

การนำความร้อนสูญเสียจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้เป็นแหล่ง  
พลังงานสำหรับคอมไพร์สพลังงานไดโอดเปล่งแสงแบบพึ่งพาตนเอง

นายพิศเดช ชุมเงิน อ.ส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน  
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
(รศ. ดร. สันติ หวังนิพนานโต)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ดร. เก้ากัณยา สุกประเสริฐ)

..... กรรมการ  
(รศ. ดร. ศิริชัย เทพา)

..... กรรมการ  
(ดร. รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำความร้อนสูญเสียจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับ โคมไฟส่องถนนไดโอดเปล่งแสงแบบพึ่งพาตนเอง
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายพีศเดช ชุมเงิน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.เก้ากันยา สุกประเสริฐ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพลังงาน
สายวิชา	เทคโนโลยีพลังงาน
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
ปีการศึกษา	2557

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาการนำความร้อนสูญเสียจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้เสริมกับ โคมไฟส่องถนนชนิดไดโอดเปล่งแสง ระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 W ขนาด 63 cm x 66 cm x 3.5 cm ที่ติดตั้งด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก 10 โมดูล และโคมไฟส่องถนน ระบบจะทำการทดสอบโดยเปรียบเทียบระบบที่มีเซลล์แสงอาทิตย์และมีเทอร์โมอิเล็กทริกกับระบบที่มีเพียงแต่เซลล์แสงอาทิตย์และไม่มีการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก เซลล์แสงอาทิตย์แบบที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งจะทำการติดตั้งด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนด้านเย็นจะถูกระบายด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีครีป ระบบที่สร้างขึ้นจะทำการทดลองในพื้นที่โล่งแจ้งตลอดทั้งวัน ความร้อนสูญเสียได้เซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้ตามปรากฏการณ์ซีเบ็ค จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านร้อนอยู่ที่ 59.63 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิด้านเย็นเฉลี่ยอยู่ที่ 39 องศาเซลเซียส ที่เวลา 14.00 นาฬิกา มีผลต่างอุณหภูมิที่สูงสุดคือ 23 องศาเซลเซียส ให้แรงดันไฟฟ้า 1.169 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0.079 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้า 0.086 วัตต์ ส่วนผลที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 35.23 วัตต์ โดยกำลังไฟฟ้าที่ได้จะนำไปใช้ใน โคมไฟส่องถนนชนิดไดโอดเปล่งแสงขนาด 30 วัตต์

**คำสำคัญ :** เทอร์โมอิเล็กทริก/เซลล์แสงอาทิตย์

Thesis Title	Utilization of Waste Heat from Solar Cells as an Energy Source for a Stand – Alone LED Light Post
Credits	12
Candidate	Mr. Peesadeach Khumngan
Thesis Advisors	Dr. Kaokanya Sudaprasert
Program	Master of Engineering
Field of Study	Energy Technology
Department	Energy Technology
Faculty	School of Energy, Environment and Materials
Academic Year	2014

### **Abstract**

This thesis presents a study of the utilization of waste heat from solar cells as an energy source for a stand – alone LED light post. The system used in the experiment consists of 60 W solar panels with the dimension of 63 cm x 66 cm x 3.5 cm equipped with thermoelectric of 10 modules and LED light post. Two systems between the system consisting of solar cells and thermoelectric modules and the system consisting of solar cells without thermoelectric modules are compared. For the system consisting of solar cells and thermoelectric modules, the hot side of the thermoelectric dielectric is attached adjacent to the solar panels and the cold side is cooled by heat exchanger fins. The experiments are carried out in the open area throughout the day where heat loss of solar cells is converted to generate electricity with a thermoelectric according to the seebeck effect. The experimental results show that the average temperature of the hot side is 59.63 degrees Celsius, the temperature of the cold side is 39 degrees Celsius at 14.00 hr at the maximum temperature difference of 23 degrees Celsius, yielding the voltage of 1.169 volts DC, Electric current of 0.079 ampere and electrical power of 0.086 watts. The results from the solar panels indicates that the average power is at 35.23 watts which can be applied to the 30 watts stand – alone LED light post.

**Keywords :** Thermoelectric/Solar cells

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้จะไม่สำเร็จล่วงได้หากขาดบุคคลสำคัญผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำรวมทั้งให้กำลังใจเสมอมา ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ที่ให้เงินทุนสนับสนุนงานวิจัยและการศึกษาในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ดร.เก๋กัณยา สุดประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษา ใถ่ถามและคอยให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณ คุณกิตติพงศ์ แดงพันธ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำ ปรับปรุง ให้ข้อเสนอแนะ รวมทั้งสนับสนุนช่วยเหลือผู้วิจัยในด้านต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านวิชาการ เป็นเรื่องทำทนายเพราะผู้วิจัย ซึ่งเป็นประสบการณ์ที่ดีเพื่อที่ผู้วิจัยจะนำไปพัฒนาตนเอง ขอขอบคุณ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ร่วมทุกข์ ร่วมสุข ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ให้ความอบอุ่น เปรียบเสมือนเป็นอีกครอบครัวหนึ่ง สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ให้โอกาสทางการศึกษา ความรัก ความหวังใจ คอยสนับสนุนผู้วิจัยทุกอย่าง ทำให้ผู้วิจัยมีกำลังใจในการฟันฝ่าอุปสรรคต่าง ๆ และเข้มแข็งมาจนถึงทุกวันนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นตลอดไป รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องต่าง ๆ ที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้เป็นอย่างสูง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ฐ
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>2. ทฤษฎี/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก	3
2.1.1 ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก	5
2.1.2 วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก	6
2.1.3 สมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก	8
2.1.4 โครงสร้างและหลักการการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล	9
2.1.5 ประสิทธิภาพทำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (TEG)	12
2.1.6 อัตราทำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $Q_h$ )	13
2.1.7 ค่าแรงดันไฟฟ้า Output ของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $V$ )	13
2.1.8 ค่ากระแสไฟฟ้า Output ของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $I$ )	14
2.1.9 ค่ากำลังไฟฟ้า Output ของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $P_0$ )	14

2.1.10	ค่ากำลังไฟฟ้า Output สูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $P_{max}$ )	15
2.1.11	การถ่ายเทความร้อนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Sink)	15
2.2	ความร้อนสูญเสีย	19
2.3	เซลล์แสงอาทิตย์	20
2.3.1	ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	21
2.3.2	สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	22
2.3.3	ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	24
2.4	ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode: LED)	25
2.5	แบตเตอรี่	30
2.5.1	พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่	31
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
<b>3.</b>	<b>วิธีการดำเนินการวิจัย</b>	<b>36</b>
3.1	การออกแบบชิ้นส่วนและองค์ประกอบต่างๆ	40
3.2	วิธีการทดสอบ	41
3.3	วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งในระบบ	43
3.4	เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง	46
<b>4.</b>	<b>ผลการทดลอง</b>	<b>50</b>
4.1	การศึกษาค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	51
4.2	ศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง	53
4.2.1	กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	53
4.2.2	แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	54
4.2.3	กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	55
4.2.4	กระแสไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก 10 โมดูล	56
4.2.5	แรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก	57
4.2.6	กำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก	58
4.2.7	การคำนวณประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	59
4.3	การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริก ไปใช้กับอุปกรณ์อื่น	60
4.3.1	การนำเอากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไปเก็บประจุในแบตเตอรี่	60
4.3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและเวลา	62

	หน้า
4.3.3 ผลของการทดสอบแบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับคอมพิวเตอร์ไอศโคงแปลงแสง	63
<b>5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>64</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	64
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>66</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>68</b>
ก. แบบประกอบและแบบรายละเอียดชิ้นงาน	68
ข. คู่มือการใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	70
ค. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์	74
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>86</b>

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สมบัติของหลอด LED โดยทั่วไป	25
2.2 แรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	33
3.1 Properties of Thermoelectric Module	39
3.2 คุณสมบัติแบตเตอรี่	42

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 ลักษณะการต่อวงจรของซีบีค	3
2.2 ลักษณะการต่อวงจรของเพลทีเยร์	4
2.3 เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ผลิตไฟฟ้า (Power Module)	6
2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ทำความเย็น (Cooling Module)	6
2.5 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด P สำหรับ zT	7
2.6 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด N สำหรับ zT	7
2.7 โครงสร้างส่วนประกอบของ P – N Junction	9
2.8 การไหลของอิเล็กตรอนในเทอร์โมอิเล็กทริก	10
2.9 การจัดเรียงเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทางไฟฟ้าแบบอนุกรม และ/ หรือ แบบขนาน	11
2.10 แสดงครีบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Sink)	18
2.11 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบและเมื่อมีแสงตกกระทบ	22
2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	23
2.13 สัญลักษณ์และตัวถังของหลอด LED	26
2.14 การเกิดปรากฏการณ์อิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์	27
2.15 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในขณะที่ไม่จ่ายกระแสไฟฟ้า	28
2.16 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้า	28
2.17 การทำงานเมื่อไบแอสตรงและกราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับกระแส	29
2.18 พลังงานของแสงสีแดง	29
2.19 พลังงานของแสงอินฟราเรด	29
2.20 การแพร่พลังงานของ LED	30
2.21 ลักษณะแรงดันและค่าความถ่วงจำเพาะปกติของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่สภาวะการประจุและคายประจุคงที่	32

รายการรูปประกอบ(ต่อ)

รูป	หน้า
3.1 โครงสร้างการทำงาน	38
3.2 การวัดวงจรเปิดของเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 1 โมดูล	40
3.3 การวัดแรงดันวงจรเปิดของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบต่ออนุกรม	40
3.4 การวัดกำลังของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบต่ออนุกรม	41
3.5 ชุดทดลองวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้า	41
3.6 เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล	43
3.7 แผงโซลาร์เซลล์แบบผลึกเดี่ยว (Mono crystalline)	44
3.8 อุปกรณ์ชาร์ตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เก็บลงแบตเตอรี่(Solar Charge Controller)	44
3.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบริบายความร้อน	45
3.10 แบตเตอรี่แห้ง	45
3.11 ซิลิโคนนำความร้อน	46
3.12 เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า	46
3.13 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล	47
3.14 สายเทอร์โมคัปเปิล	47
3.15 ตัวต้านทานปรับค่าได้	48
3.16 เครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบคล้องสาย	48
3.17 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบดิจิตอล	49
3.18 พาวเวอร์ซัพพลาย DC	49
4.1 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมง	51
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่มีเทอร์โมอิเล็กทริก อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม กับเวลาในการทดลอง	52
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเทอร์โมอิเล็กทริก และแผงแบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทดลอง	52

## รายการรูปประกอบ(ต่อ)

รูป	หน้า
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเทอร์โมอิเล็กทริก และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง	54
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเทอร์โมอิเล็กทริก และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง	55
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง	56
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง	57
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง	58
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเทอร์โมอิเล็กทริกและแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง	59
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าในการชาร์ตลงแบตเตอรี่กับเวลาในการทำการทดลอง ทั้งแบบต่อวงจรช่วยชาร์ตลงแบตเตอรี่และแบบไม่ต่อวงจรช่วยชาร์ตแบตเตอรี่	60
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าในการชาร์ตลงแบตเตอรี่กับเวลาในการทำการทดลอง ทั้งแบบต่อวงจรช่วยชาร์ตลงแบตเตอรี่และแบบไม่ต่อวงจรช่วยชาร์ตแบตเตอรี่	61
4.12 ความสัมพันธ์ในการนำกำลังไฟฟ้าไปใช้กับโคมไฟส่องถนน	62
4.13 การทดสอบแบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับโคมไฟไดโอดเปล่งแสง	63

## รายการสัญลักษณ์

$DT$	=	ความต่างของอุณหภูมิ
$I_L$	=	กระแสที่โหลด
$I_{L, \max}$	=	กระแสที่โหลดสูงสุด
$I_S$	=	กระแสที่แหล่งจ่าย
$L$	=	โหลด
$T_c$	=	อุณหภูมิฝั่งเย็น
$T_h$	=	อุณหภูมิฝั่งร้อน
$V$	=	แรงดันไฟฟ้า
$V_L$	=	แรงดันที่โหลด
$V_o$	=	แรงดันวงจรเปิด
$V_S$	=	แรงดันที่แหล่งจ่าย
$A$	=	สัมประสิทธิ์ซีแบค

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานอย่างมหาศาล ซึ่งจากการประเมินเบื้องต้นพบว่าปริมาณแก๊สธรรมชาติและน้ำมันดิบภายในประเทศจะหมดไปในอนาคตอันใกล้นี้ การประหยัดพลังงานจึงเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่งในสังคมปัจจุบันที่มีประชากรเป็นผู้ใช้พลังงานอยู่จำนวนมาก การศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยเฉพาะการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการใช้คอมไฟถนนที่จำเป็นต้องใช้งานตลอดเวลาในช่วงกลางคืน เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานพาหนะขับเคลื่อนและคนเดินเท้าจึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ หากไฟถนนมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงก็จะนำมาซึ่งความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่น้อยลง ปัจจุบันคอมไฟส่องถนนโดยทั่วไปจะใช้หลอดไฟแบบแก๊สความดันสูงเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง งานวิจัยนี้ได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาคอมไฟส่องถนนแบบไดโอดเปล่งแสงโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ในการให้พลังงาน ทำให้ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ได้ลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะนำความร้อนส่วนเกินจากเซลล์แสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยติดตั้งอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่บริเวณเซลล์แสงอาทิตย์ในส่วนที่ระบายความร้อนออกมา และเมื่อได้พลังงานไฟฟ้ามาแล้วจะไปต่อกับแบตเตอรี่เกิดเป็นระบบพึ่งพาตนเอง (stand-alone) ของไฟส่องถนนด้วยหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มุ่งเน้นถึงการให้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบการส่องสว่างคอมไฟส่องถนนแบบไดโอดเปล่งแสงระบบพึ่งพาตนเอง
2. เพื่อหาแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบเซลล์แสงอาทิตย์คู่กับเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อใช้ในการส่องสว่างคอมไฟส่องถนนระบบพึ่งพาตนเอง

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการทำงานร่วมกันระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด TEG กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์
2. ทดสอบการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกกับเซลล์แสงอาทิตย์โดยนำไปใช้กับโคมไฟส่องถนนชนิดไดโอดเปล่งแสง

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทฤษฎีและแนวทางการปรับปรุงระบบส่องสว่างโคมไฟส่องถนนแบบไดโอดเปล่งแสง โดยมีเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพึ่งพาตนเอง
2. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานทดแทนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น

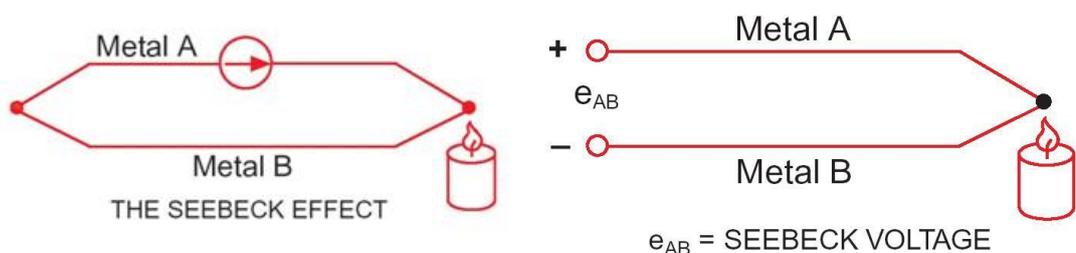
## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในการศึกษาระบบการส่องสว่างโคมไฟส่องถนนแบบไดโอดเปล่งแสงระบบพึ่งพาตนเอง และหาแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบเซลล์แสงอาทิตย์คู่กับเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อใช้ในโคมไฟส่องสว่างระบบพึ่งพาตนเอง ซึ่งเนื้อหาในบทนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักดังนี้

1. ทฤษฎีเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก
2. ความร้อนสูญเสีย
3. เซลล์แสงอาทิตย์
4. ไดโอดเปล่งแสง
5. แบตเตอรี่
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริกถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1821 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อว่า โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomos Johann Seebeck) ซึ่งได้ทำการศึกษาโดยการนำขดลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน เมื่ออุณหภูมิของโลหะทั้งสองมีค่าต่างกันก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดดังรูปที่ 2.1 ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสอง และหากทำการเปิดปลายจุดด้านหนึ่งออกก็จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบคโวลเตจ” (Seebeck voltage)[1]



รูปที่ 2.1 ลักษณะการต่อวงจรของซีเบ็ค

สมการของปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ถ้าเขียนในรูปของความต่างศักย์และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ จะได้ว่า

$$\Delta V = \alpha \Delta T \tag{2.1}$$

ซึ่งสมการ (2.1) สามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปของสนามไฟฟ้าและ Gradient ของอุณหภูมิได้ว่า

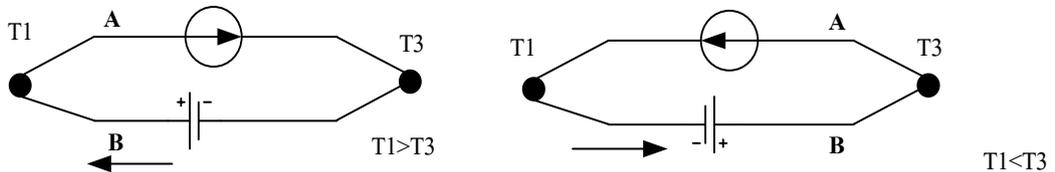
$$\vec{E} = \alpha \vec{\nabla} T \tag{2.2}$$

โดยที่

- $\Delta V$  คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)
- $\vec{E}$  คือ เวกเตอร์สนามไฟฟ้า (V/m)
- $\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)
- $\Delta T$  คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)
- $T$  คือ อุณหภูมิ (K)

โดยที่  $\alpha$  เป็นได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แต่โดยทั่วไปแล้ว N – type มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค เป็นลบ ส่วน P – type มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค เป็นบวก [1]

ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 ยีน เพลทีเยอร์ ชาร์เลส อะธานเนส (Jean Charles Athanase Peltier) ได้พบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรที่ซีเบคสร้างขึ้นซึ่งทำการทดลองโดยใช้ลวดด้านหนึ่งทำจากบิสมัท และอีกด้านหนึ่งทำจากแอนติโมนิ จะส่งผลให้อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อแตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนขึ้น และอีกข้างหนึ่งกลับเกิดในทางตรงข้ามกันคือเย็นลง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะการต่อวงจรของเพลทีเยอร์ [2]

จากรูปที่ 2.2 ลักษณะการต่อวงจรของเพลทีเยอร์ พบว่าเมื่อมีกระแสจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจร (รูปซ้ายมือ) จะทำให้จุดต่อ  $T_1$  มีอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดต่อ  $T_3$  และเมื่อมีกระแสจาก

