51.5                                                |
| 21:00        | 79.1                              | 77.4                       | 28.5                     | 48.9                                                |
| 22:00        | 77.2                              | 76.8                       | 29.0                     | 47.8                                                |
| 23:00        | 75.4                              | 73.8                       | 27.3                     | 46.5                                                |
| 0:00         | 72.8                              | 70.9                       | 27.3                     | 43.6                                                |
| 1:00         | 70.5                              | 69.1                       | 28.0                     | 41.1                                                |
| 2:00         | 69.1                              | 67.5                       | 27.5                     | 40.0                                                |
| 3:00         | 68.4                              | 66.8                       | 27.2                     | 39.6                                                |
| 4:00         | 67.2                              | 67.4                       | 27.5                     | 39.9                                                |
| 5:00         | 65.5                              | 63.2                       | 27.4                     | 35.8                                                |
| 6:00         | 62.8                              | 59.9                       | 25.3                     | 34.6                                                |
| 7:00         | 60.4                              | 57.8                       | 24.7                     | 33.1                                                |
| 8:00         | 59.8                              | 59.7                       | 26.0                     | 33.8                                                |
| 9:00         | 59.5                              | 59.8                       | 25.9                     | 33.9                                                |

### 4.3.2 ผลการทดลองอุณหภูมิระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) โดยใช้ เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) เป็นสารกักเก็บความร้อน

จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 10:00 น. ถึง 9:00 น. ในวันที่ 8-12 ตุลาคม 2561 รวมแล้วเป็นการเก็บข้อมูลใช้เวลา 5 วัน 120 ชั่วโมง ทั้งกลางวันและกลางคืน พบว่า เมื่อปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลง อุณหภูมิก็ลดลงตาม แสดงว่าอุณหภูมิแปรผันตามความเข้มรังสีอาทิตย์ สำหรับค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัด พบว่า วันที่ 1 อุณหภูมิของตำแหน่ง ในระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  กักเก็บอุณหภูมิได้สูงสุดที่  $96.5^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งเริ่มโฟกัสแสงอาทิตย์ เวลา 10:00 น. ถึง 15:00 น. และเมื่อเวลา 15:00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 9:00 น. มีอุณหภูมิของระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  ลดลงต่ำสุดที่  $72.0^{\circ}\text{C}$  ของอีกวัน และโดยมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ ) เฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $31.14 \pm 4.00^{\circ}\text{C}$  วันที่ 2 อุณหภูมิของตำแหน่ง ในระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  กักเก็บอุณหภูมิได้สูงสุดที่  $90.3^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งเริ่มโฟกัสแสงอาทิตย์ เวลา 10:00 น. ถึง 13:00 น. และเมื่อเวลา 13:00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 9:00 น. มีอุณหภูมิของระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  ลดลงต่ำสุดที่  $60.7^{\circ}\text{C}$  ของอีกวัน และโดยมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ ) เฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $31.12 \pm 3.96^{\circ}\text{C}$  วันที่ 3 อุณหภูมิของตำแหน่ง ในระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  กักเก็บอุณหภูมิได้สูงสุดที่  $90.3^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งเริ่มโฟกัสแสงอาทิตย์ เวลา 10:00 น. ถึง 13:00 น. และเมื่อเวลา 13:00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 9:00 น. มีอุณหภูมิของระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  ลดลงต่ำสุดที่  $89.6^{\circ}\text{C}$  ของอีกวัน และโดยมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ ) เฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $29.84 \pm 3.63^{\circ}\text{C}$  วันที่ 4 อุณหภูมิของตำแหน่ง ในระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  กักเก็บอุณหภูมิได้สูงสุดที่  $137.4^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งเริ่มโฟกัสแสงอาทิตย์ เวลา 10:00 น. ถึง 15:00 น. และเมื่อเวลา 15:00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 9:00 น. มีอุณหภูมิของระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  ลดลงต่ำสุดที่  $116.1^{\circ}\text{C}$  ของอีกวัน และโดยมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ ) เฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $30.17 \pm 3.95^{\circ}\text{C}$  และวันที่ 5 อุณหภูมิของตำแหน่ง ในระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  กักเก็บอุณหภูมิได้สูงสุดที่  $155.8^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งเริ่มโฟกัสแสงอาทิตย์ เวลา 10:00 น. ถึง 15:00 น. และเมื่อเวลา 15:00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 9:00 น. มีอุณหภูมิของระบบถังกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  ลดลงต่ำสุดที่  $128.8^{\circ}\text{C}$  ของอีกวัน และโดยมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ ) เฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $30.13 \pm 3.99^{\circ}\text{C}$  แสดงให้เห็นว่าที่ระบบรางพาราโบลา (PARABOLIC TROUGH SYSTEM) ตามที่ได้ออกแบบเอาไว้เบื้องต้น สามารถโฟกัสรวมแสงอาทิตย์ให้ความร้อนกับสารกักเก็บของเหลวที่เป็นเอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) เป็นสารกักเก็บความร้อน โดยเวลาทั้งหมด 5 วัน ในการโฟกัสแสงอาทิตย์สะสมความร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด  $155.8^{\circ}\text{C}$  โดยมีผลต่างกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ ) ที่  $118.3^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากปกติสาร



เอทิลีนไกลคอลมีจุดเดือดอยู่ที่  $197.3^{\circ}\text{C}$  และเป็นของเหลวที่ความหนืดมากกว่าน้ำจึงใช้เวลาในการสะสมความร้อนมากกว่า แต่ในทางกลับกันข้อดีก็คือสามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้นานกว่าของเหลวที่เป็นน้ำ ซึ่งมีสมบัติกักเก็บความร้อน (thermal mass) ได้ดีกว่า ดังนั้นจากการทดลองผลอุณหภูมิดังกล่าว จะใช้เงื่อนไขของสาร เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) เป็นสารกักเก็บความร้อน ส่งให้กับระบบทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้าต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลอุณหภูมิกับเวลาของระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) โดยใช้เอทิลีน ไกลคอล เป็นสารกักเก็บความร้อน

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองอุณหภูมิระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) โดยใช้ เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) เป็นสารกักเก็บความร้อน

| เวลา<br>(hr) | จำนวนชั่วโมง<br>(hr) | T <sub>Storage</sub><br>(°C) | T <sub>amb</sub><br>(°C) | $\Delta T$ (T <sub>Storage</sub> - T <sub>amb</sub> )<br>(°C) |
|--------------|----------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 10:00        | 1                    | 45.2                         | 32.8                     | 12.4                                                          |
| 11:00        | 2                    | 62.6                         | 32.4                     | 30.2                                                          |
| 12:00        | 3                    | 82.6                         | 36.7                     | 45.9                                                          |
| 13:00        | 4                    | 87.0                         | 34.6                     | 52.4                                                          |
| 14:00        | 5                    | 92.6                         | 35.6                     | 57.0                                                          |
| 15:00        | 6                    | 96.6                         | 37.7                     | 58.9                                                          |
| 16:00        | 7                    | 92.2                         | 35.5                     | 56.7                                                          |
| 17:00        | 8                    | 91.5                         | 33.4                     | 58.1                                                          |
| 18:00        | 9                    | 91.1                         | 32.2                     | 58.9                                                          |
| 19:00        | 10                   | 89.8                         | 31.7                     | 58.1                                                          |
| 20:00        | 11                   | 87.4                         | 30.2                     | 57.2                                                          |
| 21:00        | 12                   | 85.6                         | 28.6                     | 57.0                                                          |
| 22:00        | 13                   | 84.1                         | 27.1                     | 57.0                                                          |
| 23:00        | 14                   | 83.6                         | 26.3                     | 57.3                                                          |
| 0:00         | 15                   | 81.8                         | 27.1                     | 54.7                                                          |
| 1:00         | 16                   | 80.9                         | 26.6                     | 54.3                                                          |
| 2:00         | 17                   | 78.6                         | 26.5                     | 52.1                                                          |
| 3:00         | 18                   | 77.9                         | 24.9                     | 53.0                                                          |
| 4:00         | 19                   | 76.5                         | 25.1                     | 51.4                                                          |
| 5:00         | 20                   | 75.2                         | 25.3                     | 49.9                                                          |
| 6:00         | 21                   | 74.7                         | 26.3                     | 48.4                                                          |
| 7:00         | 22                   | 73.5                         | 27.4                     | 46.1                                                          |
| 8:00         | 23                   | 72.6                         | 29.2                     | 43.4                                                          |
| 9:00         | 24                   | 72.0                         | 30.1                     | 41.9                                                          |
| 10:00        | 25                   | 71.8                         | 33.9                     | 37.9                                                          |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|       |    |       |      |      |
|-------|----|-------|------|------|
| 11:00 | 26 | 87.3  | 33.1 | 54.2 |
| 12:00 | 27 | 91.2  | 33.5 | 57.7 |
| 13:00 | 28 | 90.3  | 35.9 | 54.4 |
| 14:00 | 29 | 88.0  | 35.6 | 52.4 |
| 15:00 | 30 | 86.0  | 37.7 | 48.3 |
| 16:00 | 31 | 84.7  | 35.5 | 49.2 |
| 17:00 | 32 | 82.5  | 33.4 | 49.1 |
| 18:00 | 33 | 80.1  | 32.2 | 47.9 |
| 19:00 | 34 | 77.2  | 31.7 | 45.5 |
| 20:00 | 35 | 76.6  | 30.2 | 46.4 |
| 21:00 | 36 | 74.3  | 28.6 | 45.7 |
| 22:00 | 37 | 72.1  | 27.1 | 45.0 |
| 23:00 | 38 | 70.2  | 26.3 | 43.9 |
| 0:00  | 39 | 68.0  | 27.1 | 40.9 |
| 1:00  | 40 | 68.5  | 26.6 | 41.9 |
| 2:00  | 41 | 67.1  | 26.5 | 40.6 |
| 3:00  | 42 | 66.3  | 24.9 | 41.4 |
| 4:00  | 43 | 65.8  | 25.1 | 40.7 |
| 5:00  | 44 | 65.1  | 25.3 | 39.8 |
| 6:00  | 45 | 63.9  | 26.3 | 37.6 |
| 7:00  | 46 | 62.7  | 27.4 | 35.3 |
| 8:00  | 47 | 61.3  | 29.2 | 32.1 |
| 9:00  | 48 | 60.7  | 30.1 | 30.6 |
| 10:00 | 49 | 60.3  | 30.2 | 30.1 |
| 11:00 | 50 | 81.4  | 35.3 | 46.1 |
| 12:00 | 51 | 95.1  | 33.6 | 61.5 |
| 13:00 | 52 | 99.8  | 35.6 | 64.2 |
| 14:00 | 53 | 104.5 | 34.9 | 69.6 |
| 15:00 | 54 | 105.4 | 34.4 | 71.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|       |    |       |      |       |
|-------|----|-------|------|-------|
| 16:00 | 55 | 104.1 | 34.3 | 69.8  |
| 17:00 | 56 | 103.2 | 33.4 | 69.8  |
| 18:00 | 57 | 102.3 | 32.2 | 70.1  |
| 19:00 | 58 | 101.1 | 31.7 | 69.4  |
| 20:00 | 59 | 100.2 | 30.2 | 70.0  |
| 21:00 | 60 | 99.8  | 28.6 | 71.2  |
| 22:00 | 61 | 98.1  | 27.1 | 71.0  |
| 23:00 | 62 | 97.2  | 26.3 | 70.9  |
| 0:00  | 63 | 96.3  | 27.1 | 69.2  |
| 1:00  | 64 | 95.1  | 26.6 | 68.5  |
| 2:00  | 65 | 94.3  | 26.5 | 67.8  |
| 3:00  | 66 | 93.2  | 24.9 | 68.3  |
| 4:00  | 67 | 92.1  | 25.1 | 67.0  |
| 5:00  | 68 | 91.3  | 25.3 | 66.0  |
| 6:00  | 69 | 90.4  | 26.2 | 64.2  |
| 7:00  | 70 | 89.4  | 27.4 | 62.0  |
| 8:00  | 71 | 89.5  | 29.2 | 60.3  |
| 9:00  | 72 | 89.6  | 30.1 | 59.5  |
| 10:00 | 73 | 89.7  | 33.9 | 55.8  |
| 11:00 | 74 | 98.5  | 34.2 | 64.3  |
| 12:00 | 75 | 105.2 | 35.5 | 69.7  |
| 13:00 | 76 | 122.2 | 34.9 | 87.3  |
| 14:00 | 77 | 135.6 | 35.6 | 100.0 |
| 15:00 | 78 | 137.4 | 36.5 | 100.9 |
| 16:00 | 79 | 135.5 | 35.5 | 100.0 |
| 17:00 | 80 | 133.4 | 33.4 | 100.0 |
| 18:00 | 81 | 132.2 | 32.2 | 100.0 |
| 19:00 | 82 | 130.1 | 31.7 | 98.4  |
| 20:00 | 83 | 129.3 | 30.2 | 99.1  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