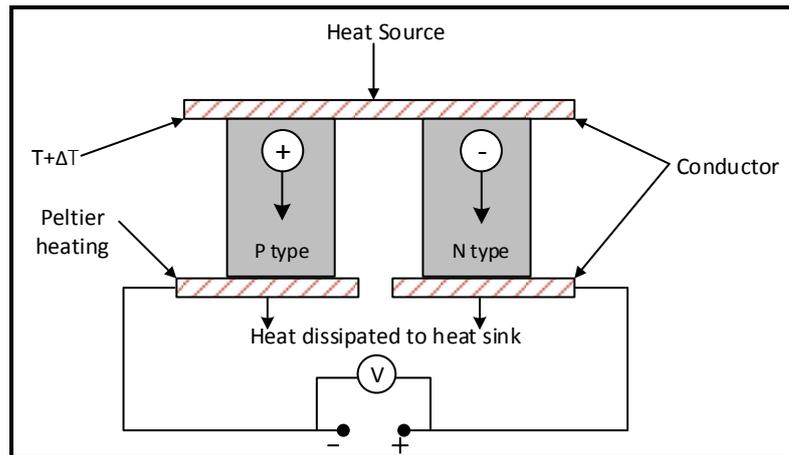
แหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจรดังรูปขวามือ จะทำให้จุดต่อ  $T_3$  มีอุณหภูมิสูงกว่า  $T_1$  ซึ่งจากการค้นพบของซีเบ็ค และเพลเทียร์ ทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้างานวิจัยทางด้านเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนมากในเวลาต่อมา โดยทั่วไปสามารถแบ่งเทอร์โมอิเล็กทริกได้เป็น 2 ชนิด คือ เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ทำความเย็น (Cooling Module) และเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ผลิตไฟฟ้า (Power Module) ทั้งสองชนิดจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ใช้ จากปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้น ได้มีการพัฒนาสารกึ่งตัวนำและสร้างรอยต่อโอห์มมิก (Ohmic junction) ขึ้นแทนรอยต่อเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ของโลหะสองชนิด ทำให้ได้ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงขึ้น ปัจจุบันมีการผลิตในรูปรอยต่อขนาดเล็กหลายรอยต่อบนพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อนำไปใช้งานได้ใน 2 ลักษณะ คือ เป็นอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากความร้อนและเป็นอุปกรณ์ทำความเย็น[3]

### 2.1.1 ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก

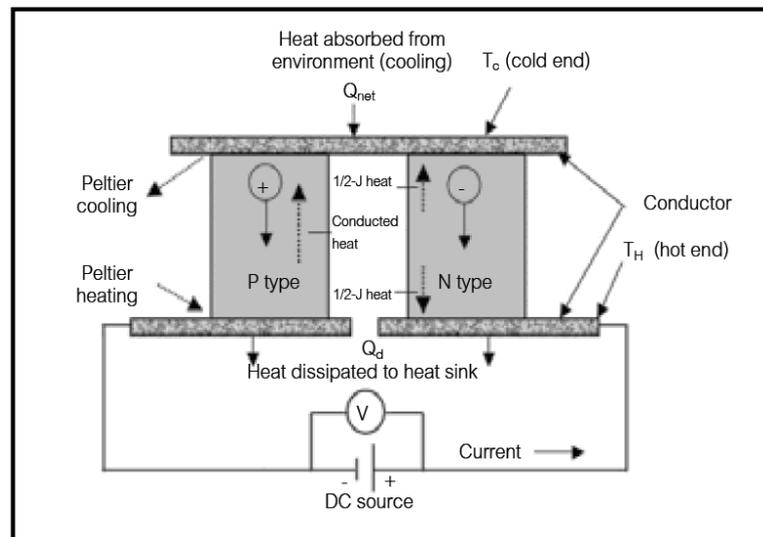
ปัจจุบันสามารถแบ่งตามเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลได้เป็น เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว (Single - Stage Peltier Module) กับเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage Thermoelectric Module) เทอร์โมอิเล็กทริกได้ประกอบไปด้วยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสองชนิดที่เป็นสารกึ่งตัวนำ คือ N - type และ P - type ซึ่งสามารถแบ่งประเภทตามหลักการทำงานได้สองลักษณะคือ[4]

1. เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ เป็นการผันความร้อนเป็นไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.3 โดยความร้อนจะไปกระตุ้นให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอน ทำให้สมดุลของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไป เป็นการกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิสองด้านของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งหากอุณหภูมิต่างกันมากก็ยิ่งได้กำลังไฟฟ้ามก แต่ก็ต้องคำนึงถึงทั้งขนาดและรูปร่าง อีกทั้งยังมีสมบัติหลายอย่างให้เลือกตามลักษณะการใช้งาน เช่น ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า และความสามารถในการถ่ายเทความร้อน

2. เทอร์โมอิเล็กทริกคูลิ่ง เป็นการผันไฟฟ้าเป็นความเย็น ดังรูปที่ 2.4 โดยกระแสไฟฟ้าที่จ่ายจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ เกิดการนำความร้อนออกจากเซลล์ทำให้เกิดความเย็น สำหรับความสามารถในการทำความเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าน้อย เมื่อเทียบการทำความร้อนเนื่องจากความเย็นที่ผลิตได้ถูกลดทอนจากความร้อนไหลย้อนกลับที่เกิดจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อน และด้านเย็น (Conducted heat) และความร้อนที่เกิดจากความต้านทานไฟฟ้า (Joule heat)



รูปที่ 2.3 เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ผลิตไฟฟ้า (Power Module)[2]

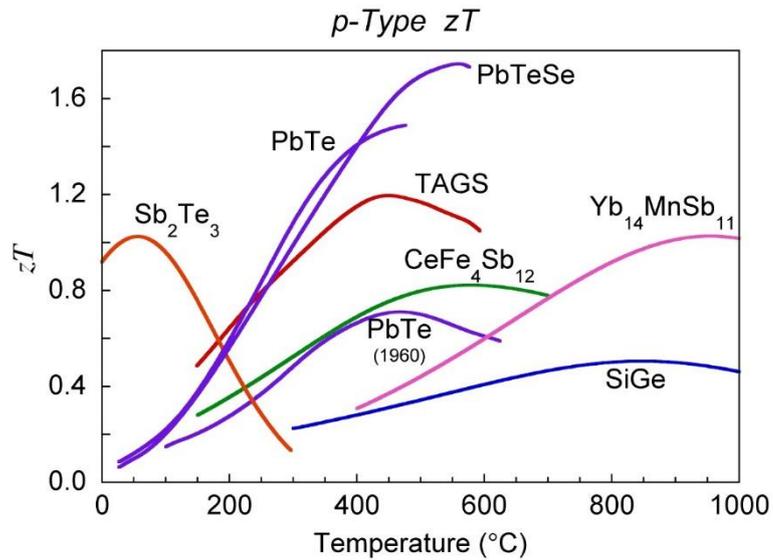


รูปที่ 2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ทำความเย็น (Cooling Module)[2]

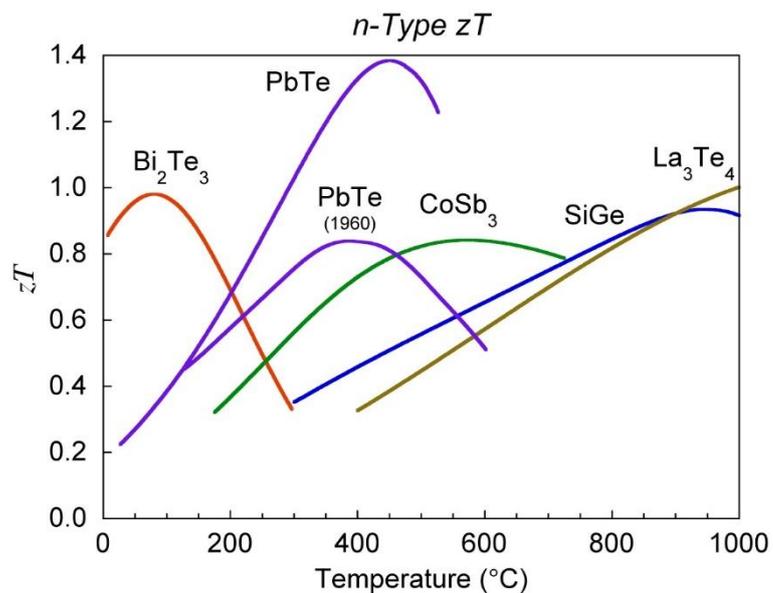
### 2.1.2 วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก

วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกจะเป็นสารที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Seebeck) สูง อันได้แก่ โลหะและสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เนื่องจากวัสดุทั้งสองประเภทนี้มีประจุไฟฟ้าอิสระ (Electron) อยู่จำนวนมากจึงส่งผลต่อประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก นิยามของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าหารด้วยผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่นิยมใช้จะเป็นพวกสารกึ่งตัวนำผสมโลหะ เช่น ซิลิกอนเจอร์เมเนียม (SiGe) หรือลีดเทลลูไรด์ (PbTe) ซึ่งมีค่าซีเบ็คที่สูงกว่าการใช้โลหะหรือสารกึ่งตัวนำเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม นอกจากนี้สารกึ่งตัวนำยังมีประจุไฟฟ้าอีกรูปแบบหนึ่ง คือ โฮล (Hole) โฮลจะมีประจุ

ไฟฟ้าเป็นบวก ทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปยังโหนดได้ และเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างสารกึ่งตัวนำจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานขึ้น ในที่นี้จึงเป็นข้อดีของการใช้สารกึ่งตัวนำผสมโลหะ หากใช้โลหะในการทำเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะมีเพียงอิเล็กตรอนเท่านั้น วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน คือ วัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น N และชนิด P ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.5 และ 2.6[5]



รูปที่ 2.5 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด P สำหรับ  $zT$ [4]



รูปที่ 2.6 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด N สำหรับ  $zT$ [4]

รูปที่ 2.5 และ 2.6 จะเป็นการแสดงถึงวัสดุที่ใช้ทำ P - N type วัสดุเหล่านี้มีข้อจำกัดด้านอุณหภูมิ ซึ่งแต่ละวัสดุจะมีช่วงอุณหภูมิแตกต่างกัน การเลือกใช้ก็สำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิ เพื่อนำไปสู่การใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้ประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งการทดลองงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  เนื่องจากอุณหภูมิด้านร้อนนั้นมีอุณหภูมิเฉลี่ย 40-200 °C ดังนั้นจากการศึกษารูปที่ 2.6 จะสังเกตได้ว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  นั้นมีคุณสมบัติอยู่ในช่วง 0-300 °C จึงได้ทำการเลือกใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  เป็นวัสดุในการผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามวัสดุที่กล่าวถึงข้างต้นยังมีปัญหาต่างๆ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีราคาแพงและต้องการการปกป้องผิวจากการกลายเป็นออกไซด์หรือการกลายเป็นไอ วัสดุบางชนิดมีขีดจำกัดในเรื่องอุณหภูมิภายใน ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเฟสที่อุณหภูมิสูง เมื่อคำนึงถึงการทำงานที่อุณหภูมิสูงในอากาศแล้วพบว่า ออกไซด์โลหะที่อยู่ในสถานะที่มีออกไซด์อยู่แล้วมีความได้เปรียบเนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีความเสถียรต่อความร้อนเป็นเลิศ นอกจากนี้แล้วยังมีวัสดุออกไซด์อีกหลายชนิดที่มีการรายงานว่า มีสภาพนำไฟฟ้าสูง มีความเสถียรทางความร้อนสูง และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ดังนั้นวัสดุกึ่งตัวนำออกไซด์โลหะ (metal oxide semiconductor) จึงควรมานำศึกษาในแง่ของความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผันไฟฟ้าจากความร้อนอุณหภูมิสูง (high temperature thermoelectric material) [6]

### 2.1.3 สมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริค

คุณสมบัติที่ดีของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริค เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และความร้อนที่จ่ายให้ระบบ การที่จะผลิตไฟฟ้าได้ประสิทธิภาพสูงเทอร์โมอิเล็กทริคต้องประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริค (Thermo - element) ที่มีคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดี โดยคุณสมบัติที่ดีของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตไฟฟ้า จะต้องมียุทธศาสตร์ที่สำคัญดังนี้

1. มีสภาพนำไฟฟ้าสูงแต่เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อย (ความร้อนเกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า)
2. มีสภาพนำความร้อนต่ำ เพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ
3. สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า

ซึ่งสมบัติทั้ง 3 ประการ มีความสัมพันธ์กันทางฟิสิกส์ สำหรับใช้บ่งชี้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ (Z) ตามสมการที่ 2.3 [7]

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda} \quad 2.3$$

โดยที่

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)

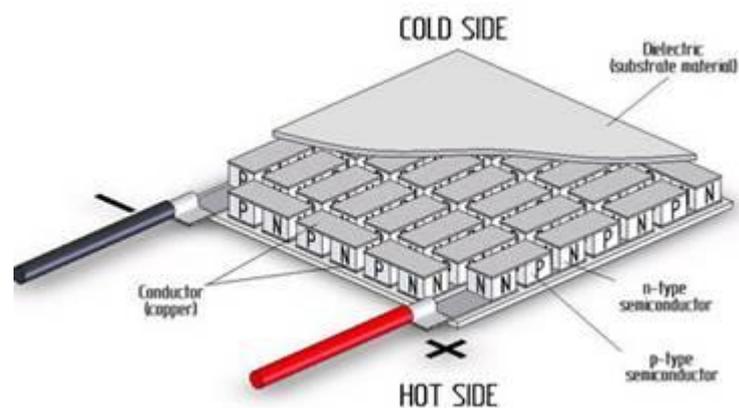
$\sigma$  คือ สภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ (A/V·m)

$\lambda$  คือ สภาพนำความร้อนของวัสดุ (W/m·K)

เนื่องจาก  $Z$  มีหน่วยต่ออุณหภูมิ แต่ในทางปฏิบัติเพื่อให้ค่าบ่งชี้เปรียบเทียบกันได้ง่ายควรจะไม่มีการนำหน่วยค่า  $Z$  จึงคูณด้วย  $T$  โดยที่  $T$  คืออุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำงาน และค่า  $ZT$  จะเรียกว่าค่า figure - of - merit ซึ่งเป็นการใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติการเปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุด หรือการทำความเย็นสูงสุดของวัสดุที่ใช้ผลิตเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งเป็นส่วนหลักของเทอร์โมอิเล็กทริก วัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีจะต้องนำไฟฟ้าดีและเป็นฉนวนความร้อนที่ดีในเวลาเดียวกัน

#### 2.1.4 โครงสร้างและหลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

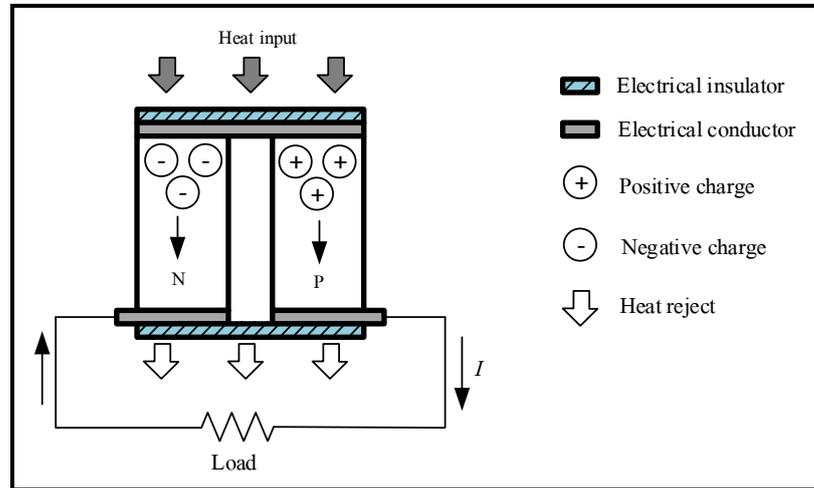
เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเกิดจากการนำเอาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดเอ็น (N - type) และชนิดพี (P - type) ขนาดชิ้นเล็กๆ มาต่อกันเป็นคู่ๆ โดยวางสลับกันและมีโลหะขนาดเล็กเชื่อมต่อทั้งคู่เข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละคู่ที่ต่อกันจะมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้าตั้งแต่ตัวแรกถึงตัวสุดท้าย และเมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด (Load) หากมีกระแสไฟฟ้าไหลก็จะครบวงจรพอดี ที่ด้านบนและด้านล่างถูกประกบด้วยแผ่นเซรามิก ปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นด้านบนและด้านล่างขึ้นอยู่กับจำนวนคู่ของ เอ็น - พี ในโมดูลนั้น ดังรูปที่ 2.4 [7]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างส่วนประกอบของ P – N Junction

สารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากผิวด้านบน

ไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิด P ที่มีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวก เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง โฮลก็จะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจึงไหลตามกันไปไปในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.8 การไหลของอิเล็กตรอนในเทอร์โมอิเล็กทริก[5]

ในทางกลับกันแรงดันไฟฟ้าจะเป็นเหตุให้เกิดความไม่สมดุลของอุณหภูมิด้วย โดยสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกเช่นแบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า จะทำให้เกิดความแตกต่างของความร้อนและความเย็นที่ผิวแต่ละด้าน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปอีกด้าน

รูปแบบทั่วไปของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ดังรูปที่ 2.9 ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ต่อแบบอนุกรมกับแถบตัวนำโลหะในรูปแบบเทอร์โมคัปเปิ้ล โดยคิดค่าความต้านทานไฟฟ้าและความร้อนที่สัมผัส สามารถหาแรงดันเอาต์พุต ( $V_0$ ) กระแสเอาต์พุต ( $I_0$ ) และกำลังไฟฟ้า ( $P_0$ ) ได้จากสมการ ดังต่อไปนี้[2]

$$V_0 = \frac{\alpha N(T_h - T_c)}{1 + 2rl_c / l} \tag{2.4}$$

$$I_0 = \frac{\alpha A_T (T_h - T_c)}{2\rho(n+1)(1 + 2rl_c / l)} \tag{2.5}$$

$$P_0 = \frac{\alpha^2}{2\rho(n+1)(1+2rl_c/l)^2} (T_h - T_c)^2 \quad 2.6$$

โดยที่

$$n = 2\rho_c / \rho$$

$$r = \lambda / \lambda_c$$

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ Seebeck ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (V/K)

$\rho$  คือ ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ( $\Omega/\text{cm}$ )

$\rho_c$  คือ ความต้านทานไฟฟ้าที่สัมผัส ( $\Omega/\text{cm}$ )

$N$  คือ จำนวนเทอร์โมคัปเปิ้ล

$A_T$  คือ พื้นที่หน้าตัดของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $\text{cm}^2$ )

$l$  คือ ความยาวของเทอร์โมอิเล็กทริก (cm)

$l_c$  คือ ความหนาของชั้นสัมผัส (cm)

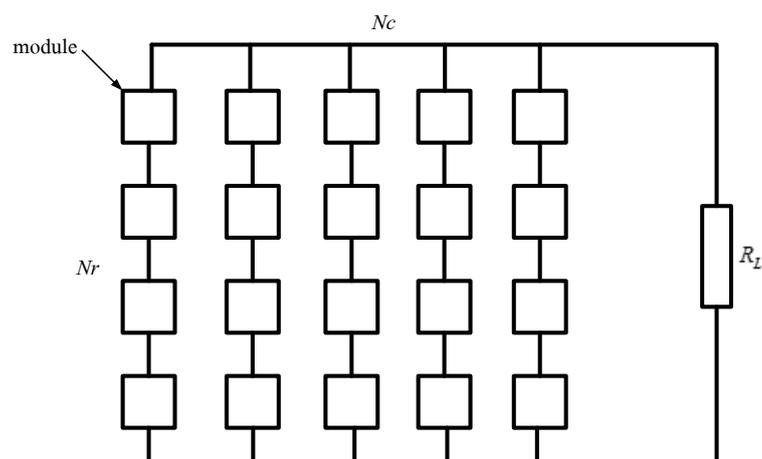
$T_h$  คือ อุณหภูมิด้านร้อนของโมดูล (K)

$T_c$  คือ อุณหภูมิด้านเย็นของโมดูล (K)

$\lambda$  คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ( $\text{W} \cdot \text{cm} \text{K}^{-1}$ )

$\lambda_c$  คือ ค่าการนำความร้อนที่สัมผัส ( $\text{W} \cdot \text{cm} \text{K}^{-1}$ )

ในกรณีที่ต้องการพลังงานเอาต์พุตมาก สามารถทำการจัดเรียงและต่อโมดูลทางไฟฟ้าแบบอนุกรมและ/หรือ แบบขนานได้ ดังรูปที่ 2.6 โดยสามารถคำนวณ แรงดันเอาต์พุต ( $V_o$ ) กระแสเอาต์พุต ( $I_o$ ) และพลังงานเอาต์พุต ( $P_o$ ) ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นไปตามสมการที่ 2.4, 2.5, 2.6[2]



รูปที่ 2.9 การจัดเรียงเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทางไฟฟ้าแบบอนุกรมและแบบขนาน[2]

$$V_s = N_r V_0 \frac{NN_r \alpha \Delta T}{1 + 2rl_c / l} \quad 2.7$$

$$I_s = N_c I_0 \frac{AN_c \Delta T}{2\rho(n+1)(1+2rl_c/l)} \quad 2.8$$

$$P_s = N_r N_c P_0 \frac{\alpha^2}{2\rho} \frac{ANN_r N_c}{(n+1)(1+2rl_c/l)^2} (T_h - T_c)^2 \quad 2.9$$

โดยที่

$N_r$  คือ จำนวนแถวของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

$N_c$  คือ จำนวนหลักของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ซึ่งมีจุดเด่นในด้านขนาดที่เล็กและมีส่วนประกอบจำนวนน้อย สามารถผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยพลังงานความร้อนจากแหล่งต่างๆ เช่น แสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนที่ทิ้งจากกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมหรือในชีวิตประจำวัน สำหรับการใช้นั้นการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมีความสำคัญมาก เนื่องจาก แรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค ( $\alpha$ ) คูณกับผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น ( $T_h - T_c$ ) แสดงว่าหากมีการถ่ายเทความร้อนดีในด้านเย็นจะทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองด้านมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ได้แรงดันไฟฟ้ามีค่ามากขึ้นด้วยซึ่งตัวแปรในการถ่ายเทความร้อนเหล่านี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่รองรับการถ่ายเทความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล[7]

### 2.1.5 ประสิทธิภาพทำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (TEG)

ประสิทธิภาพของทำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $\eta$ ) นั้นเป็นประสิทธิภาพเชิงความร้อน ซึ่งนิยามโดยเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้รับออกมา ( $P_0$ ) และความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทริกดูดเข้าไป ( $Q_h$ ) เขียนเป็นสมการที่ 2.14 ได้ว่า [5]

$$\eta = \frac{P_0}{Q_h} \quad 2.10$$

โดยที่

$\eta$  คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์

$P_0$  คือ กำลังไฟฟ้า Output สูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (W)

$Q_h$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (W)

### 2.1.6 อัตราทำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $Q_h$ )

อัตราการทำความเย็น (ด้านเย็น) และอัตราการถ่ายเทความร้อน (ด้านร้อน) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.15 และ 2.16 ตามลำดับ [6]

$$Q_c = \alpha IT_c - \frac{1}{2} I^2 R - K_t (T_h - T_c) \quad 2.11$$

$$Q_h = \alpha IT_h + \frac{1}{2} I^2 R - K_t (T_h - T_c) \quad 2.12$$

โดยที่

$Q_c$  คือ อัตราการทำความเย็น (W)

$Q_h$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (V/K)

$T_c$  คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

$T_h$  คือ อุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

$R$  คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $\Omega$ )

$I$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ออกจากเทอร์โมอิเล็กทริก (A)

$K_t$  คือ ค่าสภาพนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (W/K)

### 2.1.7 ค่าแรงดันไฟฟ้า Output ของเทอร์โมอิเล็กทริก (V)

การคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าจากปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck effect) ถ้าเขียนในรูปของความต่างศักย์และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ ดังสมการที่ 2.17 [2]

$$V = \alpha \Delta T = (R + R_L) I \quad 2.13$$

โดยที่

$V$  คือ แรงดันไฟฟ้า Output (V)

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (V/K)

$I$  คือ กระแสไฟฟ้า (A)

$R$  คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $\Omega$ )

$R_L$  คือ ความต้านทานโหลดไฟฟ้า ( $\Omega$ )

$\Delta T$  คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

### 2.1.8 ค่ากระแสไฟฟ้า Output ของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $I$ )

เป็นค่าของกระแสที่ไหลออกมาจากผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังสมการที่ 2.18 [5]

$$I = \frac{\alpha \Delta T}{(R + R_L)} \quad 2.14$$

โดยที่

$I$  คือ กระแสไฟฟ้า Output (A)

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)

$R$  คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $\Omega$ )

$R_L$  คือ ความต้านทานโหลดไฟฟ้า ( $\Omega$ )

$\Delta T$  คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวด้านร้อนและอุณหภูมิผิวด้านเย็น (K)

### 2.1.9 ค่ากำลังไฟฟ้า Output ของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $P_0$ )

เป็นค่ากำลังไฟฟ้าทางด้าน Output ที่ได้จากกระแสไฟฟ้าด้าน Output ที่คำนวณได้กับความต้านทานโหลดทางไฟฟ้าในระบบ ดังสมการที่ 2.19 [6]

$$P_0 = I^2 R_L = IV \quad 2.15$$

โดยที่

$P_0$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้า Output (W)

$I$  คือ กระแสไฟฟ้า (A)

$R_L$  คือ ความต้านทานโหลดไฟฟ้า ( $\Omega$ )

$V$  คือ แรงดันไฟฟ้า Output (V)

### 2.1.10 ค่ากำลังไฟฟ้า Output สูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $P_{\max}$ )

ค่ากำลังไฟฟ้า Output สูงสุดจะมีค่าสูงสุดคำนวณได้กับความต้านทานโหลดทางไฟฟ้าในระบบ จะได้ดังสมการที่ 2.20 [6]

$$P_{0(\max)} = \frac{(\alpha\Delta T)^2}{4R} \quad 2.16$$

โดยที่

$P_{0(\max)}$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้า Output สูงสุด (W)

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)

$R$  คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $\Omega$ )

$\Delta T$  คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

### 2.1.11 การถ่ายเทความร้อนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Sink)

สมการถ่ายเทความร้อนจากความร้อนเหลือทิ้งที่ถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศแวดล้อมผ่านครีบบระบายความร้อน ขึ้นอยู่กับลักษณะของครีบ (ความสูงและระยะห่างของครีบ) และพื้นที่ของ Heat Sink ดังสมการที่ 2.21 [7]

$$\dot{Q} = hA(T_s - \bar{T}_b) \quad 2.17$$

โดยที่

$\dot{Q}$  คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนจาก Heat Sink (W)

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดการถ่ายเทความร้อนของ Heat Sink ( $m^2$ )

$T_s$  คือ อุณหภูมิที่ผิวของ Heat Sink ( $^{\circ}C$ )

$\bar{T}_b$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้าและขาออกของ Heat Sink ( $^{\circ}C$ ) หาได้จากสมการ 2.22

$$\bar{T}_b = \frac{T_{ab} + T_{out}}{2} \quad 2.18$$

โดยที่

$T_{ab}$  คือ Absolute Temperature (K) เป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์ คือ อุณหภูมิที่วัดจากอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute zero temperature) อาจเรียกว่า Kelvin temperature มีหน่วยเป็นเคลวิน

$T_{out}$  คือ อุณหภูมิขาออกของ Heat Sink (K)

$\bar{h}_c$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยของ Heat Sink ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ) หาได้จาก การพาความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยม ดังสมการที่ 2.23 [7]

$$\bar{h}_c = \left( \frac{k}{D_h} \right) \overline{Nu}_{DH} \quad 2.19$$

โดยที่

$k$  คือ ค่าการนำความร้อนของ Thermoelectric Element ( $\text{W}/\text{cm} \cdot \text{K}$ )

$D_h$  คือ พื้นที่หน้าตัดไฮดรอลิกภายในของท่อสี่เหลี่ยม หาได้จากสมการ 2.24

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad 2.20$$

โดยที่

$A_c$  คือ เป็นพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อสี่เหลี่ยม ( $\text{m}^2$ )

$P$  คือ เส้นรอบรูปของท่อสี่เหลี่ยม (m)

$\overline{Nu}_{DH}$  คือค่า Nusselt number หาได้จากสมการที่ 2.21 ค่า Nusselt number ที่ของไหลในท่อไม่กลม แบบลามินาร์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าเรย์โนลด์แต่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของครีบและระยะห่างระหว่างครีบ ซึ่งใช้พิจารณาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านเย็น ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ) ในการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยม กรณีที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) สำหรับการไหลเต็มท่อแบบลามินาร์

$$Nu = \frac{h_{cold} D_h}{k} = 3.66 + \frac{0.065(D_h/L) R_e Pr}{1 + 0.04[(D_h/L) R_e Pr]^{2/3}} \quad 2.21$$

กรณีที่เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) สำหรับการไหลเต็มท่อแบบปั่นป่วน ดังสมการ

2.26

$$Nu = \frac{h_{cold} D_h}{k} = 0.023 R_e^{0.8} Pr^n \quad 2.22$$

โดยที่

$Nu$  คือ ตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt number)

$D_h$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)

$k$  คือ ค่าสภาพการนำความร้อนกลาง (Thermal conductivity, W/m·K)

$Pr$  คือ ตัวเลขพรันด์เทิลนัมเบอร์ (Prandtl number)

$R_e$  คือ ตัวเลขเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds number)

$n$  คือ 0.3 สำหรับงานด้านเย็น และ 0.4 สำหรับงานด้านร้อน

โดยที่ ตัวเลขพรันด์เทิลนัมเบอร์ จากทฤษฎีพาหของบักกิงแฮมพิสูจน์ว่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติที่มีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน หาได้จาก[7]

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad 2.23$$

โดยที่

$\mu$  คือ ความหนืดของของไหล

$C_p$  คือ ความร้อนจำเพาะของของไหล

$k$  คือ ค่าการนำความร้อนของของไหล

สำหรับตัวเลขเรย์โนลด์ เป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลของของไหล

$R_e < 2300$  การไหลแบบราบเรียบ

$R_e \geq 2300$  การไหลแบบปั่นป่วน

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.28

$$R_e = \frac{\rho V D_e}{\mu} = \frac{V D_h}{\nu} \quad 2.24$$

โดยที่

$\nu$  คือ ความหนืดจลน์ของของไหล  $\left[ \frac{\mu}{\rho} \right], (m^2/s)$

$V$  คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

เมื่อความเร็วของของไหลพิจารณาจาก สมการ 2.29[5]

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho A_c} \quad 2.25$$

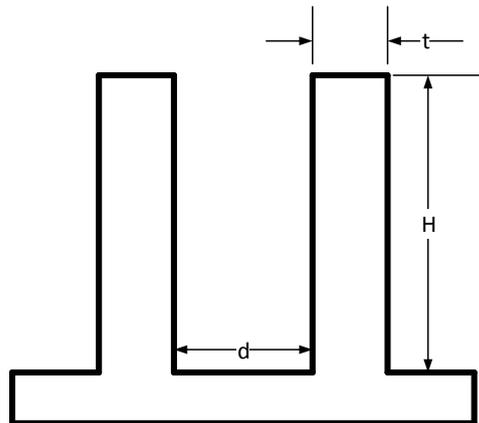
โดยที่

$\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m<sup>3</sup>)

$A_c$  คือ เป็นพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อสี่เหลี่ยม (m<sup>2</sup>)

สำหรับการหาค่า  $A$  คือ พื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของครีป Heat Sink (m<sup>2</sup>) สามารถพิจารณาหาได้ดังสมการและรูปที่ 2.30 ต่อไปนี้[3]



รูปที่ 2.10 แสดงครีปของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Sink)

พิจารณา พื้นที่ผิวของครีป ( $A_s$ ) หาได้ดังสมการ 2.26

$$A_s = A_{fin} + A_{unfin} \quad 2.26$$

พื้นที่ที่ติดครีประบายความร้อนหาได้จากสมการ 2.31

$$A_{fin} = n[(2LH) + (tL)] \quad 2.27$$

พื้นที่ที่ไม่ติดครีประบายความร้อน หาได้จากสมการ 2.32

$$A_{mfir} = (n-1) \times (dL) \quad 2.28$$

โดยที่

n คือ จำนวนครีป

H คือ ความสูงของครีป

L คือ ความยาวของครีป

t คือ ความหนาของครีป

d คือ ระยะห่างระหว่างครีป

## 2.2 ความร้อนสูญเสีย

ความร้อนสูญเสียคือพลังงานความร้อนที่ปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศหลังจากผ่านการใช้ประโยชน์แล้วซึ่งอาจอยู่ในรูป อากาศ หรือแก๊สอื่นๆ ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ [7] ในกระบวนการอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานความร้อน และจะมีพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งถูกทิ้งออกมาจากกระบวนการ หากมีการนำความร้อนส่วนนี้กลับมาใช้ประโยชน์ได้ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมาก โดยความร้อนที่ปล่อยทิ้งจากกระบวนการอุตสาหกรรมมีหลายรูปแบบ ในรูปแบบของอากาศหรือแก๊สดังนี้

- ก๊าซร้อน เช่น

- ก๊าซร้อนจากเตาเผาและเตาอบ
- อากาศร้อนจากกระบวนการระบายความร้อน
- ก๊าซร้อนจากแหล่งอื่น ๆ

- ระดับอุณหภูมิเป็นตัวบอกระยะและคุณภาพของความร้อนเหลือทิ้ง ซึ่งแบ่งออก 3 ระดับ ดังนี้

1. อุณหภูมิสูง หมายถึง อุณหภูมิ > 650°C
2. อุณหภูมิปานกลาง หมายถึง อุณหภูมิระหว่าง 230 – 650°C
3. อุณหภูมิต่ำ หมายถึง อุณหภูมิ < 230°C

1. **ความร้อนสูญเสียคุณภาพสูง** จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 600 ถึง 1,600 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปจะเป็นความร้อนทิ้งในรูปก๊าซไอเสียจากเตาเผา ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ระบบผลิตกำลัง (Power – generation) ระบบผลิตกำลังงานและความร้อนร่วม (Cogeneration) หรือนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

2. ความร้อนสูญเสียคุณภาพปานกลาง จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปจะเป็นความร้อนทิ้งในรูปก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ กังหันก๊าซ เครื่องยนต์ หรือเตาขึ้นรูปโลหะ ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำความดันปานกลางหรือนำไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

3. ความร้อนสูญเสียคุณภาพต่ำ จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35 ถึง 200 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปจะเป็นความร้อนทิ้งในรูปคอนเดนเสท น้ำ และของเหลวที่ใช้ระบายความร้อน และอากาศระบายความร้อน ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ในการให้ความร้อนขึ้นต้น เช่น อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ อุ่นของเหลว อุ่นอากาศ และทำน้ำร้อน หรือนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

### 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งจะอาศัยกระบวนการที่เรียกว่า โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตมาจากสารกึ่งตัวนำ และมีโครงสร้างโดยทั่วไปที่เหมือนกับไดโอดที่ประกอบด้วยรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำสองชนิดที่ต่างกัน ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิด N และสารกึ่งตัวนำชนิด P โดยที่หลักการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีขั้นตอนดังนี้ [10]

1. เมื่อแสงหรือโฟตอนเคลื่อนที่เข้ามาชนกับสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำจะได้รับพลังงานและดูดกลืนพลังงานเข้าไปจนหลุดออกจากอะตอมของสารกึ่งตัวนำสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ซึ่งหากพิจารณาที่ตัวของอิเล็กตรอนนั้นก็จะพบว่าเมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงาน อิเล็กตรอนก็จะยกระดับพลังงานของตนเองจากแถบเวเลนซ์ (Valence Band) ไปยังแถบการนำ (Conduction Band) แล้วเปลี่ยนตนเองเป็นพาหะในแถบแรก และจะทิ้งโฮลที่เป็นประจุบวกไว้ในแถบเวเลนซ์ โดยที่พลังงานของแสงหรือโฟตอนต้องมีพลังงานที่สูงกว่าระดับพลังงาน (Energy gap) ของสารกึ่งตัวนำนั้นด้วย ดังสมการ

$$E_g \leq hv \quad 2.29$$

โดยที่

- $E_g$  คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ
- $h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์ ( $6.626 \times 10^{-34}$  J.s)
- $v$  คือ ความถี่ของแสง

ซึ่งหากพิจารณาในเรื่องของความยาวคลื่นของโฟตอนที่เพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรหลุดออกมาจากสารกึ่งตัวนำได้นั้น ความยาวคลื่นของโฟตอนต้องมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นตัด (cut-off wavelength,  $\lambda_c$ ) ดังสมการ

$$\lambda_c \leq \frac{1.24}{E_g} \quad 2.30$$

2. พายุที่เกิดขึ้นคือ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบการนำและโฮลที่อยู่ในแถบเวเลนซ์จะถูกกวาดด้วยด้วยสนามไฟฟ้าที่อยู่ภายในเซลล์ให้เคลื่อนที่เข้าไปในเซลล์ จากนั้นอิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกกวาดไปจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์และกลายเป็นกระแสไฟฟ้าที่เราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปได้

### 2.3.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ มีราคาแพงและมีประสิทธิภาพที่ไม่สูงมากนัก นักวิทยาศาสตร์จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้นรวมทั้งลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย ดังนั้นจึงมีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งเป็นประเภทต่างๆ 3 แบบดังนี้ [10]

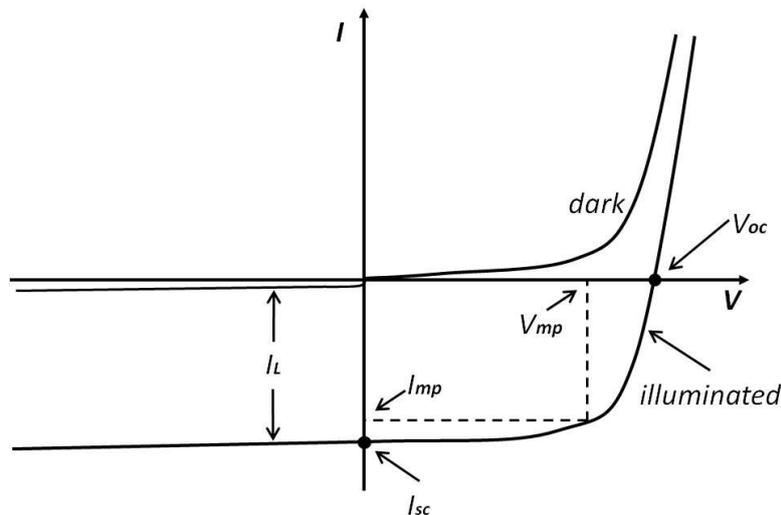
1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีทิศทางการเรียงตัวของโครงสร้างผลึกซิลิกอนทุกตำแหน่งของเนื้อสารในวัสดุเหมือนกัน มีประสิทธิภาพสูงประมาณ 15 % ข้อดีของเซลล์ชนิดนี้คือ สามารถตอบสนองแสงในช่วงความถี่กว้างและให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูง แต่มีข้อเสียคือ ราคาของเซลล์ค่อนข้างแพง