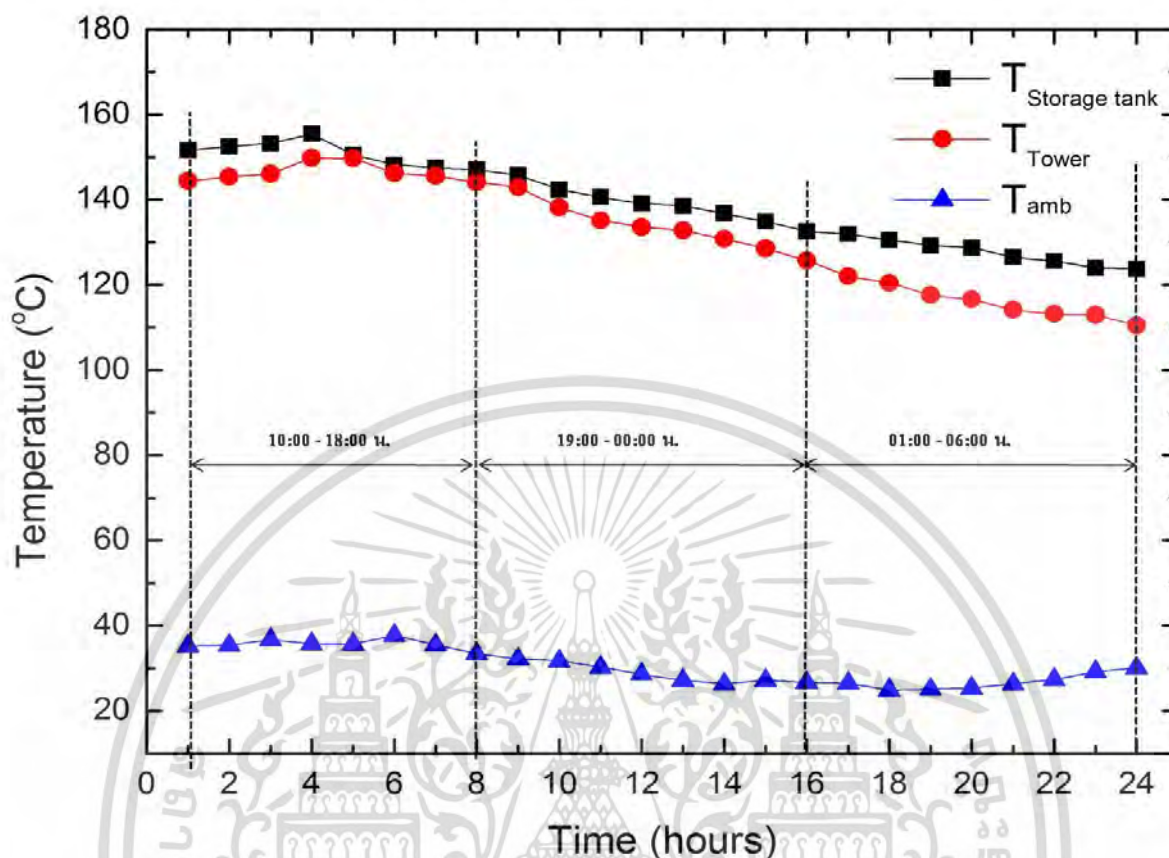
|       |     |       |      |       |
|-------|-----|-------|------|-------|
| 21:00 | 84  | 128.2 | 28.6 | 99.6  |
| 22:00 | 85  | 127.3 | 27.1 | 100.2 |
| 23:00 | 86  | 126.2 | 26.3 | 99.9  |
| 0:00  | 87  | 125.1 | 27.1 | 98.0  |
| 1:00  | 88  | 124.3 | 26.6 | 97.7  |
| 2:00  | 89  | 123.4 | 26.5 | 96.9  |
| 3:00  | 90  | 122.2 | 24.9 | 97.3  |
| 4:00  | 91  | 121.3 | 25.1 | 96.2  |
| 5:00  | 92  | 120.4 | 25.3 | 95.1  |
| 6:00  | 93  | 119.1 | 26.3 | 92.8  |
| 7:00  | 94  | 118.3 | 27.4 | 90.9  |
| 8:00  | 95  | 117.1 | 29.2 | 87.9  |
| 9:00  | 96  | 116.1 | 30.1 | 86.0  |
| 10:00 | 97  | 117.0 | 31.8 | 85.2  |
| 11:00 | 98  | 128.1 | 34.8 | 93.3  |
| 12:00 | 99  | 142.5 | 33.3 | 109.2 |
| 13:00 | 100 | 147.7 | 36.5 | 111.2 |
| 14:00 | 101 | 153.5 | 35.6 | 117.9 |
| 15:00 | 102 | 155.8 | 37.5 | 118.3 |
| 16:00 | 103 | 153.5 | 35.5 | 118.0 |
| 17:00 | 104 | 151.6 | 33.4 | 118.2 |
| 18:00 | 105 | 149.5 | 32.2 | 117.3 |
| 19:00 | 106 | 148.1 | 31.7 | 116.4 |
| 20:00 | 107 | 146.0 | 30.2 | 115.8 |
| 21:00 | 108 | 144.2 | 28.6 | 115.6 |
| 22:00 | 109 | 142.1 | 27.1 | 115.0 |
| 23:00 | 110 | 140.0 | 26.3 | 113.7 |
| 0:00  | 111 | 138.1 | 27.1 | 111.0 |
| 1:00  | 112 | 136.1 | 26.6 | 109.5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|      |     |       |      |       |
|------|-----|-------|------|-------|
| 2:00 | 113 | 135.2 | 26.5 | 108.7 |
| 3:00 | 114 | 134.1 | 24.9 | 109.2 |
| 4:00 | 115 | 133.0 | 25.1 | 107.9 |
| 5:00 | 116 | 132.1 | 25.3 | 106.8 |
| 6:00 | 117 | 131.0 | 26.3 | 104.7 |
| 7:00 | 118 | 130.2 | 27.4 | 102.8 |
| 8:00 | 119 | 129.1 | 29.2 | 99.9  |
| 9:00 | 120 | 128.8 | 30.1 | 98.7  |

#### 4.4 ผลการทดสอบค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก $\text{CaMnO}_3$ จำนวน 100 โมดูล ต่อวงจรไฟฟ้าแบบผสมติดตั้งกับระบบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารกักเก็บความร้อน