2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar cell) คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยผลึกซิลิกอนหลายๆ ผลึกแต่ละผลึกจะเรียกว่า เกรน (Grain) ซึ่งในเกรนนั้นจะมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างที่เหมือนกันแต่เกรนที่อยู่ข้างเคียงจะมีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกัน โดยจะมีแนวรอยต่อระหว่างเกรนเรียกว่า ขอบเกรน (Grain boundary) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิกอนแข็งและบางมาก มีประสิทธิภาพสูงประมาณ 12 % ข้อดีและข้อเสียจะเหมือนกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม

3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell) คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีทิศทางการเรียงตัวของโครงสร้างผลึกซิลิกอนไม่เป็นระเบียบ มีประสิทธิภาพประมาณ 5 % ข้อดี คือ สัดส่วนเอาท์พุททางไฟฟ้าต่ออินพุททางไฟฟ้าทางแสงมากกว่าทั้งสองแบบข้างต้นและปัจจุบันมีราคาถูก แต่ข้อเสียคือ ตอบสนองแสงในช่วงความถี่ที่แคบกว่าสองแบบข้างต้น

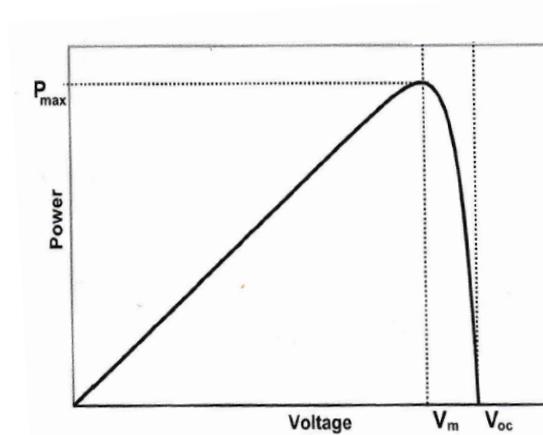
### 2.3.2 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ลักษณะ โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีรอยต่อของซิลิกอนชนิด P และซิลิกอนชนิด N อยู่ (P - N Junction) โดยที่เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์จะมีสมบัติเหมือนกับไดโอดทั่วๆ ไป [8],[10] ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.11 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบและเมื่อมีแสงตกกระทบ

เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นเซลล์ชนิด N เซลล์จะดูดกลืนพลังงานเข้าไปในเนื้อสาร แต่จะมีแสงส่วนใหญ่ที่ผ่านเข้าไปยังรอยต่อของซิลิกอนชนิดเอ็นและซิลิกอนชนิด P และส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ เมื่อต่อสายไฟฟ้าเข้ากับขั้วอิเล็กโทรดไปยังวงจรภายนอกจะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนผิวหน้าของเซลล์ ส่วนขนาดของแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์



**รูปที่ 2.12** ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์[10]  
จากรูปที่ 2.8 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ในรูปของสมบัติทาง  
กระแสไฟฟ้า แรงดัน โดยการกำหนดสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องกำหนดที่สภาวะ  
มาตรฐาน คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์  $1000 \text{ W/m}^2$  ค่ามวลอากาศ (air mass) เท่ากับ 1.5 และอุณหภูมิของ  
เซลล์เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ในการพิจารณาคุณลักษณะทางกระแสไฟฟ้า - แรงดันไฟฟ้าของเซลล์  
แสงอาทิตย์จะมีพารามิเตอร์สำคัญที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. **กระแสลัดวงจร ( $I_{sc}$ )** เป็นค่ากระแสที่วัดได้ ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกต่อแบบลัดวงจร  
และมีแรงดันตกคร่อมวงจรเป็นศูนย์ ซึ่งกระแสไฟฟ้ลัดวงจร คือ กระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุดที่เซลล์  
แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้
2. **แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ( $V_{oc}$ )** เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดขณะเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์  
หรือเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อภาระไฟฟ้ามีค่าสูงมาก
3. **กำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $P_m$ )** ค่าผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่าย  
โดยให้ค่าที่ผลคูณมีค่าสูงสุด สามารถวัดได้ขณะที่ต่อภาระทางไฟฟ้า โดยสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้า  
สูงสุดได้จากสมการ

$$P_{\max} = I_m \times V_m \quad 2.31$$

โดยที่

$V_m$  คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด, (V)

$I_m$  คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุด, (A)

#### 4. ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Electrical efficiency) เป็น

$$\eta_e = \frac{V_m I_m}{A_c G_T} \quad 2.32$$

โดยที่

$A_c$  คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์, ( $m^2$ )

$G_T$  คือ ปริมาณรังสีรวมที่ตกกระทบบนช่องรับรังสี, ( $W/m^2$ )

### 2.3.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์อาจจะมีประสิทธิภาพที่ลดลงเนื่องจากปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ฝุ่น การบังเงา ความเข้มรังสีอาทิตย์ หรืออุณหภูมิ เป็นต้น ดังนั้นในการวิเคราะห์สมบัติหรือประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์ดังนี้

1. ผลจากอุณหภูมิที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริงจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ด้วย ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของเซลล์สูงขึ้นจะทำให้สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์เปลี่ยนไป เมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่ากระแสลัดวงจรจะเพิ่มขึ้นด้วยแต่แรงดันไฟฟ้าลัดวงจรจะลดลง ซึ่งการลดลงของแรงดันไฟฟ้าลัดวงจรนี้จะลดลงกว่าการเพิ่มขึ้นของกระแสลัดวงจร ดังนั้นเมื่อการเพิ่มขึ้นของกระแสเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการลดลงของแรงดันไฟฟ้า จึงส่งผลให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง และยังส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงตามไปด้วย

2. ผลจากความเข้มรังสีอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีแสงมาตกกระทบที่ผิวหน้าของเซลล์ เพื่อให้อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำได้รับพลังงานมากพอจนกลายเป็นอิเล็กทรอนิกส์อิสระ ดังนั้นหากหากมีแสงที่มีความเข้มสูงมาตกกระทบผิวหน้าของเซลล์ก็จะทำให้สามารถผลิตอิเล็กทรอนิกส์อิสระได้มากและส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ได้มีค่าสูงตาม

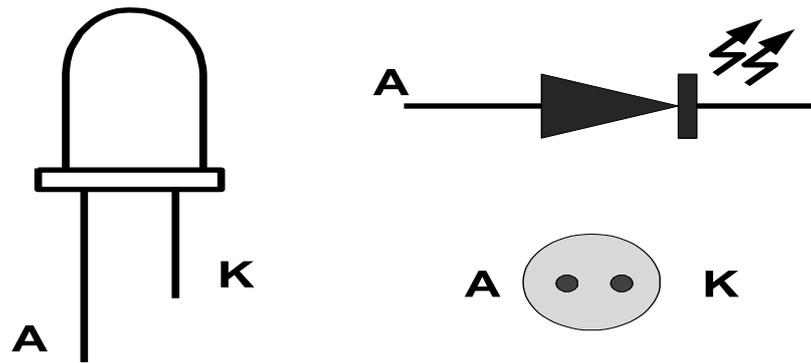
## 2.4 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode: LED)

LED เป็นไดโอดที่ใช้สารประเภทแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (Gallium Arsenide Phosphide ; GaAsP) หรือสารแกลเลียมฟอสไฟด์ (Gallium Phosphide ; GaP) มาทำเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n แทนสาร Si และ Ge สารเหล่านี้มีคุณลักษณะพิเศษ คือ สามารถเรืองแสงได้เมื่อได้รับไป้อตรง การเกิดแสงที่ตัว LED นี้เราเรียกว่า อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (Electroluminescence)[8]

ตารางที่ 2.1 สมบัติของหลอด LED โดยทั่วไป

Parameter	Type of LED			
	standard	standard	High efficiency	High intensity
Diameter (mm)	3	5	5	5
Max. forward current (mA)	40	30	30	30
Typical forward current (mA)	12	10	7	10
Typical forward Voltage (V)	2.1	2.0	1.8	2.2
Max. reverse Voltage (V)	5	3	5	5
Max. power dissipation (mW)	150	100	27	135
Peak wavelength (nm)	690	635	635	635

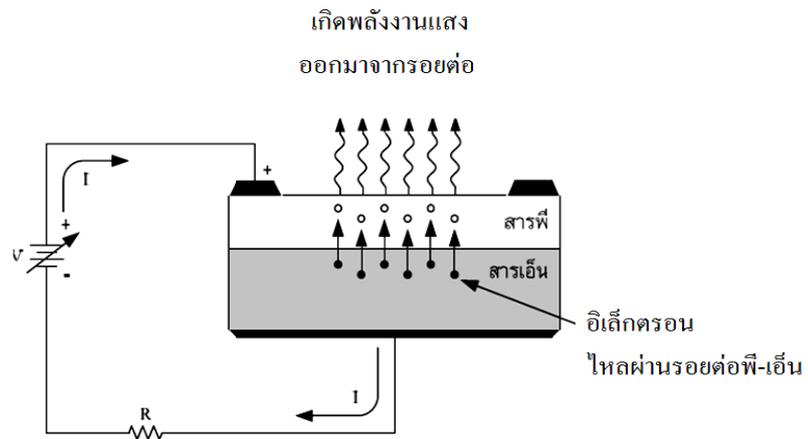
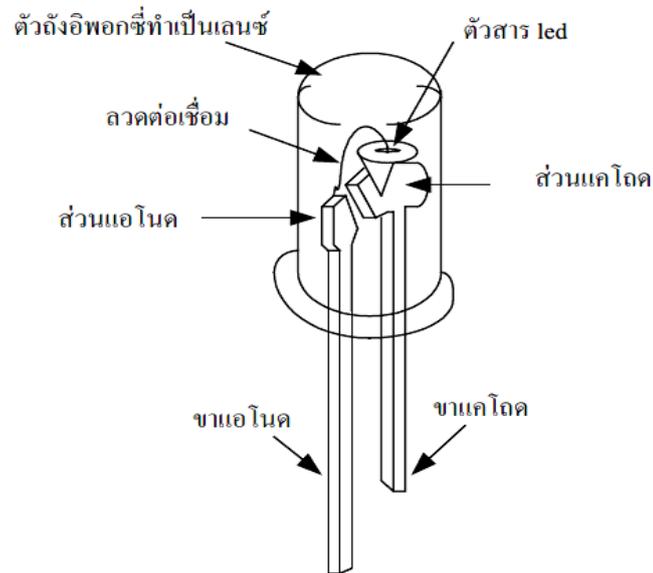
หลอด LED นี้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กันตามการใช้งานหลอด LED แบบห้วมน โดยปกติจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ซึ่งทำด้วยพลาสติก โปร่งแสง และถ้าเป็นแบบสี่เหลี่ยมจะมีขนาดเท่ากับ  $5 \times 2$  มิลลิเมตร มุมในการมองเห็นของหลอด LED แบบห้วมนนี้จะอยู่ในช่วง 20 – 40 องศา แต่ถ้าเป็นหลอด LED แบบสี่เหลี่ยมมุมในการมองเห็นจะเพิ่มขึ้นเป็นถึง 100 องศา คุณสมบัติของหลอด LED โดยทั่วไปแสดงไว้ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์และตัวถังของหลอด LED[9]

#### 2.4.1 โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง (LED)

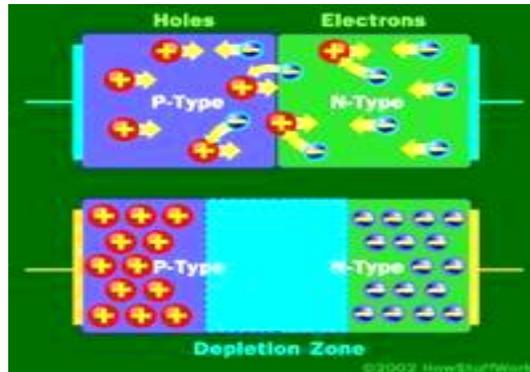
ภายในหลอด LED ประกอบด้วยแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีติดอยู่ในถ้วยสะท้อนแสงมีเส้นลวดทองคำขนาดเล็กมากเชื่อมระหว่างสารกึ่งตัวนำและขา LED ชิ้นส่วนทั้งหมดถูกบรรจุในพลาสติกใสทรงโดมซึ่งทำหน้าที่เป็นเลนส์รวมแสง โดยลักษณะลำแสงที่ออกจากหลอด LED ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่นรูปร่างของถ้วยสะท้อนแสงขนาดของชิปสารกึ่งตัวนำรูปร่างเลนส์ระยะห่างระหว่างตัวชิปกับผิวพลาสติกที่หุ้มอยู่ เป็นต้น



รูปที่ 2.14 การเกิดปรากฏการณ์อิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์[8]

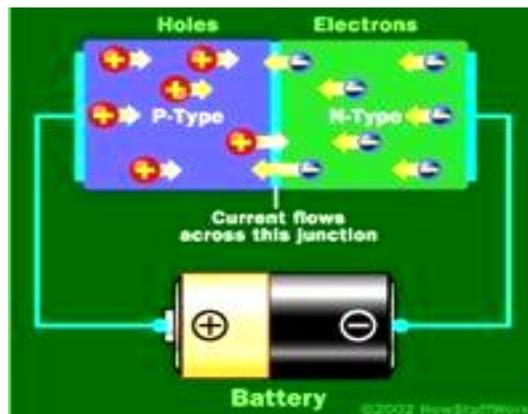
ไดโอดเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด N ติดเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P เชื่อมสายไฟเข้ากับขั้วไฟฟ้าทั้งสองเมื่อยังไม่มีกระแสไฟฟ้า อิเล็กตรอนอิสระจาก N จะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปที่ P เกิดโซนดีพลีชัน (depletion) ขึ้น โซนนี้เปรียบเทียบกับกำแพงป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนถ้าโซนนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระจะยากขึ้น และอาจทำให้อิเล็กตรอนหยุดการเคลื่อนที่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าควบคุมให้โซนนี้เล็กลง การเคลื่อนที่ก็จะง่ายขึ้น

### 2.4.2 การทำงานของสารกึ่งตัวนำ P-N



รูปที่ 2.15 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในขณะที่ไม่จ่ายกระแสไฟฟ้า[9]

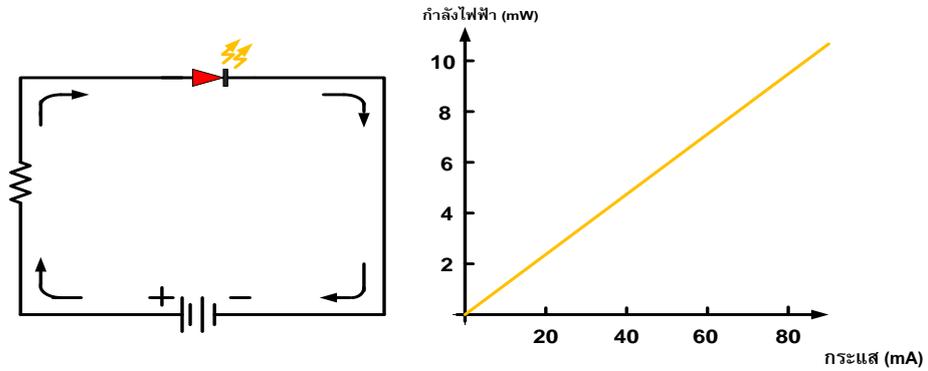
ไดโอดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิดได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type semiconductor) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่ถูกตัดแปลงให้มีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่าสารกึ่งตัวนำปกติกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type semiconductor) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำตัดแปลงให้มีโฮล (hole) ซึ่งมีสภาพเป็นประจุบวกเมื่อนำสารกึ่งตัวนำตัดแปลงทั้งสองชนิดมาประกบติดกันในสภาพที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าให้แก่สารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนส่วนหนึ่งของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและโฮลของสารกึ่งตัวนำชนิดพีที่รอยต่อของสารทั้งสองจะเคลื่อนที่เข้าหากันทำให้สารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดเกิดพื้นที่กลางที่ไม่มีประจุไฟฟ้าขึ้นโดยรอบบริเวณรอยต่อ



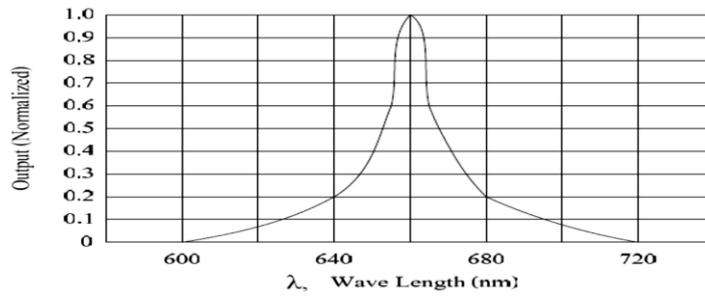
รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้า[9]

เมื่อต่อไฟฟ้ากระแสตรงเข้าที่ขาไดโอดโดยต่อขั้วลบกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และต่อขั้วบวกเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดพีอิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะถูกผลักให้เคลื่อนที่ออกจากขั้วลบไปในสารกึ่งตัวนำชนิดพีในทางตรงข้ามโฮลของสารกึ่งตัวนำชนิดพีก็จะถูกผลักให้ออกจากขั้วบวกไปใน

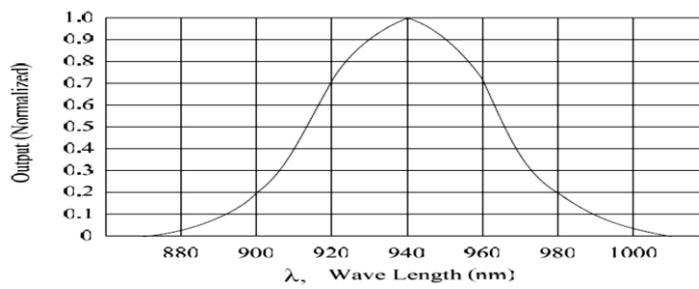
สารกึ่งตัวนำชนิดอื่นเช่นกันหากผ่านกระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงเพียงพอจะทำให้พื้นที่กลางบริเวณที่ไม่มีประจุไฟฟ้าสลายไปทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านไดโอดได้



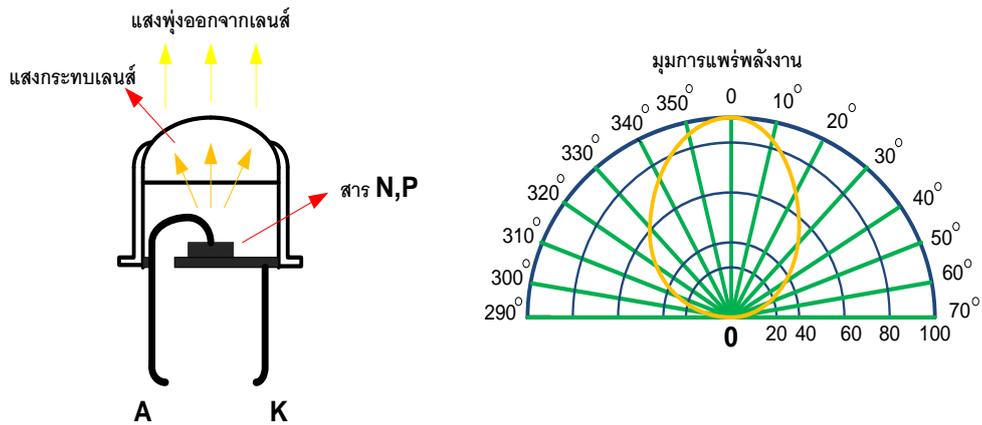
รูปที่ 2.17 การทำงานเมื่อไบแอสตรงและกราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับกระแส[9]