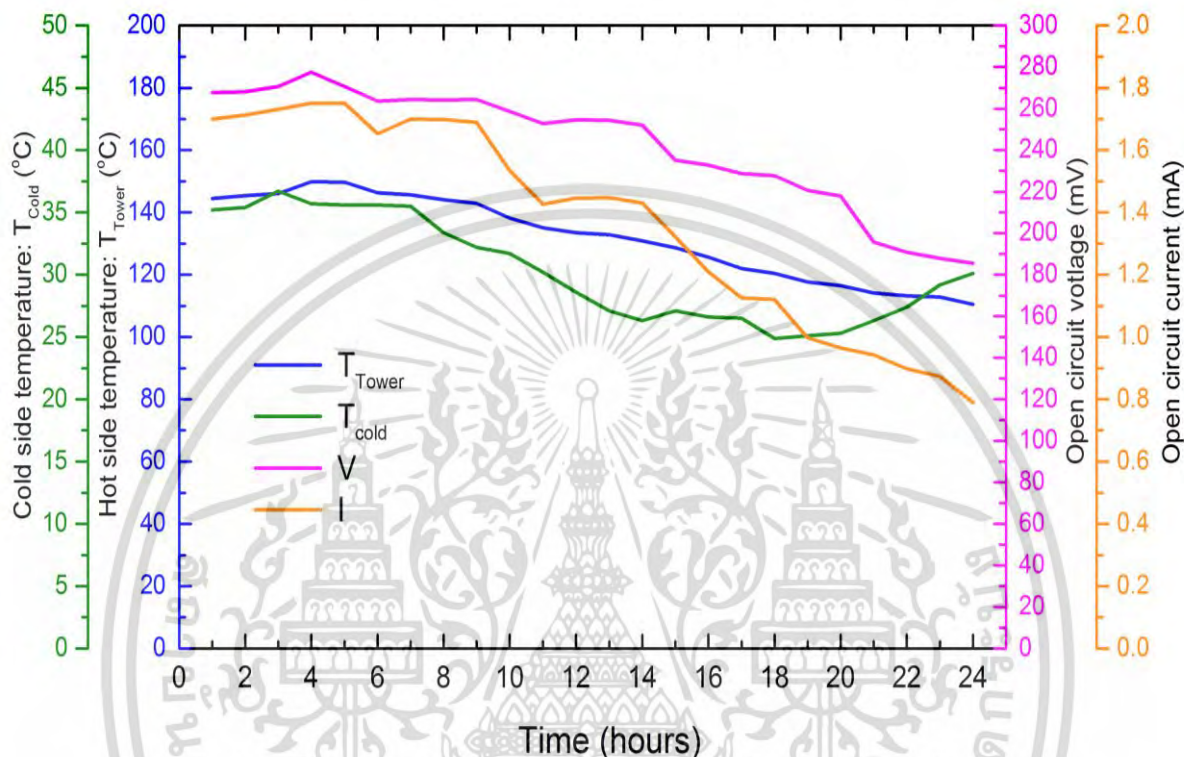
จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 10:00 น. ถึง 9:00 น. ในวันที่ 13 ตุลาคม 2561 รวมแล้วเป็นการเก็บข้อมูลใช้เวลา 24 ชั่วโมง ทั้งกลางวันและกลางคืน พบว่า เมื่อปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงอุณหภูมิก็นลดลงตาม แสดงว่าอุณหภูมิแปรผันตามความเข้มรังสีอาทิตย์ สำหรับค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดพบว่าอุณหภูมิของตำแหน่ง ในระบบถึงกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  กักเก็บอุณหภูมิได้สูงสุดที่  $155.4^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งเริ่มโฟกัสแสงอาทิตย์ เวลา 10:00 น. ถึง 13:00 น. และเมื่อเวลา 14:00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 9:00 น. มีอุณหภูมิของระบบถึงกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  ลดลงต่ำสุดที่  $123.8^{\circ}\text{C}$  และตำแหน่งที่ผิวของทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า  $T_{\text{tower}}$  กักเก็บอุณหภูมิได้สูงสุดที่  $149.8^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งเริ่มโฟกัสแสงอาทิตย์ เวลา 10:00 น. ถึง 13:00 น. และเมื่อเวลา 14:00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 9:00 น. มีอุณหภูมิของทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า  $T_{\text{tower}}$  ลดลงต่ำสุดที่  $110.5^{\circ}\text{C}$  โดยมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ ) เฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ  $30.41 \pm 4.27^{\circ}\text{C}$  แสดงให้เห็นว่าที่ระบบรางพาราโบลา (PARABOLIC TROUGH SYSTEM) ตามที่ได้ออกแบบเอาไว้เบื้องต้นสามารถโฟกัสรวมแสงอาทิตย์ให้ความร้อนกับสารกักเก็บของเหลวที่เป็นเอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) เป็นสารกักเก็บความร้อน ผลการทดลองยืนยันว่ามีการแบ่งเป็นชั้นความร้อน (thermal stratification) ภายในระบบถึงกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  กับ ทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า  $T_{\text{tower}}$  คือ  $T_{\text{storage tank}} > T_{\text{tower}}$  ที่อุณหภูมิสูงสุดมีผลต่าง  $5.6^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากตำแหน่งทั้งสองที่การส่งผ่านทางทอจึงเกิดการสูญเสียความร้อนขึ้นระหว่างการถ่ายเทความร้อนกัน แต่อย่างไรก็ตามทั้งสองถึงก็สามารถกักเก็บความร้อนได้ ซึ่งมีสมบัติกักเก็บความร้อน (thermal mass) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลอุณหภูมิกับเวลาของระบบกักเก็บความร้อน (Thermal storage tank) ทาวเวอร์เป็นห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้า ( $T_{\text{tower}}$ ) ใช้เอทิลีนไกลคอลเป็นสารกักเก็บความร้อน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ )

ผลการทดสอบค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก  $\text{CaMnO}_3$  จำนวน 100 โมดูล ต่อแบบผสม คือมีการต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและต่อแบบขนาน นำมาติดตั้งกับระบบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน พบว่า ที่อุณหภูมิด้านร้อน ของอุณหภูมิ  $T_{\text{tower}}$   $149.8^\circ\text{C}$  มีความแตกต่างของความร้อน (เป็นการเปลี่ยนแปลงความร้อนจากด้านที่ให้ความร้อนกับด้านที่ไม่ได้ให้ความร้อนหรือด้านเย็นกว่า ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อน ( $T_{\text{tower}}$ ) กับอุณหภูมิด้านเย็น ( $T_{\text{amb}}$ ) ถึง  $114.0^\circ\text{C}$  และผลการทดสอบการวัดค่าทางไฟฟ้าเทียบกับผลต่างอุณหภูมิในช่วงต่างๆ พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 277.53 mV, กระแสไฟฟ้า 1.75 mA และสามารถคงค่าศักย์ไฟฟ้าไว้ได้นานตามระยะเวลา แสดงผลวัดค่าไฟฟ้าต่างๆ ให้เห็นว่าแผงเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจำนวน 100 โมดูล ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถผันความร้อนจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนให้เป็นไฟฟ้าได้ในตัวเองโดยตรง ในทันทีทันใด ซึ่งไปตามปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) และมีค่า

กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิโดยมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิด้าน ( $T_{\text{Tower}}$ ) อุณหภูมิเย็น ( $T_{\text{cold}}$ ) ค่าศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เบื้องต้นสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 100 โมลต่อแบบผสม กับระบบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก  $\text{CaMnO}_3$  จำนวน 100 โมลต่อวงจรไฟฟ้าแบบผสมติดตั้งกับระบบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน



| เวลา<br>(hr) | อุณหภูมิ<br>ถังกักเก็บความร้อน<br>$T_{\text{Storage tank}} (^{\circ}\text{C})$ | อุณหภูมิ<br>ด้านร้อน<br>$T_{\text{Tower}} (^{\circ}\text{C})$ | อุณหภูมิ<br>ด้านเย็น<br>$(T_{\text{cold}}) (^{\circ}\text{C})$ | ผลต่าง<br>อุณหภูมิ<br>$\Delta T (^{\circ}\text{C})$ | ความต้าน<br>ทานไฟฟ้า<br>(R) ( $\Omega$ ) | ความต่าง<br>ศักย์ไฟฟ้า<br>(V) (mV) | กระแส<br>ไฟฟ้า<br>(I) (mA) |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 10:00        | 151.6                                                                          | 144.4                                                         | 35.2                                                           | 109.2                                               | 899.35                                   | 267.634                            | 1.700                      |
| 11:00        | 152.5                                                                          | 145.4                                                         | 35.4                                                           | 110.0                                               | 895.00                                   | 268.123                            | 1.713                      |
| 12:00        | 153.2                                                                          | 146.1                                                         | 36.7                                                           | 109.4                                               | 870.69                                   | 270.826                            | 1.731                      |
| 13:00        | 155.4                                                                          | 149.8                                                         | 35.7                                                           | 114.1                                               | 856.73                                   | 277.526                            | 1.751                      |
| 14:00        | 150.6                                                                          | 149.7                                                         | 35.6                                                           | 114.1                                               | 855.67                                   | 270.553                            | 1.751                      |
| 15:00        | 148.2                                                                          | 146.3                                                         | 35.6                                                           | 110.4                                               | 941.00                                   | 263.642                            | 1.653                      |
| 16:00        | 147.5                                                                          | 145.6                                                         | 35.5                                                           | 110.1                                               | 928.00                                   | 264.449                            | 1.699                      |
| 17:00        | 147.1                                                                          | 144.1                                                         | 33.4                                                           | 110.7                                               | 927.00                                   | 264.157                            | 1.698                      |
| 18:00        | 145.8                                                                          | 142.9                                                         | 32.2                                                           | 110.7                                               | 928.00                                   | 264.320                            | 1.689                      |
| 19:00        | 142.4                                                                          | 138.2                                                         | 31.7                                                           | 106.5                                               | 935.00                                   | 258.656                            | 1.535                      |
| 20:00        | 140.6                                                                          | 135.1                                                         | 30.2                                                           | 104.9                                               | 960.00                                   | 252.771                            | 1.426                      |
| 21:00        | 139.1                                                                          | 133.6                                                         | 28.6                                                           | 105.0                                               | 958.00                                   | 254.603                            | 1.445                      |
| 22:00        | 138.6                                                                          | 132.8                                                         | 27.1                                                           | 105.7                                               | 958.00                                   | 254.441                            | 1.448                      |
| 23:00        | 136.8                                                                          | 130.8                                                         | 26.3                                                           | 104.5                                               | 962.00                                   | 252.055                            | 1.430                      |
| 0:00         | 134.9                                                                          | 128.6                                                         | 27.1                                                           | 101.5                                               | 989.00                                   | 235.109                            | 1.321                      |
| 1:00         | 132.6                                                                          | 125.7                                                         | 26.6                                                           | 99.1                                                | 1010.00                                  | 232.903                            | 1.209                      |
| 2:00         | 131.9                                                                          | 122.0                                                         | 26.5                                                           | 95.5                                                | 1082.00                                  | 228.764                            | 1.126                      |
| 3:00         | 130.5                                                                          | 120.5                                                         | 24.9                                                           | 95.6                                                | 1086.00                                  | 227.840                            | 1.121                      |
| 4:00         | 129.2                                                                          | 117.6                                                         | 25.1                                                           | 92.5                                                | 1110.00                                  | 220.660                            | 0.998                      |
| 5:00         | 128.7                                                                          | 116.6                                                         | 25.3                                                           | 91.3                                                | 1125.00                                  | 218.006                            | 0.965                      |
| 6:00         | 126.5                                                                          | 114.2                                                         | 26.3                                                           | 87.9                                                | 1186.00                                  | 195.702                            | 0.942                      |
| 7:00         | 125.6                                                                          | 113.2                                                         | 27.4                                                           | 85.8                                                | 1219.00                                  | 190.909                            | 0.899                      |
| 8:00         | 124.0                                                                          | 112.9                                                         | 29.2                                                           | 83.7                                                | 1264.00                                  | 187.901                            | 0.874                      |
| 9:00         | 123.8                                                                          | 110.5                                                         | 30.1                                                           | 80.4                                                | 1387.00                                  | 185.662                            | 0.790                      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน โดยได้เลือกใช้สารของเหลวกักเก็บความร้อน 2 ชนิด คือ น้ำ และ เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) จากการทดสอบระบบรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน พบว่า สามารถโฟกัสรวมแสงอาทิตย์ให้ความร้อนกับสารกักเก็บของเหลวที่เป็นน้ำทำให้อุณหภูมิ น้ำถึงจุดเดือดได้และกลายเป็นไอน้ำเดือดทำให้ระบบถึงกักเก็บความร้อน  $T_{\text{storage tank}}$  กักเก็บอุณหภูมิได้สูงสุด ที่  $100.4^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งเริ่มโฟกัสแสงอาทิตย์ และเมื่อเปลี่ยนเป็นสารของเหลว เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) พบว่า สามารถโฟกัสรวมแสงอาทิตย์ให้ความร้อนกับสารกักเก็บของเหลวที่เป็นเอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) เป็นสารกักเก็บความร้อน โดยเวลาทั้งหมด 5 วัน ในการโฟกัสแสงอาทิตย์สะสม ความร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด  $155.8^{\circ}\text{C}$  โดยมีผลต่างกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $T_{\text{amb}}$ ) ที่  $118.3^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากปกติ สาร เอทิลีนไกลคอลมีจุดเดือดอยู่ที่  $197.3^{\circ}\text{C}$  และเป็นของเหลวที่ความหนืดมากกว่าน้ำจึงใช้เวลาในการ สะสมความร้อนมากกว่า แต่ในทางกลับกันข้อดีก็คือสามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้นานกว่าของเหลวที่เป็น น้ำ ซึ่งมีสมบัติกักเก็บความร้อน (thermal mass) ได้ดีกว่า ดังนั้นจากการทดลองผลอุณหภูมิดังกล่าว จะใช้ เ็นข้อดีของสาร เอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) เป็นสารกักเก็บความร้อนส่งให้กับระบบทาวเวอร์เป็น ห้องกักเก็บความร้อนผลิตไฟฟ้าด้วยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

โดยได้ทำการสังเคราะห์สาร  $\text{CaMnO}_3$  สามารถสังเคราะห์สารขึ้นเองได้ในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมา ต่อข้อไฟฟ้าทดสอบผลเบื้องต้นพบว่าผล โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล (ที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นเองจาก สาร  $\text{CaMnO}_3$  ในห้องปฏิบัติการ) มาทำการทดลองบนเตาความร้อน (hot plate) เพื่อทดสอบการทนความร้อน และสร้างความแตกต่างของความร้อนระหว่างด้านที่สัมผัสหน้าเตากับด้านที่ไม่สัมผัสหน้าเตา โดยได้ ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้องถึง  $200^{\circ}\text{C}$  (เป็นอุณหภูมิในช่วงสารกักเก็บความร้อนที่  $100^{\circ}\text{C}$  ของน้ำ และที่  $197^{\circ}\text{C}$  ของเอทิลีน ไกลคอล) และสามารถสร้างความแตกต่างของความร้อน (เป็นการเปลี่ยนแปลงความร้อนจากด้านที่ให้ความร้อนกับด้านที่ไม่ได้ให้ความร้อนหรือด้านเย็นกว่า) ถึง  $171.8^{\circ}\text{C}$  และผลการทดสอบ การวัดค่าทางไฟฟ้าเทียบกับผลต่างอุณหภูมิในช่วงต่างๆ พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด  $9.38\text{ mV}$ , กระแสไฟฟ้า  $0.436\text{ }\mu\text{A}$  ผลการทดสอบไฟฟ้า 2 โมดูล ต่อแบบอนุกรมสามารถสร้างความแตกต่างของความร้อนที่  $158^{\circ}\text{C}$  และผลการทดสอบการวัดค่าทางไฟฟ้าเทียบกับผลต่างอุณหภูมิในช่วงต่างๆ พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด  $18.00\text{ mV}$ , กระแสไฟฟ้า  $0.491\text{ }\mu\text{A}$  ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 2 โมดูล ต่อแบบขนานสามารถสร้างความ

แตกต่างของความร้อนที่  $163.2^{\circ}\text{C}$  และผลค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด  $17.5\text{ mV}$ , กระแสไฟฟ้า  $98.68\text{ }\mu\text{A}$  ผลการทดสอบไฟฟ้าเบื้องต้น 10 โมดูล ต่อแบบขนานสามารถสร้างความแตกต่างของความร้อนที่  $163.5^{\circ}\text{C}$  ผลค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด  $32.76\text{ mV}$ , กระแสไฟฟ้า  $478.617\text{ }\mu\text{A}$  ผลการทดสอบค่าไฟฟ้าเบื้องต้นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก  $\text{CaMnO}_3$  จำนวน 100 โมดูล ต่อวงจรไฟฟ้าแบบผสมติดตั้งกับระบบต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนพบว่า ที่อุณหภูมิด้านร้อน ของอุณหภูมิ  $T_{\text{Tower}}$   $149.8^{\circ}\text{C}$  มีความแตกต่างของความร้อน (เป็นการเปลี่ยนแปลงความร้อนจากด้านที่ให้ความร้อนกับด้านที่ไม่ได้ให้ความร้อนหรือด้านเย็นกว่า ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อน ( $T_{\text{Tower}}$ ) กับอุณหภูมิด้านเย็น ( $T_{\text{amb}}$ ) ) ถึง  $114.0^{\circ}\text{C}$  และผลการทดสอบการวัดค่าทางไฟฟ้าเทียบกับผลต่างอุณหภูมิในช่วงต่างๆ พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด  $277.53\text{ mV}$ , กระแสไฟฟ้า  $1.75\text{ mA}$  และสามารถคงค่าศักย์ไฟฟ้าไว้ได้นานตามระยะเวลา แสดงผลวัดค่าไฟฟ้าต่างๆ ให้เห็นว่าแผงเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจำนวน 100 โมดูล ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถผันความร้อนจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนให้เป็นไฟฟ้าได้ในตัวเองโดยตรง ในทันทีทันใด ซึ่งไปตามปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) และมีค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิโดยมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน สามารถกักเก็บความร้อนได้ที่อุณหภูมิเกิน  $100^{\circ}\text{C}$  โดยใช้การรวมแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันและกักเก็บไว้ใช้ได้ต่อในเวลากลางคืนเมื่อไม่แสงอาทิตย์กลางวันอีกวันหนึ่งได้ และสามารถนำความร้อนที่กักเก็บไว้นี้มาผลิตไฟฟ้าด้วยการติดตั้งแผงเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ประดิษฐ์ขึ้นเองสามารถผันความร้อนจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อนให้เป็นไฟฟ้าได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ไม่มี

## บทที่ 6

### สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

#### 6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้

รายงานผลผลิตจากโครงการวิจัยที่ได้รับการจัดสรรเงินวิจัย

| ผลงาน                                              | ระบุรายละเอียดให้ชัดเจน<br>ระบุรายละเอียดให้ชัดเจน<br>เช่น ฐานข้อมูลที่จะเผยแพร่/<br>ชื่อวารสาร/ประชุมวิชาการ/<br>ชื่อผลงาน เป็นต้น | จำนวนที่<br>คาดว่าจะ<br>ได้ | ปีที่คาดว่าจะ<br>สำเร็จ |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| <b>3.ทรัพย์สินทางปัญญา (Intellectual Property)</b> |                                                                                                                                     |                             |                         |
| สิทธิบัตร (Patent)                                 | เครื่องผลิตกราฟินต์<br>ออกไซด์ต้นทุนต่ำสำหรับ<br>อุตสาหกรรม                                                                         | 1 เรื่อง                    | 2561                    |



## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). พลังงานแสงอาทิตย์. In สารานุกรมพลังงาน ทดแทน (pp. 15, 17, 24, 29, 34). กรุงเทพฯ, ประเทศไทย.
- [2] A. F. Ioffe, Infosearch limited, London, 1957; D.M. Rowe (ed), CRC Handbook of thermoelectrics, CRC, Boca Raton, 1995.
- [3] D.M. Rowe (ed), "CRC Handbook of Thermoelectrics", CRC, Boca Raton, 1995.
- [4] M. Ohtaki, Micro Review, Special Issue.
- [5] <http://www.natureinterface.com>
- [6] <http://www.energy.gov>
- [7] <http://www.gentherm.com>
- [8] <https://solarsystem.nasa.gov>
- [9] [www.devilwatt.com](http://www.devilwatt.com)
- [10] <https://www.amazon.com>
- [11] Takenobu Kajikawa. Thermoelectric Application for Power Generation in Japan. Advances in Science and Technology Vol. 74 (2010) pp 83-92.
- [12] สิทธิบัตรเลขที่คำขอ US 2008/0245397 A1
- [13] สิทธิบัตรเลขที่คำขอ 0501002576
- [14] สิทธิบัตรเลขที่คำขอ 061446
- [15] สิทธิบัตรเลขที่คำขอ 059629
- [16] สิทธิบัตรเลขที่คำขอ 068457
- [17] สิทธิบัตรเลขที่คำขอ 059630

## ภาคผนวก ก

สิทธิบัตร (Patent) เครื่องผลิตกราฟีนท่อออกไซด์ต้นทุนต่ำสำหรับอุตสาหกรรม



### บันทึกข้อความ

หน่วยงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. โทร. 6214 , 285  
 ที่ ศธ 0524.08 (5) /339 วันที่ 12 กันยายน 2561  
 เรื่อง ขอยื่นแสดงความจำนงขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

เรียน คณบดี

ด้วย กระผม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ พนักงานสถาบัน สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นผู้ประดิษฐ์ผลงาน มีความประสงค์ยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ภายใต้ชื่อ “ต้นแบบเครื่องผลิต รีตซ์กราฟีนออกไซด์ ต้นทุนต่ำสำหรับอุตสาหกรรม” พร้อมกันได้แนบรายละเอียดตามแบบฟอร์มแสดงความจำนงขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรมาด้วยแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการต่อไปด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

(ดร.เชษฐา รัตนพันธ์)  
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์

เรียน คณบดี

เพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ

(ดร.วิฑูรย์ ยืนดีสูง)  
 หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แบบฟอร์มแสดงความจำนงการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร**  
**งานทรัพย์สินทางปัญญา สำนักส่งเสริมและบริการวิชาการพระจอมเกล้าลาดกระบัง**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ **ต้นแบบเครื่องผลิต ริ้วกรฟีนออกไซด์ ต้นทุนต่ำสำหรับอุตสาหกรรม**

2. ชื่อผู้ประดิษฐ์/ผู้ประดิษฐ์ร่วม

2.1 ชื่อ **เชษฐา นามสกุล รัตนพันธ์**

สังกัด **ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ **ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ**  
**ทหารลาดกระบัง**

โทรศัพท์(สายใน)

โทรศัพท์(สายนอก) **081-5104965**

โทรสาร

อีเมล **chesta.ruttanapun@gmail.com**

ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ **35**

ลายมือชื่อ **เชษฐา นามสกุล**

**11 / ก.ย. / 61**

2.2 ชื่อ **ชาวลย์ นามสกุล ศรีวงษ์**

สังกัด **ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ **ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร**  
**ลาดกระบัง**

โทรศัพท์(สายใน)

โทรศัพท์(สายนอก) **086-3922920**

โทรสาร

อีเมล **chaval.sr@kmitl.ac.th**

ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ **35**

ลายมือชื่อ **ชาวลย์ นามสกุล**

**11 / ก.ย. / 2561**



## นิทรรศการวันวิทยาศาสตร์ “วิทยาศาสตร์และนวัตกรรมนำสู่ไทยแลนด์ 4.0”

วันที่ 23-25 สิงหาคม 2561

### ประมวลภาพการนิทรรศการวิทยาศาสตร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

### หัวหน้าโครงการ

ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์

Assits.Prof.Dr.Chesta Ruttanapun

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

มือถือ 0815104965

E-mail: krchesta@kmitl.ac.th, chesta.ruttanapun@gmail.com

### ประวัติการศึกษาสูงสุด

| ชื่อปริญญา | สาขา            | สถาบันที่จบ                                    | ปีที่จบ |
|------------|-----------------|------------------------------------------------|---------|
| วท.บ.      | ฟิสิกส์         | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             | 2541    |
| วท.ม.      | ฟิสิกส์         | มหาวิทยาลัยขอนแก่น                             | 2546    |
| ปร.ด.      | ฟิสิกส์ประยุกต์ | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | 2554    |

สถานที่ติดต่อ: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ: ฟิสิกส์วัสดุด้าน เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์

ประสบการณ์การทำงาน (โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับงานวิจัย โดยระบุชื่อโครงการ แหล่งทุน รวมทั้งรางวัลที่เคยได้รับ (ที่เกี่ยวกับงานวิจัย))

| ชื่อโครงการ                                                                                                                                       | แหล่งทุน                                                                                      | งบประมาณรวม  | ปีที่ได้-สิ้นสุด           | เป็นหัวหน้า / ผู้ร่วมวิจัย | จำนวน นักวิจัย |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
| การสังเคราะห์และสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุคอมโพสิตรีดิวซ์แกรฟีนออกไซด์/ซีเมนต์ C12A7                                                         | งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2562 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | 500,000      | 2562                       | หัวหน้าโครงการ             | 1              |
| การพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกแบบผสมและเทคนิคการพิมพ์สามมิติ เพื่อประดิษฐ์ผ้าใบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับประยุกต์ใช้ในระบบปรับอากาศยานยนต์ | ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์                                                                  | 4,690,800.00 | 2561 ถึง 2564              | หัวหน้าโครงการ             | 14             |
| การผลิต และการปรับปรุงสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของเซรามิก C12A7 โครงสร้างเป็นกรงขนาดนาโน โดย การ โด๊ป อิเล็กตรอนข้างในกรง ผ่าน วิธีการลด            | ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ ประจำปี 2560 ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการ    | ๖๐๐,๐๐๐      | ๑๗ ก.ค. ๒๕๖๐ – ๑๖ก.ค. ๒๕๖๒ | หัวหน้าโครงการ             | 1              |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| บรรยากาศแก๊ส X (X = C, F, Cl, H และ N)                                                                                                                                   | วิจัย (สกว.)<br>ต่อเนื่อง ๒ ปี                                                                                                                                                |           |                                     |                    |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------|--------------------|---|
| การพัฒนาคอนกรีต<br>บล็อกผลิตไฟฟ้าจาก<br>ความร้อนและการ<br>ประยุกต์ในโรงงานเตา<br>หลอมโลหะหรือเตาเผา<br>ขยะเทศบาล                                                         | โครงการพัฒนา<br>นักวิจัยและ<br>งานวิจัยเพื่อ<br>อุตสาหกรรม<br>(พวอ.) ระดับ<br>ปริญญาเอก<br>ประจำปี ๒๕๖๐<br>ของสำนักงาน<br>กองทุนสนับสนุน<br>การวิจัย (สกว.)<br>ต่อเนื่อง ๒ ปี | ๑,๕๕๒,๐๐๐ | ๑ ส.ค.<br>๒๕๖๐ –<br>๓๑ ก.ค.<br>๒๕๖๒ | หัวหน้า<br>โครงการ | 1 |
| วัสดุผสมซีเมนต์ที่<br>ฉลาดและเป็นมิตรต่อ<br>สิ่งแวดล้อม                                                                                                                  | ทุนศาสตราจารย์<br>วิจัยดีเด่น โดย<br>ศาสตราจารย์ ดร.<br>ปริญญา จินดา<br>ประเสริฐ ได้รับ<br>จากสำนักงาน<br>กองทุนสนับสนุน<br>งานวิจัย (สกว.)                                   | 9,000,000 | 2561-<br>2564                       | ผู้ร่วม<br>โครงการ |   |
| การพัฒนาวัสดุเทอร์<br>โม อิ เล็ก ท ริ ก<br>แมกนีเซียมซิลิไซด์<br>โครงสร้างนาโน จาก<br>แกลบข้าว สังกะสี<br>ด้วยไมโครเวฟและอัด<br>ร้อน และการประยุกต์<br>เทอร์โมอิเล็กทริก | แหล่งเงินทุน:<br>ทุนเงิน<br>งบประมาณ<br>แผ่นดิน (วช.)<br>ต่อเนื่อง 1 ปี                                                                                                       | 600,000   | 2560 -<br>2561                      | หัวหน้า<br>โครงการ |   |
| การพัฒนาต้นแบบ<br>เทอร์โมอิเล็กทริก<br>ขนาดเล็กแบบผลิต                                                                                                                   | เงินรายได้(ทุน<br>วิจัยและพัฒนา<br>เพื่อผลิตอุปกรณ์                                                                                                                           | 800,000   | 2560 -<br>2561                      | หัวหน้า<br>โครงการ |   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