รูปที่ 2.18 พลังงานของแสงสีแดง



รูปที่ 2.19 พลังงานของแสงอินฟราเรด



รูปที่ 2.20 การแพร่พลังงานของ LED

## 2.5 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ คือ อุปกรณ์สะสมพลังงานไฟฟ้าในรูปของพลังงานเคมี เมื่อต่อสายเข้าที่ขั้วบวกและขั้วลบ พลังงานจะเปลี่ยนรูปจากพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองเป็นแบตเตอรี่ชนิดเปียกหรือชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid)

แบตเตอรี่โดยทั่วไปประกอบด้วย

1. กริด (Grid) ทำหน้าที่เป็น โครงสร้างแผ่นธาตุประกอบอยู่ในแบตเตอรี่ ที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยทั่วไปเป็น โลหะตะกั่ว ส่วนบนของแผ่นกริดมีส่วนที่เป็น โลหะยื่นออกมาทำหน้าที่เป็นสะพานไฟ ระหว่างที่แบตเตอรี่ได้รับการประจุหรือคายประจุ
2. แผ่นธาตุ (Plate) แผ่นธาตุของแบตเตอรี่ คือ แผ่นกริดที่มีวัสดุเคมีเคลือบอยู่ แบ่งออกเป็น แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ซึ่งวัสดุเคมีที่ฉาบไว้เมื่อแข็งตัวจะจับอยู่กับแผ่นธาตุส่วนผสมของวัสดุเคมีที่ฉาบไว้คือ แผ่นธาตุบวกจะเป็นสารละลายของตะกั่ว และกรดซัลฟิวริกอย่างเจือจาง และที่แผ่นธาตุลบเป็น สารประกอบของตะกั่วออกไซด์ และกรดซัลฟิวริก เมื่อแผ่นธาตุได้รับการฉาบวัสดุเคมีแล้วจะนำไปปรับสภาพทางไฟฟ้า โดยการนำแผ่นธาตุไปประจุด้วยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงตามชนิดของแผ่นธาตุ แล้วนำแผ่นธาตุทั้งสองไปแช่ในสารละลายกรดกำมะถันอย่างเจือจางวัสดุเคมีของแผ่นธาตุบวกจะเป็น สารประกอบของตะกั่วออกไซด์และตะกั่วซัลเฟต และแผ่นธาตุลบจะเปลี่ยนตะกั่วฟูลินีเทอและ ตะกั่วซัลเฟต เมื่อปรับสภาพทางไฟฟ้าแล้วนำมาทำให้แห้งจะได้แผ่นธาตุที่พร้อมจะนำไปประจุไฟใน แบตเตอรี่

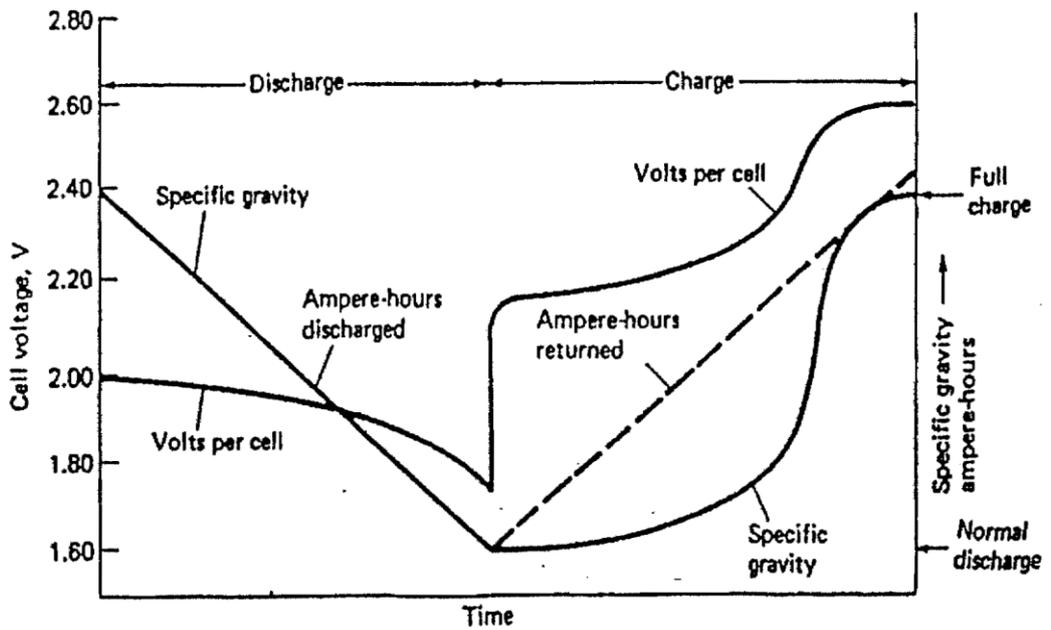
3. แผ่นกั้น (Battery Container) แผ่นกั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวกั้นไม่ให้แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบสัมผัสกันโดยตรง
4. กถ่องบรรจุ (Battery Container) ทำด้วยยางแข็งหรือพลาสติกใส เพื่อสามารถมองเห็นสารละลายภายในได้
5. สารละลาย (Electrolyte) ประกอบด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 31% โดยน้ำหนัก หรือ 21% โดยปริมาตรแบตเตอรี่ที่ใช้กับแผงโซลาร์เซลล์เป็นแบตเตอรี่ที่มีรูปแบบการทำงานที่เฉพาะตัว ซึ่งควรมีคุณสมบัติดังนี้
  1. มีการประจุไฟฟ้าและจ่ายไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าค่าต่ำ (ประมาณ 0.1 - 0.5 เท่าของ 10 Ah ของกระแสไฟฟ้าที่กำหนด)
  2. มีช่วงเวลาของการประจุไฟฟ้าและการจ่ายไฟฟ้าที่ยาวนาน (สามารถใช้งานได้นานกว่า 20 hr)
  3. สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ปริมาณมาก (มากกว่า 70% ของการจ่ายไฟฟ้าลึก)
  4. มีอายุการใช้งานนาน เนื่องจากจำนวนรอบของการใช้แบตเตอรี่ในระบบโซลาร์เซลล์ในสภาวะจริงจะมีค่ามากกว่า 700 รอบ (อายุการใช้งานประมาณ 5-6 ปี)

### 2.5.1 พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

พารามิเตอร์จะสามารถบอกถึงความสำคัญต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ถ้าการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์แบตเตอรี่ จะส่งผลให้สมรรถนะการทำงานของแบตเตอรี่แตกต่างกันไป โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวจะพิจารณาได้ดังนี้ คือ

1. ความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (Amp Hour Capacity, C) จะแสดงในเทอมของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) ค่าความจุที่ระบุไว้โดยทั่วไปจะเป็นค่าความจุที่อัตราการคายประจุและที่อุณหภูมิการทำงานเฉพาะค่าหนึ่ง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ความจุ 100 Ah. หมายถึงแบตเตอรี่ดังกล่าวสามารถคายประจุด้วยอัตรากระแส  $I_{20}$  หรือ 5 A ในเวลา 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 °C
2. อัตราการคายประจุ (Discharge Rate) อัตราการคายประจุจะระบุเป็นจำนวนเท่าของค่าความจรวมตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ที่มีความจุ 100 Ah คายประจุจนมีแรงดันต่ำสุดภายในเวลา 5 ชั่วโมง จะได้ว่าแบตเตอรี่คายประจุด้วยอัตรา C/5 หรือ 0.2 C เป็นต้น
3. สัดส่วนของการคายประจุ (Dept of Discharge, %DOD) คือ การดึงพลังงานออกจากแบตเตอรี่มาใช้งาน จะอ้างอิงในเทอมของสัดส่วนระหว่างความจุแอมแปร์-ชั่วโมง ที่แบตเตอรี่คายประจุเทียบกับความจุของแบตเตอรี่ที่มีอยู่ก่อนการคายประจุ ซึ่งมักจะอ้างอิงถึงความจรวมที่อ้างอิง

ของอัตราการคายประจุค่าหนึ่ง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ที่มีความจุ 100 Ah ที่อัตราการประจุ 20 ชั่วโมง ได้รับการประจุจนเต็ม ดังนั้นหากทำการคายประจุด้วยอัตรา  $I_{20}$  เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะได้ค่าความจุแอมแปร์-ชั่วโมงที่แบตเตอรี่คายประจุเท่ากับ  $(100 \times 5)/20 = 25$  Ah ดังนั้นสัดส่วนของการคายพลังงานเท่ากับ  $25/100 = 5\%$  หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ แบตเตอรี่ที่มีอัตราการคายประจุต่อวันสูง อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะสั้นลง ดังนั้นเราไม่ควรใช้งานแบตเตอรี่เกิน 25% ของความจุแบตเตอรี่



รูปที่ 2.21 ลักษณะแรงดันและค่าความถ่วงจำเพาะปกติของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่สภาวะการประจุและคายประจุคงที่

พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่มีความสัมพันธ์กับค่า DOD คือ (State of Charge, %SOC) ซึ่งนิยามจากสัดส่วนของประจุของแบตเตอรี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้กับความจุที่สภาวะสูงสุดของแบตเตอรี่ ใช้เป็นค่าอ้างอิงถึงระดับพลังงานที่สะสม และสามารถนำมาใช้เทียบทั้งหมดที่แบตเตอรี่ชนิดนั้นสามารถสะสมไว้ได้ ซึ่งลักษณะประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดระหว่างสภาวะประจุและคายประจุ แสดงดังรูปที่ 2.10

1. อุณหภูมิของสารละลาย (Electrolyte Solution Temperature) อุณหภูมิจะมีผลต่อการใช้งานของแบตเตอรี่และความจุของแบตเตอรี่ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความจุจะมีค่ามากขึ้นด้วยอายุการใช้งานจะมีแนวโน้มลดลง ลักษณะเดียวกันเมื่ออุณหภูมิต่ำ ความจุของแบตเตอรี่จะลดลงแต่อายุของการใช้งานจะมากขึ้น สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด อัตราการคายประจุที่แรงดันเปิดวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ

อุณหภูมิสูงขึ้นดังนั้นจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ไม่ควรใช้งานแบตเตอรี่ในช่วงอุณหภูมิสูง ในกรณีแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดแบบเติมน้ำกลั่นจะมีรูระบายแก๊สในขณะที่ประจุหรือคายประจุให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ส่วนหนึ่งถ่ายเทออกไปทำให้สามารถใช้งานได้ในอุณหภูมิสูงกว่าชนิดไม่เติมน้ำกลั่น

2. หน้าต่างแรงดัน (Voltage Window) หน้าต่างแรงดันของแบตเตอรี่ คือ แรงดันมากที่สุดและน้อยที่สุด ของแบตเตอรี่ภายหลังวัดได้จากการประจุ ในการประจุของแรงดันจะถูกกำหนดให้เพียงพอที่จะทำให้เกิดแก๊ซซึ่งเมื่อผสมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และยังลดการแบ่งชั้นของความเข้มข้นของสารละลาย หลังจากการคายประจุแรงดันจะถูกกำหนดให้เหลือความจุมากที่สุดโดยไม่มีผลเสียต่ออายุของแบตเตอรี่ ซึ่งหน้าต่างแรงดันนี้จะขึ้นกับอัตราการคายประจุของแบตเตอรี่และความจุแบตเตอรี่ด้วยผลต่างระหว่างแรงดันทั้งสองที่กล่าวมา จะเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่กำหนดสมรรถนะการทำงานของแบตเตอรี่ ทั้งนี้การกำหนดหน้าต่างแรงดันแบตเตอรี่จะส่งผลถึงค่า %DOD และความจุที่ใช้งานของแบตเตอรี่ด้วยดังแสดงดังตารางที่ 2.2

3. ความถ่วงจำเพาะของสารละลาย (Electrolyte Specific Gravity) ค่าความถ่วงจำเพาะหมายถึงน้ำหนักของกรดในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิสารละลาย ตัวอย่าง ในสภาวะการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว-กรด อุณหภูมิของแบตเตอรี่จะลดลงและสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีค่าความถ่วงจำเพาะลดลงด้วย โดยทั่วไปในการทำงานของแบตเตอรี่ ตามมาตรฐาน BS จะอ้างอิงที่อุณหภูมิ 25 °C การเลือกค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายจะขึ้นกับความต้องการการใช้งานซึ่งแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

State of chart	Specific gravity			
	A	B	C	D
100% (full charge)	1.330	1.280	1.265	1.225
75%	1.300	1.250	1.225	1.185
50%	1.270	1.220	1.190	1.150
25%	1.240	1.190	1.155	1.115
Discharged	1.210	1.160	1.120	1.080

โดยที่ A : electric-vehicle battery , B : traction battery , C : SLI battery  
D : Stationary battery

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M.Abdolzadeh และ M.Ameri [1] ได้ศึกษาวิจัยและทดลองเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยการพ่นน้ำลงบนผิวหน้าของเซลล์โฟโตโวลตาอิก โดยการทดลองได้ใช้เซลล์โฟโตโวลตาอิก ชนิดหลายผลึก (Polycrystalline) ทำการหันหน้าของแผงเซลล์โฟโตโวลตาอิก ไปทางด้านทิศใต้ทำมุม 10 องศา และทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างเซลล์ที่มีการพ่นน้ำลงบนผิวหน้าและเซลล์ที่ไม่ได้พ่นน้ำลงบนผิวหน้า โดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วยค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้รับ และประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิก ซึ่งจากการทดลองพบว่า การพ่นน้ำลงบนผิวหน้าของเซลล์จะช่วยลดอุณหภูมิที่เซลล์ได้สูงสุดถึง 23 องศาเซลเซียส โดยค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงโฟโตโวลตาอิกที่มีการพ่นน้ำและไม่ได้มีการพ่นน้ำลงบนผิวหน้าของแผงเป็น 6.52 และ 6.36 แอมแปร์ ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงที่มีการพ่นน้ำและไม่ได้พ่นน้ำเป็น 16.06 และ 14.37 โวลต์ และกำลังไฟฟ้าที่ได้รับของแผงที่มีการพ่นน้ำและไม่ได้พ่นน้ำเป็น 66.9 และ 55.4 วัตต์ ตามลำดับ อีกทั้งประสิทธิภาพของเซลล์โฟโตโวลตาอิกที่มีการพ่นน้ำลงบนผิวหน้าของแผงยังมีค่าสูงกว่าแผงที่ไม่ได้มีการพ่นน้ำลงบนผิวหน้า โดยค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงที่มีการพ่นน้ำและไม่ได้มีการพ่นน้ำเป็น 12.35% และ 9.26% ตามลำดับ

นิคม ผึ้งคำ และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์โฟโตโวลตาอิก ด้วยระบบหล่อเย็น โดยทำการทดลองลดอุณหภูมิที่ผิวหน้าของเซลล์โฟโตโวลตาอิก เปรียบเทียบระหว่างเซลล์โฟโตโวลตาอิก ชนิดผลึกเดี่ยวที่มีระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ (Photovoltaic/thermal-water หรือ PV/TW) และเซลล์ที่มีระบบหล่อเย็นด้วยแผ่นครีบริบที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียม (Photovoltaic/thermal-fin หรือ PV/TF) จากการทดลองพบว่าเมื่อเขาให้อัตราการไหลของน้ำเป็น  $4.24 \times 10^{-6}$  ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จะสามารถลดอุณหภูมิที่ผิวหน้าของเซลล์โฟโตโวลตาอิก ได้ดีที่สุดและดีกว่าระบบหล่อเย็นด้วยครีบริบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของ PV/TW กับเซลล์โฟโตโวลตาอิกที่ไม่ได้ทำการหล่อเย็นพบว่า PV/TW มีอุณหภูมิลดลง 23.15 องศาเซลเซียส ส่วน PV/TF เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ที่ไม่ได้ทำการหล่อเย็นพบว่ามีอุณหภูมิลดลง 10.70 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบถึงกำลังไฟฟ้าที่ได้รับและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์โฟโตโวลตาอิกที่มีระบบหล่อเย็นด้วยน้ำและระบบหล่อเย็นด้วยครีบริบ กับเซลล์โฟโตโวลตาอิกที่ไม่มีระบบหล่อเย็นพบว่า เซลล์ที่มีระบบหล่อเย็นด้วยน้ำและครีบริบจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าโดย PV/TW สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 7.26% ในขณะที่ PV/TF สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 5.39% ตามลำดับ

ประภาทิพย์ บุญหล้า และคณะ[3] ได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์โฟโตโวลตาอิก โดยใช้เทคนิคการลดอุณหภูมิ ซึ่งเขาได้ทำการออกแบบการทดลองลดอุณหภูมิด้วยการพ่นน้ำลงบน ผิวหน้าและหยดน้ำลงบนผิวหน้าของแผงโฟโตโวลตาอิก แล้วทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวหน้า ของแผงโฟโตโวลตาอิก กำลังไฟฟ้าที่ได้รับ และประสิทธิภาพของเซลล์เซลล์โฟโตโวลตาอิก ซึ่งจาก ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของแผงที่มีการพ่นน้ำลงบนผิวหน้ามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของเซลล์ควบคุม โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองของเซลล์ที่มีการระบายความร้อนเท่ากับ 30.1 องศาเซลเซียส และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองเท่ากับ 18.6 องศาเซลเซียส อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงกำลังไฟฟ้า เฉลี่ยและประสิทธิภาพเฉลี่ยก็ยังพบว่าเซลล์ที่มีการพ่นน้ำลงบนผิวหน้าก็มีค่าสูงกว่าเซลล์ควบคุมโดยมีค่า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 33.2 วัตต์ และ 17.2% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงแผงที่มีการ ระบายความร้อน โดยการหยดน้ำลงบนผิวหน้าพบว่า แผงที่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิที่ ผิวหน้าที่ต่ำกว่าแผงควบคุม โดยมีอุณหภูมิที่ผิวหน้าและ ความแตกต่างอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 30.5 และ 24.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพก็พบว่าแผงที่มีการ ระบายความร้อนจะมีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 37.4 วัตต์ และประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 17.3 %

K.A. Moharram และคณะ [4] ได้ศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์โฟโตโวลตาอิก ด้วยการระบาย ความร้อนของเซลล์โฟโตโวลตาอิกด้วยน้ำ โดยใช้ปริมาณของน้ำให้น้อยที่สุดในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง และมีฝุ่นมากของประเทศอียิปต์ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ ติดตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยเยอรมณี ในประเทศอียิปต์ เซลล์โฟโตโวลตาอิก ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็น เซลล์ชนิดหลายผลึก (Poly-crystalline) 185 วัตต์ จำนวน 6 แผงและใช้หัวพ่นน้ำจำนวน 120 หัว อัตรา การไหลของน้ำ 29 ลิตรต่อนาที ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน 1 วัน และเดือนกรกฎาคม 1 วัน การ ทดลองจะพ่นน้ำผ่านเซลล์โฟโตโวลตาอิก เป็นเวลา 5 นาทีและหยุด 15 นาที ตั้งแต่ 11.00 น. - 14.00 น. จากการทดลองพบว่า การพ่นน้ำผ่านเซลล์โฟโตโวลตาอิก สามารถลดอุณหภูมิของเซลล์ได้ โดยใน เดือนมิถุนายนสามารถลดอุณหภูมิได้เฉลี่ย 1.9 องศาเซลเซียสต่อนาที และเดือนกรกฎาคมสามารถลด อุณหภูมิเฉลี่ยได้ 2.1 องศาเซลเซียสต่อนาที การทดลองทั้งสองวันเมื่อทำการพ่นน้ำลงบนผิวหน้าของ เซลล์โฟโตโวลตาอิก เป็นเวลา 5 นาที สามารถลดอุณหภูมิได้ 10 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพระหว่างเซลล์โฟโตโวลตาอิก ที่มีการพ่นน้ำลงบนผิวหน้าพบว่า มีค่าเท่ากับ 12% และ เซลล์โฟโตโวลตาอิก ที่ไม่มีการพ่นน้ำลงบนผิวหน้ามีค่า 10.5%

H.Bahaidarah และคณะ[5] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์โฟโตโวลตาอิก โดยใช้เทคนิคการ ลดอุณหภูมิด้วยน้ำ โดยให้น้ำที่มีอัตราการไหล 3.6 ลิตรต่อนาที ไหลผ่านใต้แผงของเซลล์โฟโตโวลตา อิก ชนิดผลึกเดี่ยว (mono crystalline) ขนาด 230 วัตต์ ซึ่งจากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ย ของเซลล์โฟโตโวลตาอิก ที่ไม่ได้มีการลดอุณหภูมิมิมีค่าเท่ากับ 37.8 องศาเซลเซียส และเซลล์โฟโต

โวลตาอิก ที่มีการลดอุณหภูมิมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพสูงสุดของเซลล์โฟโตโวลตาอิก ที่ลดอุณหภูมิด้วยน้ำกับเซลล์ที่ไม่ได้ลดอุณหภูมิก็คพบว่าเซลล์ที่ทำการลดอุณหภูมิด้วยน้ำมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 18% และเซลล์ที่ไม่ได้ทำการลดอุณหภูมิจึงมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 15.8%

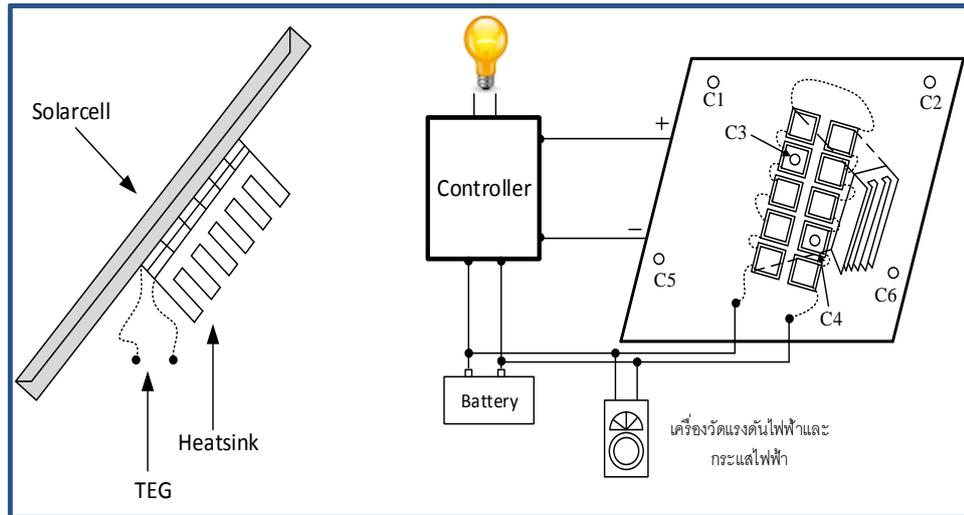
Lj.T.Kostic และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของเซลล์โฟโตโวลตาอิก ที่ติดตั้งสะท้อนรังสีอาทิตย์และไม่ได้ติดตั้งสะท้อนรังสีอาทิตย์โดยออกแบบมุมที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์บนแผงเซลล์โฟโตโวลตาอิก และตัวเก็บความร้อน (Photovoltaic/Thermal collector หรือ PV/T) เซลล์โฟโตโวลตาอิก ที่ใช้เป็นเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยว (single-crystalline) หันหน้าไปทางทิศใต้ทำมุมเอียง 45 องศา กับแนวราบ โดยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณหามุมที่เหมาะสมของตัวสะท้อนจากสมการทางคณิตศาสตร์และการหามุมที่เหมาะสมจากการทดลองจริง จากผลการทดลองพบว่ามุมที่เหมาะสมของตัวสะท้อนในการคำนวณและการทดลองจริงมีค่าที่สอดคล้องกัน พบว่ามุมที่เหมาะสมสำหรับตัวสะท้อนที่ติดตั้งด้านบนของ PV/T คือ 36.3 และ 4.1 องศาและมุมที่เหมาะสมสำหรับตัวสะท้อนที่ติดตั้งด้านล่างของ PV/T คือ 37.87 และ 5.12 องศา อีกทั้งยังพบว่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของ PV/T ที่ไม่ติดตั้งตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์มีค่าสูงกว่า PV/T ที่ติดตั้งตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์ โดยที่ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของ PV/T ที่ไม่ติดตั้งตัวสะท้อนมีค่าเท่ากับ 5.08% และ PV/T ที่ติดตั้งตัวสะท้อนมีค่าเท่ากับ 3.69% ตามลำดับ แต่หากพิจารณาถึงการผลิตพลังงานไฟฟ้าใน 1 วัน พบว่าเซลล์โฟโตโวลตาอิก ที่ติดตั้งตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์จะมีค่าสูงกว่าเซลล์ที่ไม่ได้ติดตั้งตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์

C.Lertsatitthanakorn และคณะ [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้แสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนประกอบกับมีตัวสะท้อนช่วยสะท้อนให้รังสีอาทิตย์ตกลงบนเทอร์โมอิเล็กทริกมากขึ้น (Thermoelectric solar collector heat pump หรือ TESC-HP) โดยออกแบบการทดลองโดยติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกไว้ใต้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และติดตั้งตัวสะท้อนที่ทำจากอะลูมิเนียมไว้ที่ด้านบนและล่างของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยมุมที่เหมาะสมของตัวสะท้อนรังสีอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์จะเป็นสมการเดียวกับงานของ Lj.T.Kostic และคณะ [14] จากผลการทดลองพบว่าเมื่อมุมเดคลิเนชันมีค่าสูงสุดที่ 23.45 องศา มุมที่เหมาะสมที่สุดและมากที่สุดของตัวสะท้อนที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างคือ 65.72 องศา สามารถวัดได้ในวันที่ 21 มิถุนายน และเมื่อมุม declination มีค่าต่ำสุด -23.45 องศา มุมที่เหมาะสมที่สุดและต่ำสุดของตัวสะท้อนที่ติดตั้งด้านล่างคือ 33.32 องศา สามารถวัดได้ในวันที่ 22 ธันวาคม มุมที่เหมาะสมที่สุดและมากที่สุดของตัวสะท้อนที่อยู่ด้านบนคือ 7.98 องศา และมุมที่เหมาะสมที่สุดและน้อยที่สุดของตัวสะท้อนที่อยู่ด้านบนคือ -24.41 องศา และเมื่อพิจารณาถึงค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ ยังพบอีกว่า TESC-HP ที่ติดตั้งตัวสะท้อนรังสี

อาทิตย์ จะมีปริมาณรังสีอาทิตย์ตกลงบนผิวน้ำของเทอร์โมอิเล็กทริกที่สูงกว่าตัวที่ไม่ได้ติดตั้ง  
สะท้อนรังสีอาทิตย์ อีกทั้งกำลังไฟฟ้าที่ได้รับและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของ TESC-HP ที่ติดตั้ง  
สะท้อนมีค่าเท่ากับ 10.09 วัตต์ และ 2.4% ตามลำดับ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด  
ของ TESC-HP ที่ไม่ได้ติดตั้งสะท้อนรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 0.95 แอมแปร์ และ 7.90 โวลต์ ส่วน  
กระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของ TESC-HP ที่ติดตั้งสะท้อนรังสีอาทิตย์มีค่า  
เท่ากับ 1.09 แอมแปร์ และ 9.9 โวลต์

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการการออกแบบรวมไปถึงการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการสร้างโมเดลสำหรับการทดลองเพื่อควบคุมผลต่างของอุณหภูมิภายใต้แผงโซลาร์เซลล์ รวมทั้งทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของระบบจากการศึกษาความสัมพันธ์ของผลต่างอุณหภูมิกับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 10 โมดูล โดยมีโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงาน



รูปที่ 3.2 การจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์ในการทดสอบ

การทดลองจะกำหนดให้ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 60W จำนวน 2 แผงคือแผงควบคุมจะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60W และแผงทดสอบจะติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 10 โมดูลไว้ที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับความร้อนจากภายนอกบนผิวสัมผัสด้านใดด้านหนึ่ง จะทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิบนผิวสัมผัสทั้ง 2 ด้าน ซึ่งจะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าตามปรากฏการณ์ของซีแบค พลังงานไฟฟ้านี้จะถูกส่งต่อไปยังส่วนควบคุมซึ่งประกอบไปด้วยวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งจะทำการปรับและควบคุมแรงดันให้เหมาะสมต่อการชาร์จแบตเตอรี่และหลังจากที่ได้กำลังไฟฟ้าแล้วจะนำไปใช้กับโคมไฟส่องถนนชนิดไดโอดเปล่งแสง

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEG1-12610-4.3 ที่ใช้ศึกษาในงานนี้มีคุณสมบัติดังแสดงตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 Properties of Thermoelectric Module

Property	TEG1-12610-4.3	Unit
Hot Side Temperature	300	°C
Cold Side Temperature	30	°C
Open Circuit Voltage	10.7	V
Matched Load Resistance	5.4	Ohm
Matched Load Output Voltage	5.3	V
Matched Load Output Current	1.0	A
Matched Load Output Power	5.2	W
Heat Flow Across the Module	115	W
Heat Flow Density	7.5	Wcm <sup>-2</sup>

จากข้อมูลคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEG1-12610-4.3 ตามภาคผนวก...ที่ผลต่างอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส สามารถผลิตไฟฟ้ากระแสตรงได้ประมาณ 1 โวลต์ ดังนั้นในการชาร์จเก็บประจุของแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำเป็นต้องใช้เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEG1-12610-4.3 จำนวน 12 ตัวเป็นอย่างน้อยและเพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกลงจึงได้นำวงจรปรับแรงดันไฟกระแสตรงมาใช้ร่วมกับระบบ

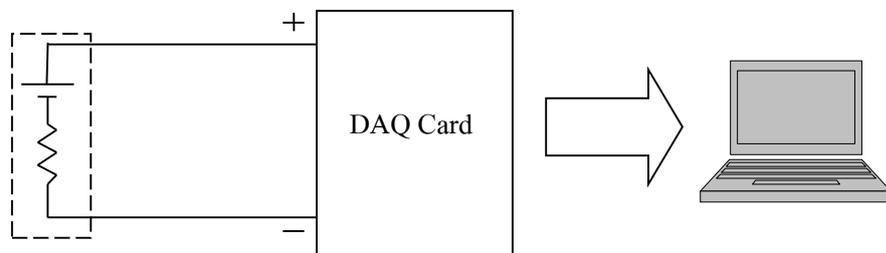
### 3.1 การออกแบบชิ้นส่วนและองค์ประกอบต่างๆ

สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนและองค์ประกอบต่างๆได้แบ่งออกเป็นดังนี้

- เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์รุ่น TEG1-12610-4.3
- แผงโซลาร์เซลล์ขนาด60วัตต์
- คีร์บรรยายความร้อน
- แบตเตอรี่

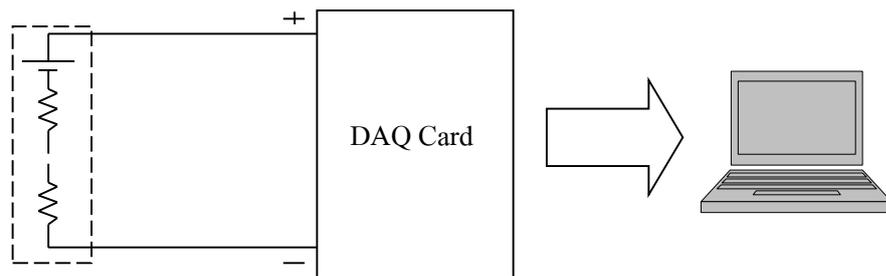
ในการทดลองวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ออกแบบชุดการทดลองสำหรับรับค่าผลต่างอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสทั้งสองด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEG1-12610-4.3 จำนวน 10 โมดูลทำการต่อแบบเดี่ยว แบบอนุกรมและแบบขนานโดยทำการประกอบติดกับแผ่นทองแดงจำนวน 2 แผ่นโดยให้ความร้อนแก่แผ่นทองแดงด้านหนึ่งด้วยความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริกส่วนแผ่นทองแดงอีกด้านหนึ่งที่ติดกับแผ่นฮีทซิงค์จะใช้ในการระบายความร้อนที่ส่งผ่านมายังเทอร์โมอิเล็กทริก

การทดลองย่อยประกอบด้วยการหาแรงดันวงจรเปิดของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล โดยวัดกระแส วัดแรงดันคร่อมความต้านทาน 0.1 โอห์มและคำนวณออกมาเป็นค่ากระแส ดังรูปที่ 3.2-3.4

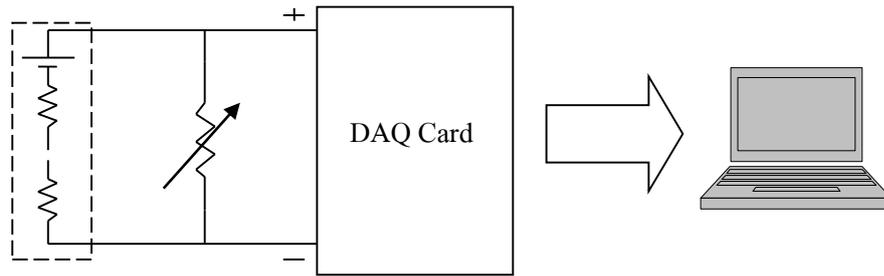


รูปที่ 3.2 การวัดวงจรเปิดของเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 1 โมดูล

การทดลองต่ออนุกรมโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกทั้งมีโพลและไม่มีโพล ดังรูปที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6

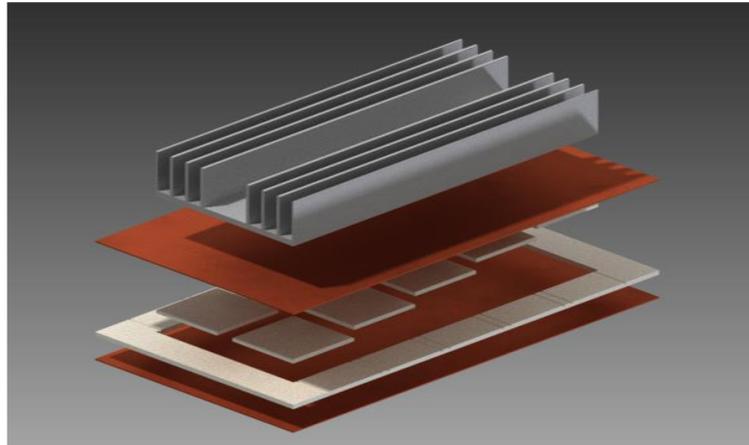


รูปที่ 3.3 การวัดแรงดันวงจรเปิดของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบต่ออนุกรม



รูปที่ 3.4 การวัดกำลังของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบต่ออนุกรม

การออกแบบชุดทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากผลต่างอุณหภูมิโดยการต่อเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 10 โมดูลแบบอนุกรมการประกอบด้วยแผงเทอร์โมอิเล็กทริกที่ออกแบบมาเพื่อรับค่าผลต่างอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนผิวทั้งสองด้าน โดยเลือกใช้วัสดุส่งผ่านความร้อนเป็นแผ่นทองแดงขนาดกว้าง 130 มิลลิเมตร ยาว 240 มิลลิเมตรหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่นซึ่งมีคุณสมบัติในการนำความร้อนและใช้แผ่นเทฟลอนหนา 4 มิลลิเมตร เป็นฉนวนอีกชั้นหนึ่งเพื่อการถ่ายเทความร้อนบริเวณช่องว่างภายในดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชุดทดลองวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้า

### 3.2 วิธีการทดสอบ

แนวคิดในการออกแบบเริ่มมาจากการนำความร้อนเหลือทิ้งจากใต้เซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ในเทอร์โมอิเล็กทริก โดยการออกแบบให้เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพียงพอต่อการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ และมีวงจรมอเตอร์เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่เพื่อการ

ประจุแบตเตอรี่อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทอร์โมอิเล็กทริกทำตัวเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า นั่นคือเมื่อมีผลต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นทั้ง 2 ด้านของเทอร์โมอิเล็กทริกจนเกิดแรงดันไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 13.6 โวลต์ และแรงดันของแบตเตอรี่น้อยกว่า 12.3 โวลต์ และกระแสที่ชาร์จต้องน้อยกว่า 1.08 แอมแปร์ (ข้อมูลแบตเตอรี่ดังแสดงตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติแบตเตอรี่

### Characteristics

Capacity (note) 77°F (25°C)		20 hour rate (360mA)	7.2Ah
		10 hour rate (680mA)	6.8Ah
		5 hour rate (1260mA)	6.3Ah
		1 hour rate (4900mA)	4.9Ah
		1.5 hour rate discharge Cut-off voltage 10.5 V	3.5A
Internal Resistance		Fully charged battery 77°F (25°C)	Approx. 40mΩ
Temperature dependency of capacity (20 hour rate)		104°F (40°C)	102%
		77°F (25°C)	100%
		32°F (0°C)	85%
		5°F (-15°C)	65%
Self discharge 77°F (25°C)		Residual capacity after standing 3 months	91%
		Residual capacity after standing 6 months	82%
		Residual capacity after standing 12 months	64%
Charge Method (Constant Voltage)	Cycle use (Repeating use)	Initial current	2.88 A or smaller
		Control voltage	14.5V to 14.9V (per 12V cell 25°C)
	Trickle use	Initial current	1.08 A or smaller
		Control voltage	13.6V to 13.8V (per 12V cell 25°C)

(Note) The above characteristics data are average values obtained within three charge/discharge. Cycles not the minimum values.