|                                                                                                                                  |                                                                                      |             |           |                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|----------------|----|
| ไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน,                                                                    | ฯ) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 ปี                |             |           |                |    |
| โครงการพัฒนาศักยภาพการอัดประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดด้วยเทคโนโลยีควอนตัม                                                         | สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ) ผ่านสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ   | 16,596,000  | 2560-2561 | ผู้ร่วมโครงการ | 13 |
| วัสดุอัจฉริยะ (smart materials) สำหรับพลังงานทดแทนในอนาคต                                                                        | สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ                                                      | 6,000,000   | 2561-2562 | ผู้ร่วมโครงการ | 17 |
| การพัฒนากระบวนการเก็บพลังงานด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor) เพื่อสร้างเสถียรภาพด้านพลังงานของประเทศ                     | สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ                                                      | 5,800,000   | 2561-2562 | ผู้ร่วมโครงการ | 11 |
| Fabrication and observation of spin Seebeck effect on $12\text{CaO}-7\text{Al}_2\text{O}_3$ doping transition metal (Fe, Ni, Cr) | นักวิจัยที่ปรึกษาทุนนักวิจัยหลังปริญญาเอก (Postdoctoral grant) ดร. ประเมศวร์ วงศ์จอม | ๙๕๖๐๐๐, บาท | 2561-2562 | หัวหน้าโครงการ | 1  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                           |             |                   |                       |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|-----------------------|---|
|                                                                                                                                                           | กองทุนวิจัย<br>สถาบัน<br>เทคโนโลยีพระ<br>จอมเกล้าเจ้าคุณ<br>ทหารลาดกระบัง<br>๒ ปี                                                                                                         |             |                   |                       |   |
| Correlation between the crystal structure and thermoelectric properties of the CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> cement by Rietveld refinement technique | นักวิจัยที่ปรึกษา<br>ทุนนักวิจัยหลัง<br>ปริญญาเอก<br>( Postdoctoral grant) ดร.ราชานุสรณ์ รุ่งเต่า<br>กองทุนวิจัย<br>สถาบัน<br>เทคโนโลยีพระ<br>จอมเกล้าเจ้าคุณ<br>ทหารลาดกระบัง<br>๒ ปี    | ๙๕๖๐๐๐, บาท | 2561-2562         | หัวหัวหน้า<br>โครงการ | 1 |
| Fabrication and thermoelectric properties of nanostructure 12CaO·7Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> prepared by hydrothermal method                          | นักวิจัยที่ปรึกษา<br>ทุนนักวิจัยหลัง<br>ปริญญาเอก<br>( Postdoctoral grant) ดร.ศักดิ์วิบูลย์ จันทราธิ<br>กองทุนวิจัย<br>สถาบัน<br>เทคโนโลยีพระ<br>จอมเกล้าเจ้าคุณ<br>ทหารลาดกระบัง<br>๒ ปี | ๙๕๖๐๐๐, บาท | ๒๕๕๙ – ๒๕๖๑       | หัวหัวหน้า<br>โครงการ | 1 |
| Fabrication and thermoelectric                                                                                                                            | ทุนส่งเสริม<br>นักวิจัยรุ่นใหม่                                                                                                                                                           | ๖๐๐,๐๐๐     | ๑ มิ.ย.<br>๒๕๕๘ – | หัวหัวหน้า<br>โครงการ | 1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                          |             |                           |                       |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------|-----------------------|---|
| properties of $12\text{CaO}-7\text{Al}_2\text{O}_3$ ceramic filled with metals (Mg, Ca, Sr, Sc, and Ti) in sub-nanometer-sized empty cages | ประจำปี ๒๕๕๘<br>ของสำนักงาน<br>กองทุนสนับสนุน<br>การวิจัย (สกว.)<br>ต่อเนื่อง ๒ ปี                                                                                                                                       |             | ๓๑ พ.ย.<br>๒๕๖๐           |                       |   |
| The development of flat magnifying hyperlenses for nano-imaging at far-field with terahertz light"                                         | นักวิจัยที่ปรึกษา<br>ทุนนักวิจัยหลัง<br>ปริญญาเอก<br>( Postdoctoral<br>grant) ด.ร.<br>ปิยวัฒน์<br>ทัพสนิท<br>แหล่งเงินทุน<br>เงินทุนกองทุน :<br>วิจัย สถาบัน<br>เทคโนโลยีพระ<br>จอมเกล้าเจ้าคุณ<br>ทหารลาดกระบัง<br>1 ปี | ๔๗๘๐๐๐, บาท | ตั้งแต่<br>๒๕๕๙ -<br>๒๕๖๐ | หัวหัวหน้า<br>โครงการ | 1 |
| Development of Spark plasma sintering system for Synthesizing Thermoelectric Materials"                                                    | จากแหล่ง<br>เงินทุนเงิน :<br>รายได้(ทุนวิจัย<br>และพัฒนาเพื่อ<br>(ผลิตอุปกรณ์ฯ<br>คณะ<br>วิทยาศาสตร์<br>สถาบัน<br>เทคโนโลยีพระ<br>จอมเกล้าเจ้าคุณ                                                                        | 7๐๐,๐๐๐ บาท | ๒๕๖๐ -<br>๒๕๖๑            | หัวหัวหน้า<br>โครงการ |   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                            |             |                |                       |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|-----------------------|---|
|                                                                                                                                      | ทหารลาดกระบัง<br>๑ ปี                                                                                                                                                      |             |                |                       |   |
| Development of Microwave sintering system for Synthesizing Thermoelectric Materials”                                                 | จากแหล่ง<br>เงินทุนเงิน :<br>รายได้(ทุนวิจัย<br>และพัฒนาเพื่อ<br>(ผลิตอุปกรณ์ฯ<br>คณะ<br>วิทยาศาสตร์<br>สถาบัน<br>เทคโนโลยีพระ<br>จอมเกล้าเจ้าคุณ<br>ทหารลาดกระบัง<br>๑ ปี | ๔๐๐,๐๐๐ บาท | ๒๕๕๙ -<br>๒๕๖๐ | หัวหัวหน้า<br>โครงการ |   |
| การศึกษาและพัฒนา<br>อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กท<br>ริกอุณหภูมิสูงจาก<br>สารประกอบ $\text{CuFeO}_2$<br>เพื่อผลิตไฟฟ้าจาก<br>ความร้อนสูญเสีย | เงินงบประมาณ<br>(วช)                                                                                                                                                       | ๓,๐0๐,๐๐๐   | ๒๕๕๗-<br>๑๕๕๙  | หัวหน้า<br>โครงการ    | - |
| Invention of uni p-type $\text{CuCrO}_2$ thermoelectric module and measurement of energy conversion of electric from heat            | เงินรายได้คณะ<br>วิทยาศาสตร์                                                                                                                                               | ๒๐๐,๐๐๐     | ๒๕๕๘           | หัวหน้า<br>โครงการ    | - |
| การพัฒนาแบบ<br>เตาเผาอัตร้อนสำหรับ<br>สังเคราะห์วัสดุเทอร์<br>โมอิเล็กทริก                                                           | เงินรายได้คณะ<br>วิทยาศาสตร์                                                                                                                                               | ๖๐๐,๐๐๐     | ๒๕๕๗           | หัวหน้า<br>โครงการ    | - |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



|                                                                                        |                                                                           |               |                                   |                |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------|----------------|---|
| Synthesis and studying of optical properties of $\text{CuBO}_2$ compound               | งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2556                                           | ๕๐,๐๐๐        | ๒๕๕๖                              | หัวหน้าโครงการ | - |
| Synthesis and studying of thermoelectric properties of $\text{CuCoO}_2$ compound       | งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2556                                           | ๕๐,๐๐๐        | ๒๕๕๖                              | หัวหน้าโครงการ | - |
| สังเคราะห์และศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบ $\text{Cu}_{1-x}\text{PdxFeO}_2$ | กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง                 | ๑๒๐,๐๐๐       | ๒๕๕๖                              | หัวหน้าโครงการ | - |
| การสร้างความสามารถวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและโครงสร้างผลึกวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก       | แหล่งเงินทุนสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช), ระยะเวลา | 2,000,000 บาท | 27 ก.ย.55 วันที่สิ้นสุด 26 ก.ย.57 | ผู้ร่วมโครงการ |   |

## รางวัล

| ปี พ.ศ. | ชื่อรางวัล                                                                                                                                                        | หน่วยงานที่ให้                                       |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 2560    | ได้รับรางวัล บุคลากรดีเด่น คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี 2560 กลุ่มสายวิชาการ ด้านอาจารย์ดีเด่นด้านการวิจัย กลุ่มรุ่นใหม่ | คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                   |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2560 | ได้รับโล่ยกย่องเชิดชูเกียรติและประกาศเกียรติคุณบุคคลที่ได้ทำประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2560                                                                                                                                                                       | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร                                                                                             |
| 2560 | ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 จากโครงการเรื่อง “คอนกรีตบล็อกผลิตไฟฟ้าจากความร้อน โดยการใช้วัสดุตั้งต้นจากเปลือกไข่ไก่” ในการประชุมวิชาการ การประกวดโครงการวิจัยระดับอุดมศึกษา กลุ่มฟิสิกส์ จัดโดย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 2560                       | โดยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี                                                                  |
| 2559 | ได้รับรางวัล “The Best Poster Presentation Award” ในการเสนอผลงานทางวิชาการเรื่อง “High-temperature thermoelectric concrete block from $\text{CaMnO}_3$ ” ในงาน 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 15-18 December 2016, Sea Garden Hotel, Danang, Vietnam ประเทศเวียดนาม                         | ในงาน 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 15-18 December 2016, Sea Garden Hotel, Danang, Vietnam ประเทศเวียดนาม |
| 2559 | ได้รับรางวัลบทความดีเด่น จากบทความเรื่อง การสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก " $\text{Mg}_2\text{Si}$ โดยใช้สารตั้งต้น $\text{SiO}_2$ สกัดจากแกลบข้าวใน " การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12, “12th conference on energy network of Thailand”, ระหว่างวันที่ 8-10 มิถุนายน 2559 จ. พิษณุโลก | 12th conference on energy network of Thailand                                                                                     |
| 2557 | ได้รับโล่ยกย่องเชิดชูเกียรติ และ ประกาศเกียรติคุณบุคคลที่ได้ทำประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วันที่ 27 สิงหาคม 2557                                                                                                                                                      | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร                                                                                             |
| 2556 | ได้รับโล่ยกย่องเชิดชูเกียรติและประกาศเกียรติคุณบุคคลที่ได้ทำประโยชน์และชื่อเสียง                                                                                                                                                                                                                                   | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร                                                                                             |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                          |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | ให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วันที่ 26 สิงหาคม 2556                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                          |
| 2556 | ได้รับรางวัล Best Paper Award ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2013) ระหว่างวันที่ 21-24 สิงหาคม 2556 จากบทความวิจัยเรื่อง “Thermoelectric Properties of Sn <sup>2+</sup> -Substituted CuFeO <sub>2</sub> Delafossite-Oxide” | International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2013)  |
| 2556 | ได้รับรางวัล Best Paper Award ในงานประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งชาติแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 วันที่ 9 พฤษภาคม 2556 จากบทความวิจัยเรื่อง “สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุออกไซด์ CuFeO <sub>2</sub> เติลฟอสไซด์ที่เจือด้วยอะตอม Al, Sn, Ti, Au”                                                    | ในงานประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งชาติแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 วันที่ 9 พฤษภาคม 2556 |
| 2555 | ผู้สอบได้คะแนนยอดเยี่ยม อันดับ 3                                                                                                                                                                                                                                                                         | มูลนิธิ ศ.ดร.แถบ นีละนิธิ                                                                |

| ชื่อโครงการ                                                                                                                             | แหล่งเงินทุน                                              | ระยะเวลาโครงการ | สัดส่วนของเวลาทำงานทั้งหมดของท่านในโครงการ (%) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------|
| การพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แมกนีเซียมซิลไซด์ โครงสร้างนาโนจากแถบขั้วสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟและอัดร้อนและการประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริก | แหล่งเงินทุน: ทุนเงินงบประมาณแผ่นดิน (วช.) ต่อเนื่อง 1 ปี | 560 - 2561      |                                                |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                                                                                                                   |                                                                                                                                                          |            |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--|
| การพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน,                       | เงินรายได้<br>(ทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตอุปกรณ์ฯ) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 ปี                                     | 560 - 2561 |  |
| โครงการพัฒนาศักยภาพการอัดประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดด้วยเทคโนโลยีควอนตัม                                                          | สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(สนพ) ผ่านสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ                                                                        | 560-2561   |  |
| การพัฒนาระบบกักเก็บพลังงานด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor) เพื่อสร้างเสถียรภาพด้านพลังงานของประเทศ                        | สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ                                                                                                                          | 561-2562   |  |
| Fabrication and observation of spin Seebeck effect on $12\text{CaO}-7\text{Al}_2\text{O}_3$ doping transition metal ( Fe, Ni, Cr) | นักวิจัยที่ปรึกษา ทุนนักวิจัยหลังปริญญาเอก (Postdoctoral grant)<br>ดร. ประเมศวร์ วงศ์จอม กองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ๒ ปี | 561-2562   |  |



|                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                        |            |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--|
| Correlation between the crystal structure and thermoelectric properties of the CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> cement by Rietveld refinement technique | นักวิจัยที่ปรึกษา ทุน<br>นักวิจัยหลังปริญญาเอก<br>( Postdoctoral grant)<br>ดร.ราชานุสรณ์ รุ่งเต่า<br>กองทุนวิจัย สถาบัน<br>เทคโนโลยีพระจอมเกล้า<br>เจ้าคุณทหารลาดกระบัง<br>๒ ปี        | 561-2562   |  |
| Fabrication and thermoelectric properties of nanostructure 12CaO·7Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> prepared by hydrothermal method                          | นักวิจัยที่ปรึกษา ทุน<br>นักวิจัยหลังปริญญาเอก<br>( Postdoctoral grant)<br>ดร.ศักดิ์<br>วิบูลย์ จันทราษี<br>กองทุนวิจัย สถาบัน<br>เทคโนโลยีพระจอมเกล้า<br>เจ้าคุณทหารลาดกระบัง<br>๒ ปี | ๕๕๙ – ๒๕๖๑ |  |

บทความตีพิมพ์ในวารสาร

ปี 2561 (2018)

[1] Chaiwat Phrompet, Chaval Sriwong, Santi Maensiri, Prinya Chindaprasirt, Chesta Ruttanapun\*, “Optical and dielectric properties of nano-sized tricalcium aluminate hexahydrate (C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub>) cement”, Construction and Building Materials ,179 (2018) 57–65. ISI Impact Factor: 3.169, (Quartiles 1).

[2] C. Ruttanapun, P. Srepusharawoot, and S.Maensiri, “Effect of Fe<sup>3+</sup>-doped Ca<sub>12</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub> cement on optical and thermal properties”, Chinese Journal of Physics, 56 (2018) 252–260

ปี 2560 (2017)

[1] C.Rudradawong, Chesta Ruttanapun, “effect of excess oxygen for CuFeO<sub>2</sub>·0.06 Delafossite on Thermoelectric and optical properties”, Physica B: Condensed Matter, Volume 526, 1 December 2017, Pages 21-27. (ISI IF(2017):1.386)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[2]Tapsanit P., Yamashita M., Otani C., Krongsuk S., and **Ruttanapun C.**, (2017) “Closed-form formulae of effective parameters of hyperbolic metamaterial made by stacked hole-array layers working at terahertz or microwave radiation”, Vol. 34, (9): pp. 1930-1936.

#### ปี (2016)

[1]Hongaromkij Y., Rudradawong C., and **Ruttanapun C.\***, (2016) “Effect of Ga-substitution for Fe sites of delafossite  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.0, 0.1, 0.3, 0.5$ ) on thermal conductivity, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, Vol. 27: pp. 6438-6444.

#### ปี (2015)

[1]**Ruttanapun C.\*** and Maensiri S., (2015) “Effects of spin entropy and lattice strain from mixed-trivalent  $\text{Fe}^{3+}/\text{Cr}^{3+}$  on the electronic, thermoelectric and optical properties of delafossite  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.25, 0.5, 0.75$ )”, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 48: pp. 495103.

[2]Hongaromkij Y., Rudradawong C., Wichainchai A. and **Ruttanapun C.\***, (2015) “Improvement of Thermoelectric Material by Reduction Thermal Conductivity of Sn-doped  $\text{CuFeO}_2$  Delafossite Compound”, Integrated Ferroelectrics: An International Journal, Vol. 165 (1): pp. 73-80.

[3]**Ruttanapun C.\***, Charoenphakdee A., Nisoa M., Muthitamongkol P., Thanachayanont C. and Maensiri S., (2015) “Effect of Strong Correlation of  $\text{Mg}^{2+}$ -doped into  $\text{Cr}^{3+}$  Sites of  $\text{CuCrO}_2$  on Thermoelectric Properties”, Integrated Ferroelectrics: An International Journal, Vol. 165 (1): pp. 45-52.

#### ปี (2014)

[1]**Ruttanapun C.\***, (2014) “Effects of Pd substitution on the thermoelectric and electronic properties of delafossite  $\text{Cu}_{1-x}\text{Pd}_x\text{FeO}_2$  ( $x = 0.01, 0.03$  and  $0.05$ )”, Journal of Solid State Chemistry, Vol. 215: pp. 43-49.

[2]Plaipichit S., Buranasiri P., **Ruttanapun C.**, and Jindajitawat P., (2014) “The direct measurement of the photorefractive grating on anisotropic self diffraction using digital holography”, Integrated Ferroelectrics, Vol. 156: pp.160-167.

[3]Wicharn S., Buranasiri P., **Ruttanapun C.**, and Jindajitawat P., (2014) “A computational investigation of third-harmonic generation in one-dimensional photonic band-gap materials with multiple-scale method”, Integrated Ferroelectrics, Vol. 156: pp. 45-52.

- [4]**Ruttanapun C.**\*Kosalwat W., Rudradawong C., Jindajitawat P., Buranasiri, P. Naenkieng D., Boonyopakorn N., Harnwunggmoung A., Thowladda W., Neeyakorn W., Thanachayanont C., Charoenphakdee A., and Wichainchai A., (2014) “Reinvestigation thermoelectric properties of  $\text{CuAlO}_2$ ”, Energy Procedia, Vol. 56, pp. 65-71.
- [5]Rudradawong C., Wichainchai A., Sakulkalavek A., Hongaromkid Y., and **Ruttanapun C.**, (2014) “Method of high active preparation and electrical properties of  $\text{CuFeO}_2$  delafossite-type” , [Advanced Materials Research](#), Vol. 979: pp. 302-306
- [6]**Ruttanapun C.**\*Jindajitawat P., Buranasiri P., Thowladda W., Neeyakorn W., Naenkieng D., Harnwunggmoung A., Charoenphakdee A., Boonyopakorn N., Thanachayanont C., (2014) “High temperature thermoelectric properties of delafossite  $\text{CuBO}_2$ ”, IEEE 978-1-4799-3855-1/14/\$31.00
- ปี (2013)
- [1]**Ruttanapun C.**\* (2013) “Optical and electronic properties of delafossite  $\text{CuBO}_2$  p-type transparent conducting oxide”, Journal of Applied Physics, Vol. 114: pp. 113108.
- [2]**Ruttanapun C.**\* (2013) Boonchom B., Thongkam M., Kongtaweelert S., Thanachayanont C., and Wichainchai A., “Electrical and optical properties of p-type  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.03, 0.05$ ) delafossite-oxide”, Journal of Applied Physics, Vol. 113: pp. 023103.
- [3]**Ruttanapun C.**\*Boonchom B., Vittayakorn N., Harnwunggmoung A., and Charoenphakdee A., (2013) “Synthesis and Thermoelectric Properties of  $\text{Cu}_{0.95}\text{Pt}_{0.05}\text{Fe}_{0.97}\text{Sn}_{0.03}\text{O}_2$  Delafossite-Oxide”, Ferroelectrics, Vol. 453(1): pp.75-83.
- [4]**Ruttanapun C.**\*, Kahatta S., Boonchom B., Vittayakorn N., Thongkam M., Kongtaweelert S., Woramongkonchai S., and Chaiyasith P., (2013) “Optical Properties of  $\text{Cu}_{0.95}\text{Pt}_{0.05}\text{Fe}_{0.97}\text{Sn}_{0.03}\text{O}_2$  for p-type Transparent Conducting Oxide Materials”, Advanced Materials Research, Vol. 717: pp. 15-10.

- [5]Boonchom B., **Ruttanapun C.**, Thongkam M., Chaiyasith P., Woramongkonchai S., Kongteweelert S. and Vittayakorn N., (2013) “A new synthesis of BaHPO<sub>4</sub> precipitated by BaCO<sub>3</sub>-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-NaOH system at room temperature”, Advanced Materials Research, Vol. 717: pp 37-43.
- [6]Chaiyasith P., **Ruttanapun C.**, Thongkam M., Kongteweelert S., Woramongkonchai S. and Boonchom B., (2013) “A Simple Route to Synthesize Ferromagnetic Binary Calcium Iron Pyrophosphate CaFeP<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Using Aqueous-Acetone Media”, Advanced Materials Research, Vol.717: pp. 44-48.
- [7]Kongteweelert S., **Ruttanapun C.**, Thongkam M., Chaiyasith P., and Woramongkonchai S., (2013) “Facile, alternative synthesis of spherical-like Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O nanoparticle by aqueous-methanol media”, Advanced Materials Research, 717 : pp. 49-53.
- [8]**Ruttanapun C.\***, Jindajitawat P., Thowladda W., Neeyakorn W., Thanachayanont C., Charoenphakdee A., (2013) “Thermoelectric properties of Sn<sup>2+</sup>-substituted CuFeO<sub>2</sub> delafossite-oxide”, Advanced Materials Research, Vol. 802: pp. 17-21.
- [9]Kahatta S., Chaiyo N., **Ruttanapun C.**, Techitdheera W., Pecharapa W., and Vittayakorn N., (2013) “Microwave-assisted solution combustion synthesis and characterization of thermoelectric Ca<sub>3</sub>Co<sub>2</sub>O<sub>6</sub> powder”, Advanced Materials Research, Vol. 802: pp. 84-88
- [10]Charoenphakdee A., Harnwunggmoung A., Seetawan T., **Ruttanapun C.**, Amornkitbamrung V., Kurosaki K., and Yamanaka S., (2013) “Reinvestigation the thermal and electrical transport properties of Tl<sub>7</sub>Sb<sub>2</sub>”, Advanced Materials Research, Vol. 802: pp. 284-288.
- [11]**Ruttanapun C.\***, Boonchom B., Thongkam M., Kongtaweelert S., Wichainchaia A., Thanachayanont C., and Charoenphakdee A., (2013) “Thermoelectric properties of n-Type CuFe<sub>0.95</sub>Pb<sub>0.05</sub>O<sub>2</sub> delafossite type-oxide”, Journal of Material Science and Applied Energy, Vol. 2(2): pp. 1-5



[12]**Ruttanapun C.**\*, Hongaromkid Y., Thowladda W. and Wichainchai A., (2013) "Alcohol sensing of p-type  $\text{CuFeO}_2$  delafossite oxide ", Proc. SPIE 8883, ICPS 2013, 88831L; doi:10.1117/12.2021102.

[13]**Ruttanapun C.**, Sa-nguan-cheep M., Kahatta S., Buranasiri P. and Jindajitawat P., (2013) "Optical and electronic transport properties of p-type  $\text{CuCoO}_2$  transparent conductive oxide ", Proc. SPIE 8883, ICPS 2013 88831O; doi:10.1117/12.2021992.

[14]Wicharn S., Buranasiri P., **Ruttanapun C.**, and Jindajitawat P., (2013) "Efficient third-harmonic generation in one-dimensional photonic crystals", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8883, 2013.

[15]Plaipichit S., Atta P., Buranasiri P., **Ruttanapun C.**, and Jindajitawat P., (2013) "Fingerprint verification by using low coherence digital holography", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8883.

[16]Sidakum K., Buranasiri P., Plaipichit S., **Ruttanapun C.**, and Jindajithawat P., (2013) "The generation of optical phase conjugation from cerium doped barium titanate at wavelength of 632.8 nm", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8883.

[17]Wicharn S., Buranasiri P., **Ruttanapun C.**, and Jindajitawat P., (2013) "Optical parametric amplification in one-dimensional photonic bandgap structures", Vol.52: pp. 6090-6099.

### Invited speaker

[1] "**Fabrication of thermoelectric materials and devices in sub-nanometer-sized empty cages  $\text{C}_{12}\text{A}_7$  cement-based compound**", The 1<sup>st</sup> international conference on applied science engineering and interdisciplinary studies (ASEIS), 5 July 2018, Rajamangala university of Technology Thanyabury.

### International conferences

[1] C. Ruttanapun, P. Srepusharawoot and S. Maensiri, "Effect of Cu-Doped  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14-x}\text{O}_{33}$  Cement on Thermal and Electronic Properties", the 11th Asian Meeting on Electroceramics

(AMEC-11, 2018), the International Convention Center Hiroshima, Hiroshima, Japan from May27 - June1, 2018, with 2018 ISAF-FMA-AMF-AMEC-PFM Joint Conference (IFAAP2018) (Poster presentation).

[2] Chesta Ruttanapun and Santi Maensiri, “Thermoelectric properties of  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$  cement prepared by hot press sintering”, The first materials research society of Thailand international conference, Convention center, The empress hotel, Chiang Mai, Thailand, October 31 – November 3, 2017. (Oral presentation)

[3] Chaiwat Phrompet, Chaval Sriwong, Santi Maensiri, and Chesta Ruttanapun, “Thermoelectric properties of  $3\text{Ca}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ /reduce graphene oxide hybrid base on cement composite fabrication by hot press sintering”, The first materials research society of Thailand international conference, Convention center, The empress hotel, Chiang Mai, Thailand, October 31 – November 3, 2017. (Poster)

[4] Sakwiboon Jantrasee, Direk Boonthum and Chesta Ruttanapun, “Microwave-assisted hydrothermal technique synthesis of  $\text{C}_{12}\text{A}_7$  Nanostructures”, The first materials research society of Thailand international conference, Convention center, The empress hotel, Chiang Mai, Thailand, October 31 – November 3, 2017. (Poster).

[5] Direk Boonthum, Chesta RUTTANAPUN, and Mudtorlep NISOA, “Design of a high-temperature microwave furnace for preparation of highly efficient thermoelectric materials” SiamPhysicsCongress2017, Siam Physics Congress 2017 (24-26 May 2017)

[6] Chaiwat Phrompet, Chaval Sriwong, Chesta Ruttanapun, and Santi Maensiri, Preparation and characterization of cement  $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ /reduced graphene oxide hybrid composites and their electrical properties, NanoThailand 2016, 27-29 November 2016, THE GREENERY RESORT KHAO YAI

[7] S. Chanprateep, C. Phrompet, C. Rudradawong, J. Gobpant and C. Ruttanapun, “Al-doped  $\text{ZnO}$  thermoelectric module”, The 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 (SACT 2016), 15-18 December 2016, Da Nang City, Vietnam, Oral presentation, Book of abstracts p. 24,

[8] C. Ruttanapun and S. Maensiri, “Effect of Fe-doped  $\text{C}_{12}\text{A}_7$  cement on thermal and optical properties”, The 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 (SACT 2016), 15-18 December 2016, Da Nang City, Vietnam, Poster presentation, Book of abstracts p. 58.

[9] J. Gobpant, C. Phrompet, C. Rudradawon, S. Chanprateep, P. Tapsanit, and C. Ruttanapun, “High-temperature thermoelectric concrete block from  $\text{CaMnO}_3$ ”, The 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 (SACT 2016), 15-18 December 2016, Da Nang City, Vietnam, Poster presentation, Book of abstracts p. 75.

[10] C. Ruttanapun and S. Maensiri, “Thermoelectric electronic and optical properties of Sn-doped  $\text{CuCrCo}_2$  delafossite”, The 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 (SACT 2016), 15-18 December 2016, Da Nang City, Vietnam, Poster presentation, Book of abstracts p. 99.

[11] Chesta Ruttanapun, “Photo Seebeck effect in delafossite CuFeO<sub>2</sub>”, SiamPhysicsCongress2016, Siam Physics Congress 2017 (8-10 Jun 2016) Ubon Ratchathani, Thailand.

## ประชุมวิชาการในประเทศ

- [1] ชัยวัฒน์ พรหมเพชร, จักรกฤษ กอบพันธ์ และเชษฐา รัตนพันธ์, “ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซีเบคอุณหภูมิสูง” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 (13th Conference On Energy Network of Thailand) 31 พฤษภาคม -2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ (Oral presentation)
- [2] ศฤงคาร จันทน์ประทีป และเชษฐา รัตนพันธ์, “เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซีเบคขนาดเล็กจากวัสดุ  $Zn_{1-x-y}Al_xMn_yO$ ” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 (13th Conference On Energy Network of Thailand) 31 พฤษภาคม -2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ (Oral presentation)

## 20.2 ผู้ร่วมวิจัย

### 2.2.1 ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายภูมินทร์ จินดาจิราวัฒน์  
(ภาษาอังกฤษ) Phumin Jindajitawat
2. รหัสบัตรประจำตัวประชาชน 3 1021 01436 51 9
3. วัน เดือน ปีเกิด 12 ตุลาคม 2518
4. ตำแหน่งปัจจุบัน  
ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์
5. ที่ทำงาน สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์ 087-9375877 โทรสาร 0-2326-4413

6. Email address [kjphumin@kmitl.ac.th](mailto:kjphumin@kmitl.ac.th), [phumin@yahoo.com](mailto:phumin@yahoo.com)

## 7. ประวัติการศึกษา

7.1 ปริญญาตรีสาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ (โซลิตสเตทอิเล็คทรอนิกส์) ปีที่จบ ค.ศ. 1997

สถาบัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเทศไทย

7.2 ปริญญาโทสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า ปีที่จบ ค.ศ. 2001

สถาบัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเทศไทย

## 8. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Electronics and Semiconductor Devices

## 9. ผลงานวิจัย

1. Parnklang, J.; Jindajitawat, P.; Titiroongruang, W.; ***“Subthreshold Operation of MOIS Devices: Boundary of Operation,”*** IEEE 2000 Tencon Proceedings, vol. III, 2000, pp. III-25 – III-28.