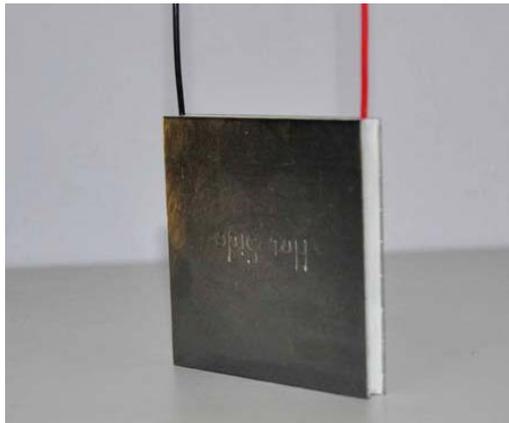
จากการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะทำการทดลองดังนี้ คือ ชุดทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากผลต่างอุณหภูมิโดยการต่อเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 10 โมดูล แบบอนุกรม ในการทดลองวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกจะใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 10 โมดูลเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่นำมาทดลองประกอบด้วยแผ่นทองแดงชนิดบาง 2 แผ่น โดยให้ด้านร้อนรับความร้อนจากการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้านเย็นติดฮีทซิงค์เพื่อระบายความร้อน ผลต่างอุณหภูมิทั้งสองด้านไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลง ซึ่งเครื่องมือวัดที่ใช้คือ เทอร์โมคัปเปิลชนิด K โดยวัดอุณหภูมิผิวทองแดงด้านที่สัมผัสกับเทอร์โมอิเล็กทริกทั้งด้าน

ร้อนและด้านเย็น โดยเครื่องมือวัดค่าทางไฟฟ้าที่ใช้คือ DAQ Card (Data Acquisition Card) ซึ่งทำการเก็บข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์พกพาเพื่อสร้างวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ทางไฟฟ้า และหลังจากได้กำลังไฟฟ้าที่ซาร์ตลงแบตเตอรี่จนเต็มแล้ว จะนำกำลังไฟฟ้าที่ได้ไปใช้กับโคมไฟส่องถนนชนิดไดโอดเปล่งแสงต่อไป

### 3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งในระบบ

#### - เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric module)

ในการทดลองนี้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEG1-12610-4.3 ที่ผลิตจากวัสดุกึ่งตัวนำ Bismuth telluride จำนวน 126 คู่ต่อโมดูล ขนาด 3.5 cm×3.5 cm×0.3 cm (กว้าง×ยาว×สูง) จำนวน 10 โมดูล โดยเชื่อมต่อแบบอนุกรมทางด้านไฟฟ้า



รูปที่ 3.6 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

### - เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

ในการทดลองนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Mono crystalline) 60 W ขนาด 63 cm x 66cm x 3.5cm (กว้าง x ยาว x สูง)



รูปที่ 3.7 แผงโซลาร์เซลล์แบบผลึกเดี่ยว (Mono crystalline)

### - อุปกรณ์ชาร์ตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เก็บลงแบตเตอรี่ (Solar Charge Controller)

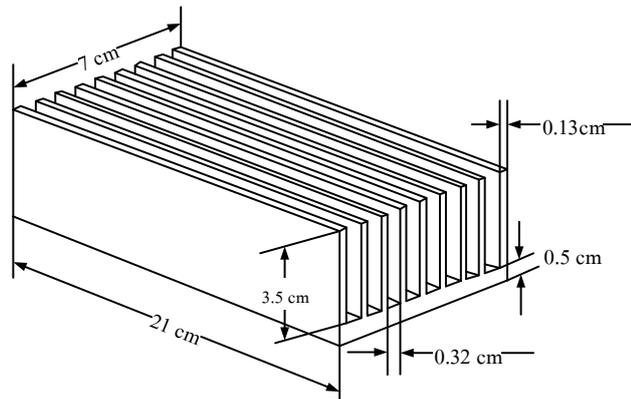
ในการทดลองนี้ได้มีการเก็บค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ชาร์ตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เก็บลงแบตเตอรี่ (Solar Charge Controller)

### - เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบบระบายความร้อน (Heat Sink)

ในการทดลองนี้ใช้ครีบบระบายความร้อนแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสทำจากอะลูมิเนียม ขนาด 17 cm×21×4 cm (กว้าง×ยาว × สูง) โดยครีบบระบายความร้อนมีความหนา 0.13 cm ระยะห่างระหว่างครีบบระบายความร้อน 0.32 cm มีจำนวน 15 ครีบบ ทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น



รูปที่ 3.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบบระบายความร้อน

### - แบตเตอรี่ (Battery)

ในการทดลองนี้ใช้แบตเตอรี่ ยี่ห้อ SBC Battery SL 6 – 5 (DC – 6V) เป็นแหล่งเก็บไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตของเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 3.10 แบตเตอรี่แห้ง

### - ซิลิโคนนำความร้อน (Silicone)

เนื่องจากการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเลือกใช้ซิลิโคนนำความร้อนเพื่อลดความต้านทานความร้อนที่ผิวสัมผัสระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกกับได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็น ซึ่งซิลิโคนที่นำมาใช้ ยี่ห้อ Unick Silicone Heat Transfer Compound ขนาด 150 g ซึ่งมีค่าการนำความร้อน  $0.0015 \text{ Wm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$



รูปที่ 3.11 ซิลิโคนนำความร้อน

## 3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

### - เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า ยี่ห้อ Multifunction Data Acquisition DAQ Card (Data Acquisition Card) รุ่น NI USB – 6218 (16-Bit, 250 kS/s Isolated M Series MIO DAQ, Bus-Powered) จำนวน 1 เครื่อง ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด  $\pm$  ไม่เกิน 0.5 องศา เพื่อใช้สำหรับบันทึกอุณหภูมิ ณ เวลาใดๆ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.12 เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า

### - เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล

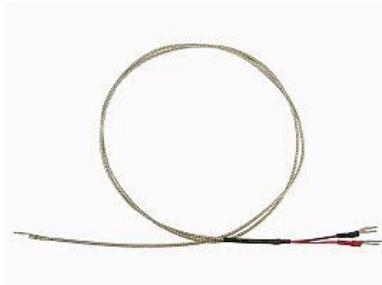
ในการทดลองนี้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ TESTO 435, TESTO 922 ตามลำดับ มีช่วงวัดอุณหภูมิ - 200 ถึง 1100 °C ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด  $\pm$  ไม่เกิน 0.3 องศา



รูปที่ 3.13 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล

### - เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

ในการทดลองนี้ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ช่วงวัดอุณหภูมิ -100 ถึง 500 °C โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm$  (0.05% +0.3°C)



รูปที่ 3.14 สายเทอร์โมคัปเปิล

### - ตัวต้านทานปรับค่าได้

ในการศึกษาต่อตัวต้านทานเข้าในระบบผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ได้เลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบ TRIMMER 3296® ELECTRON ซึ่งสามารถปรับค่าความต้านทานได้ตั้งแต่ 0 – 2 M $\Omega$  โดยทำการเลือกค่าความต้านทานจากการหมุนเกลียวด้านบนของตัวต้านทาน



รูปที่ 3.15 ตัวต้านทานปรับค่าได้

### - เครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบคล้องสาย (Clamp on power meter)

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบคล้องสาย ยี่ห้อ BK PRECISION ความคลาดเคลื่อน  $\pm 10\%$  ซึ่งในการทดลองเพื่อสำหรับวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า



รูปที่ 3.16 เครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบคล้องสาย

### - เครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบดิจิทัล (Digital multimeter)

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบดิจิทัล ยี่ห้อ BK PRECISION : AC (5) 100 $\mu$ V to 700V (rms), DC (5) 100 $\mu$ V to 1000V ความคลาดเคลื่อน  $\pm 3\%$  ซึ่งในการทดลองเพื่อสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า



รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบดิจิทัล

### - พาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply)

ในการทดลองเพื่อดูค่าความส่องสว่างของหลอดไฟแบบไดโอดเปล่งแสงจึงจำเป็นต้องใช้ไฟ DC เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าและปรับแรงดันให้กับหลอดไฟแบบไดโอดเปล่งแสง ดังนั้นจึงเลือกใช้พาวเวอร์ซัพพลาย DC ขนาด 30V , 3A ยี่ห้อ BK PRECISION โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 0.2V$ ,  $\pm 0.05A$



รูปที่ 3.18 พาวเวอร์ซัพพลาย DC

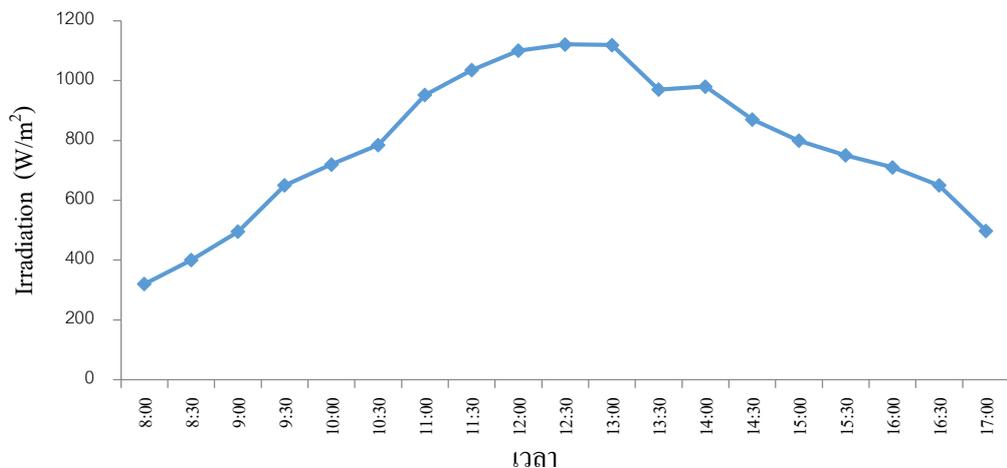
## บทที่ 4 ผลการทดลอง

ในบทนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนที่เกิดขึ้นภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการทดลอง 2 แผง แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้แบบผลึกเดี่ยว ขนาด 60W โดยแผงทดสอบจะติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกเข้าไปที่ใต้แผงพร้อมกับเพิ่มเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบเข้าไป ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่จะเป็นแผงควบคุม ซึ่งจะเป็นการเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาทดสอบคู่กัน ส่วนเทอร์โมอิเล็กทริกจะใช้เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEG1-12610-4.3 ที่ด้านร้อนมีการให้ความร้อนด้วยความร้อนสูญเสียใต้เซลล์แสงอาทิตย์ และใช้ครีบระบายความร้อนที่ด้านเย็น ส่วนกำลังไฟฟ้าที่ได้จะนำไปใช้กับ โคมไฟส่องถนนชนิดไดโอดเปล่งแสง โดยในบทนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและผลต่างของอุณหภูมิ
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง
3. การประยุกต์ใช้กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริก ไปใช้กับอุปกรณ์อื่นๆ

#### 4.1 การศึกษาค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

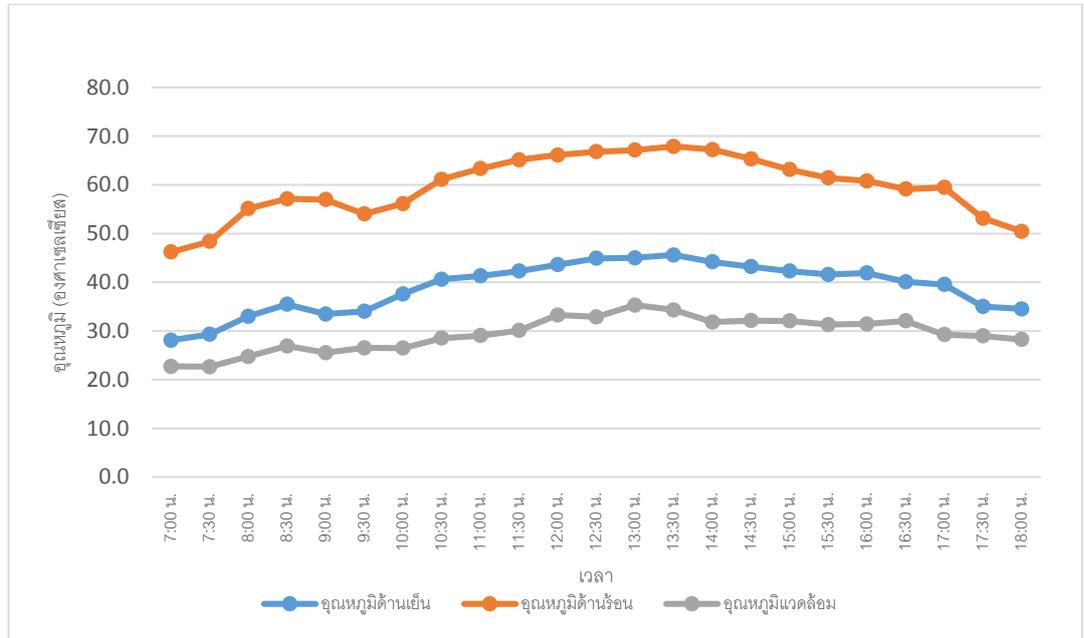
ในการทดลองได้มีการตั้งสมมติฐานไว้ว่ารังสีอาทิตย์และความเข้มรังสีอาทิตย์มีความสัมพันธ์บนพื้นที่การทดลอง โดยทำการเก็บผลการทดลองในช่วงเดือน มิถุนายน 2557 ทดลอง ณ ดาดฟ้าคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทั้งนี้ได้ค่ารังสีอาทิตย์ดังรูปที่ 4.1 โดยมีค่าเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงของวันคือ  $789.68 \text{ W/m}^2$



รูปที่ 4.1 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตามเวลา

จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การทดลองครั้งนี้จะเก็บค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่เวลา 8.00 นาฬิกา ถึง 17.00 นาฬิกา โดยพบว่าที่เวลาเริ่มต้น 8.00 นาฬิกาจะมีความเข้มของรังสีอาทิตย์อยู่ที่  $320 \text{ W/m}^2$  ส่วนเวลาสิ้นสุดของการเก็บผลการทดลองที่เวลา 17.00 นาฬิกา ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จะอยู่ที่  $498 \text{ W/m}^2$  สำหรับค่าของความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดจะมีค่าเท่ากับ  $1121 \text{ W/m}^2$  ที่เวลา 12.30 นาฬิกา ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์น้อยที่สุดจะมีค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์เท่ากับ  $320 \text{ W/m}^2$  ที่เวลา 8.00 นาฬิกา และค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์โดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันของค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์จะอยู่ที่  $789.68 \text{ W/m}^2$

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยทำการวัดอุณหภูมิ 4 จุด ใต้แผงเพื่อหาค่าเฉลี่ยพบว่าผลการทดลองที่ได้ดังรูป 4.2



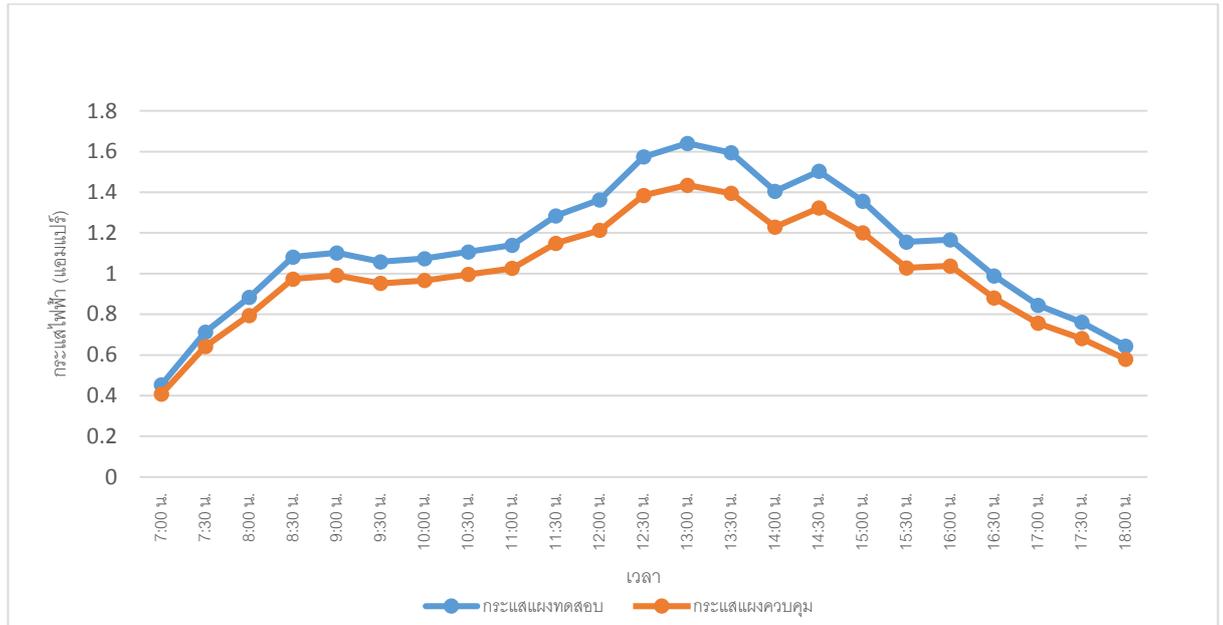
**รูปที่ 4.2** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับเวลาในการทดลอง

จากรูปที่ 4.2 พบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิของด้านร้อนกับด้านเย็นมีความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยที่คล้ายกันทุกช่วงเวลาคือมีอุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 29.4 องศาเซลเซียส โดยช่วงเวลา 11.00 น. – 15.00 น. คือช่วงเวลาที่อุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุด ซึ่งอุณหภูมิช่วงนี้จะมีผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 32.2 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.3 จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิด้านเย็นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิที่ลดลง ซึ่งอุณหภูมิที่ลดลงจะเกิดจากการที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มเข้าไป

## 4.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง

### 4.2.1 กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

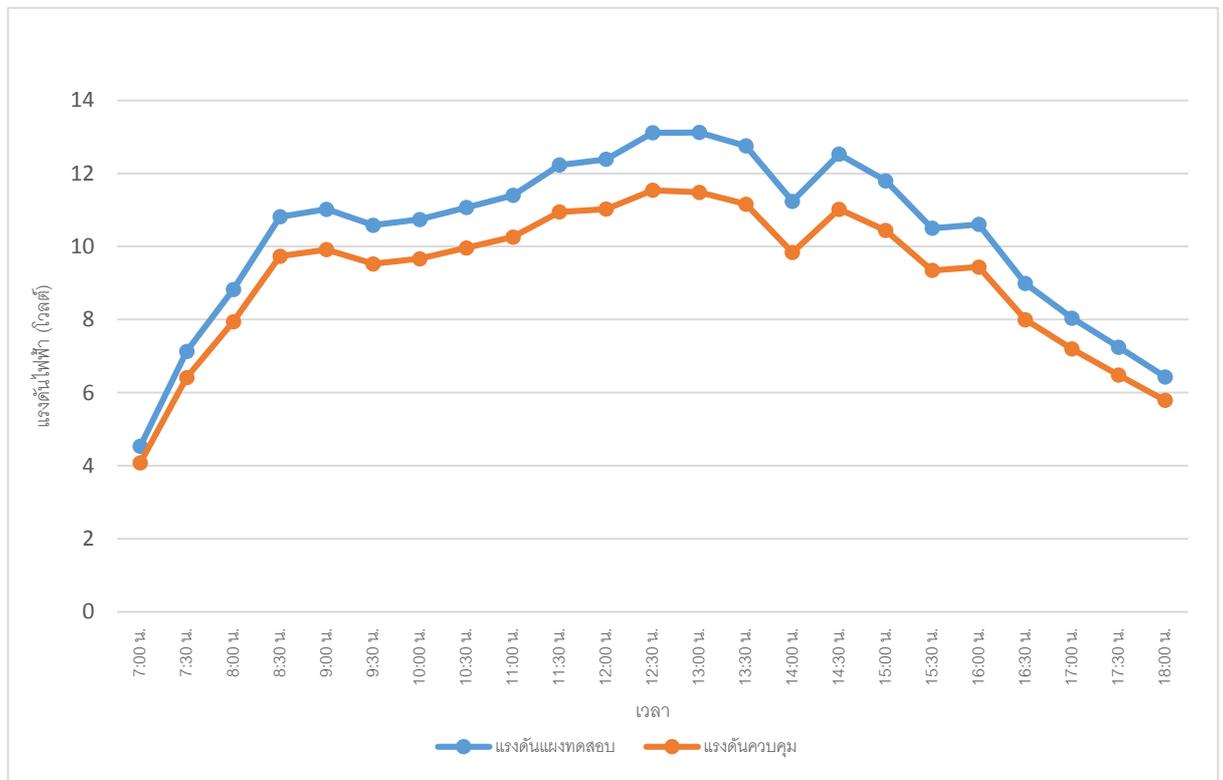
ในการทดลองในครั้งนี้ได้ทำการวัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเทอร์โมอิเล็กทริกและแผงแบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง

จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกตลอดการทดลอง โดยค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.797 แอมป์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1.068 แอมป์ที่เวลา 12.30 นาฬิกา ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 0.244 แอมป์ที่เวลา 8.00 นาฬิกา และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 0.755 แอมป์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1.001 แอมป์ที่เวลา 12.30 นาฬิกา ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 0.239 แอมป์ที่เวลา 8.00 นาฬิกา ซึ่งเกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกได้ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยแผงที่ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกจะสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก

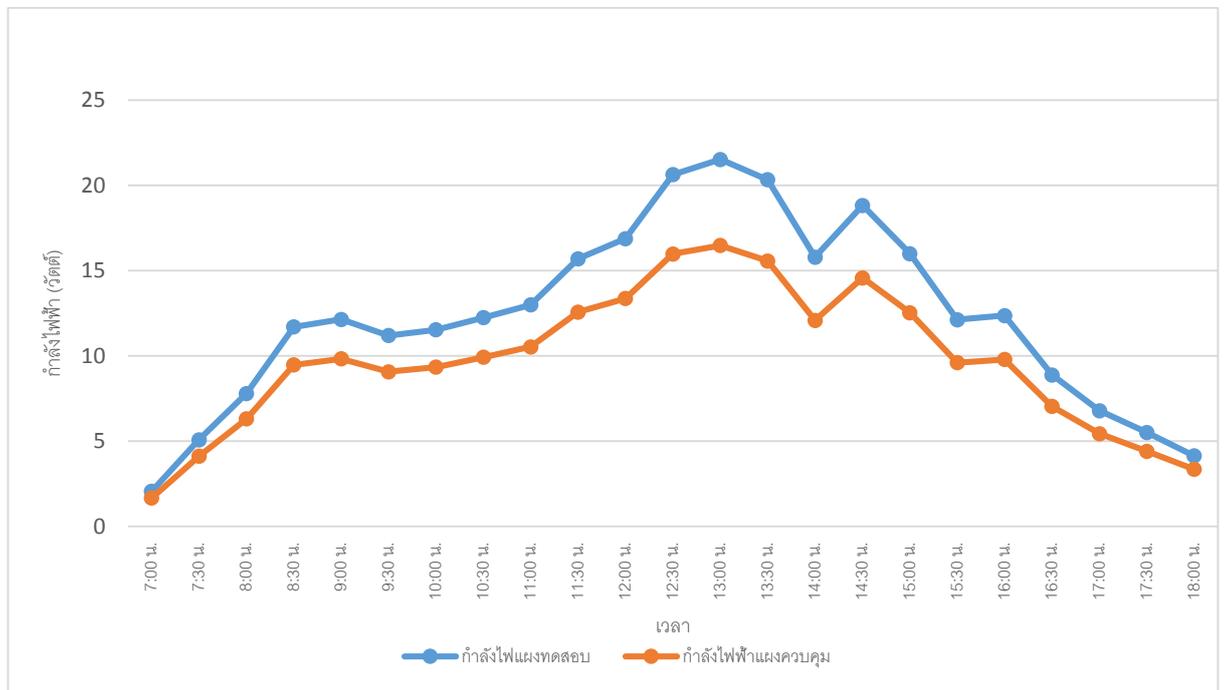
#### 4.2.2 แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเทอร์โมอิเล็กทริกและแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง

จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 11.801 โวลต์ที่เวลา 12.30-13.00 นาฬิกา ขณะที่แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดจะอยู่ที่ 4.085 โวลต์ที่เวลา 7.00 นาฬิกา โดยที่แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจะอยู่ที่ 9.081 โวลต์ ส่วนแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 13.121 โวลต์ที่เวลา 12.30-13.00 นาฬิกา ขณะที่แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดจะอยู่ที่ 4.539 โวลต์ ที่เวลา 7.00 นาฬิกา โดยแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.098 โวลต์ จากผลการทดลองจะพบว่าแรงดันไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ไม่มีติดเทอร์โมอิเล็กทริกจะค่อยๆลดลงเมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นแต่ขณะที่แรงไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะคงที่เพราะมีการถ่ายเทความร้อนความร้อนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

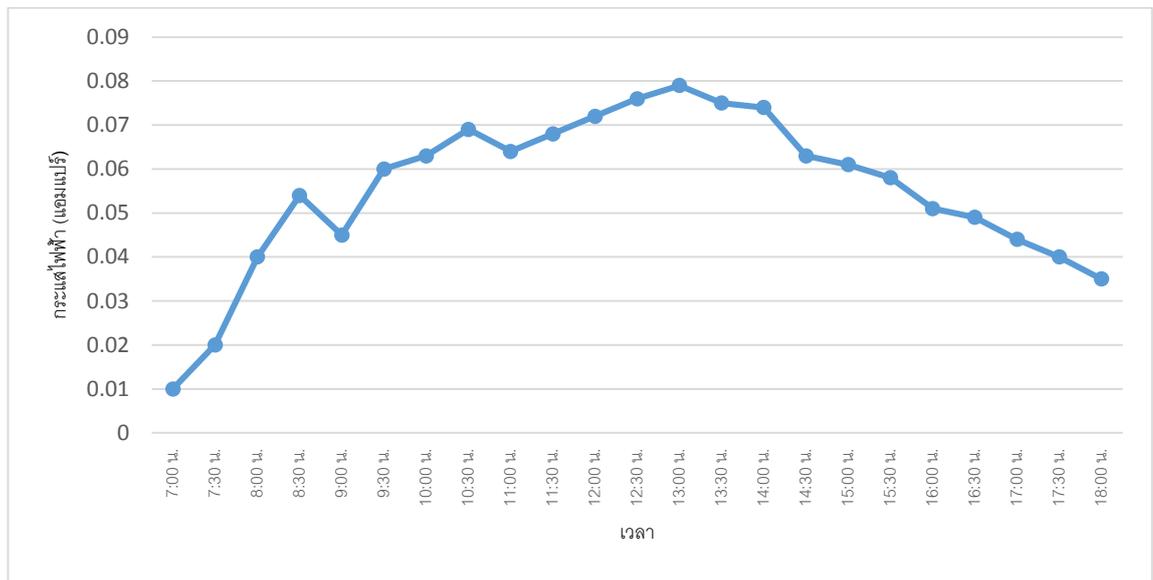
### 4.2.3 กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเทอร์โมอิเล็กทริกและแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง

จากรูปที่ 4.5 พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกมีกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริก โดยที่กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดลองของแผงที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 35.23 วัตต์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 48.27 วัตต์ที่เวลา 12.30 นาฬิกา กำลังไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 9.5 วัตต์ที่เวลา 8.00 นาฬิกา และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกเท่ากับ 31.34 วัตต์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 42.64 วัตต์ที่เวลา 12.30 นาฬิกา กำลังไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 9.23 วัตต์ที่เวลา 8.00 นาฬิกา ซึ่งจากผลการทดลองจึงสามารถที่จะสรุปได้ว่าเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลง โดยจะเป็นเพราะอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้แรงดันไฟฟ้าต่ำลงส่วนกระแสไฟฟ้าจะสูงขึ้น โดยที่อัตราการลดลงของแรงดันไฟฟ้าจะสูงกว่ากระแสไฟฟ้า เลยทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย

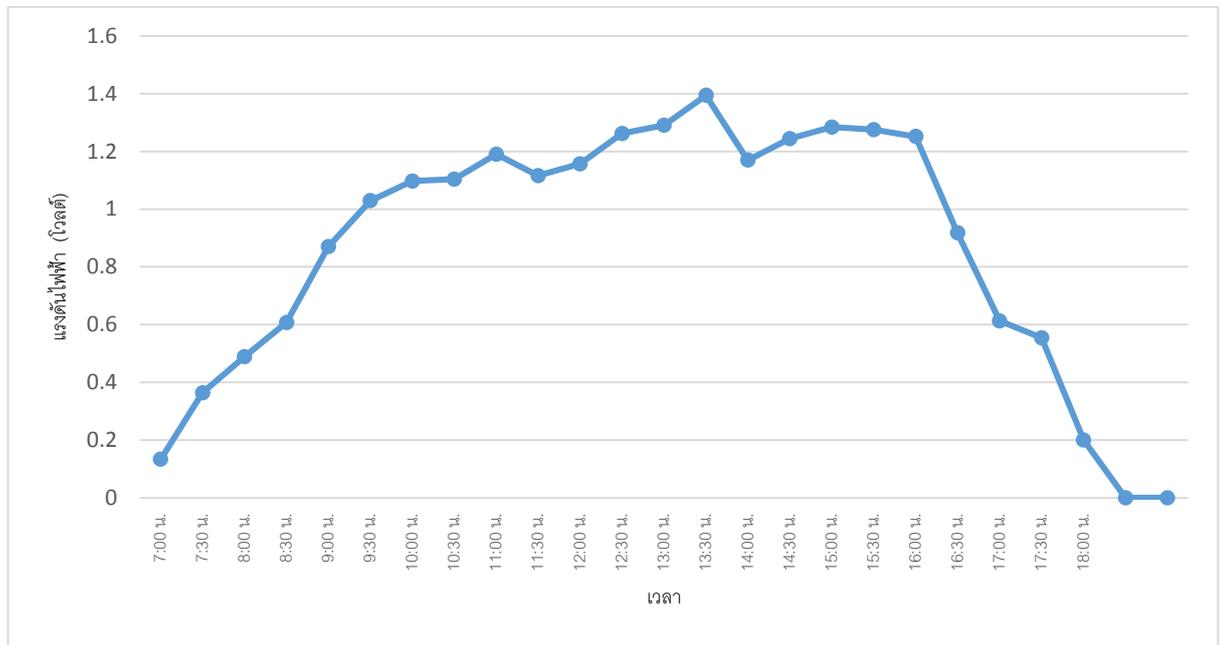
#### 4.2.4 กระแสไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 10 โมดูล



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าของแผงเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 10 โมดูล

จากรูปที่ 4.6 พบว่ากระแสไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 10 โมดูลจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดจะอยู่ที่ 0.079 แอมแปร์ที่เวลา 13.00 นาฬิกา และกระแสไฟฟ้าต่ำสุดจะอยู่ที่ 0.01 แอมแปร์ที่เวลา 7.00 นาฬิกา ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเวลา 12.00 นาฬิกา ไปจนถึง 14.00 นาฬิกา กระแสไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตได้จะสูงเนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่สูงขึ้น ส่งผลให้เทอร์โมอิเล็กทริกได้รับความร้อนจากใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงเช่นกัน

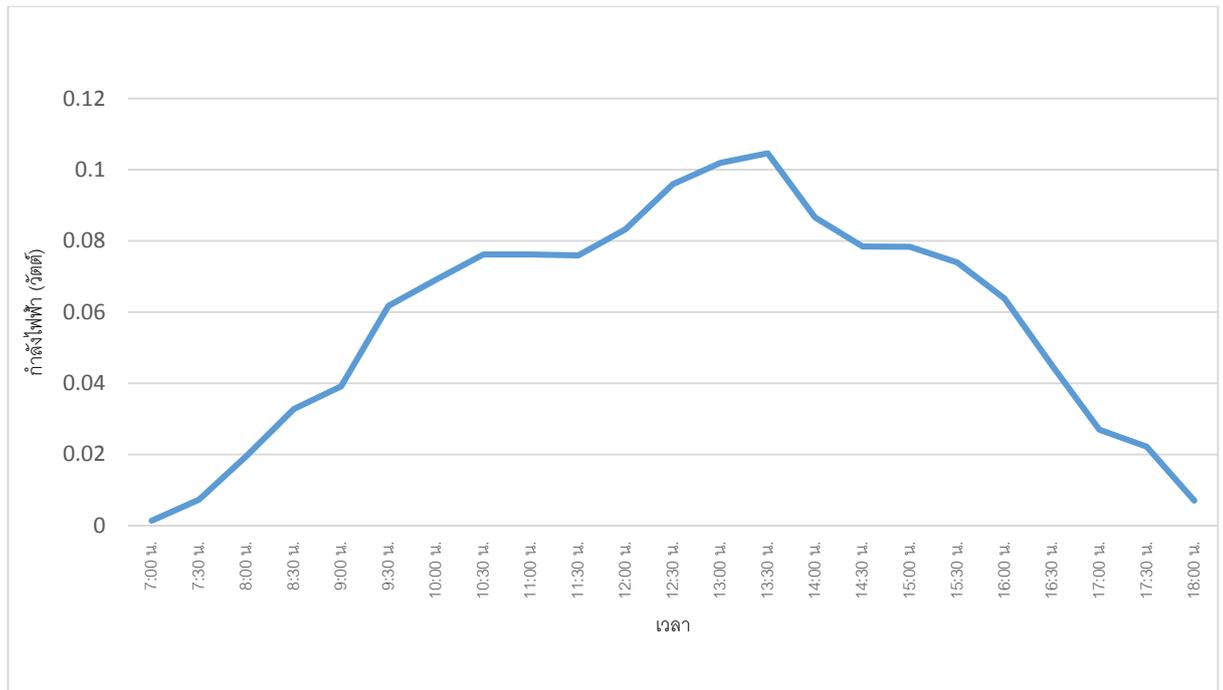
#### 4.2.5 แรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง

จากรูปที่ 4.7 พบว่าแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตได้สูงสุดจะอยู่ที่ 1.4 โวลต์ที่เวลา 13.30 นาฬิกา และแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดจะอยู่ที่ 0.13 โวลต์ ที่เวลา 7.00 นาฬิกา จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเวลา 9.00 นาฬิกา ไปจนถึง 16.00 นาฬิกา แรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตได้จะสูงเนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมจะสูงขึ้น ส่งผลให้เทอร์โมอิเล็กทริกได้รับความร้อนจากใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงเช่นกัน

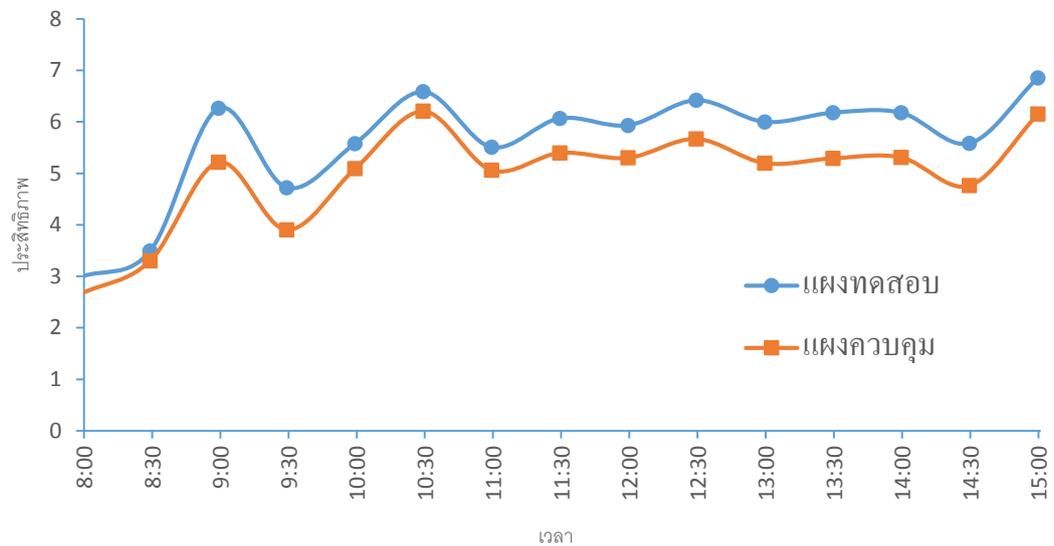
#### 4.2.6 กำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก



**รูปที่ 4.8** ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง

จากรูปที่ 4.8 พบว่ากำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตได้สูงสุดจะอยู่ที่ 0.11 วัตต์ ที่เวลา 13.30 นาฬิกา และกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุดจะอยู่ที่ 0.001 วัตต์ ที่เวลา 7.00 นาฬิกา จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเวลา 10.00 นาฬิกา ไปจนถึง 15.00 นาฬิกา กำลังไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตได้จะสูงเนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวอุณหภูมิจะสูงขึ้น ส่งผลให้เทอร์โมอิเล็กทริกได้รับความร้อนจากใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงเช่นกัน อย่างไรก็ตามสังเกตว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ตลอดทั้งวันโดยเฉลี่ยจะน้อย เพราะนอกเหนือจากช่วงเวลาดังกล่าวกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะน้อยเนื่องจากผลต่างอุณหภูมิต่างกันไม่มาก

#### 4.2.7 การคำนวณประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



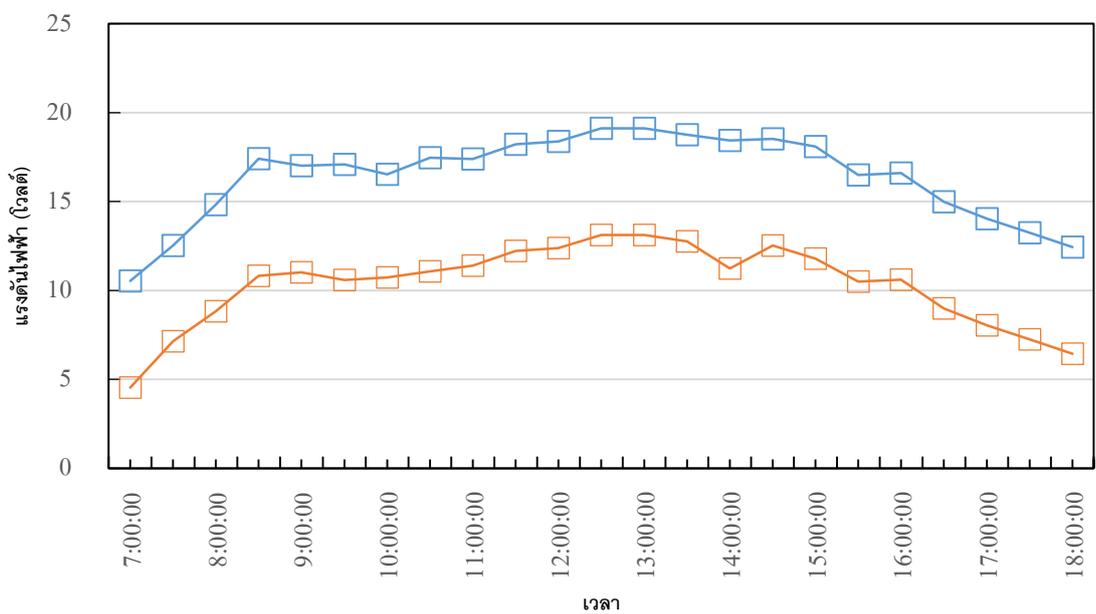
**รูปที่ 4.9** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีเทอร์โมอิเล็กทริก และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกกับเวลาในการทำการทดลอง

จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่าประสิทธิภาพของแผงทดสอบที่มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกตลอดการทดลอง โดยจะสังเกตได้ว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยตลอดการทดลองของแผงเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 5.6% ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 6.85% ที่เวลา 15.00 นาฬิกา ค่าประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับ 2.74% ที่เวลา 8.00 นาฬิกา และค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยตลอดการทดลองของแผงควบคุมเท่ากับ 4.97% ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 6.21% ที่เวลา 10.30 นาฬิกา ค่าประสิทธิภาพต่ำสุดเท่ากับ 2.67% ที่ 8.00 นาฬิกา จะสังเกตได้ว่าที่เวลา 15.00 นาฬิกาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะดีขึ้นเนื่องจากมีเมฆมาบังเซลล์แสงอาทิตย์จึงทำให้อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกจะทำให้กำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีเทอร์โมอิเล็กทริกที่อัตราการถ่ายเทความร้อนเดียวกัน

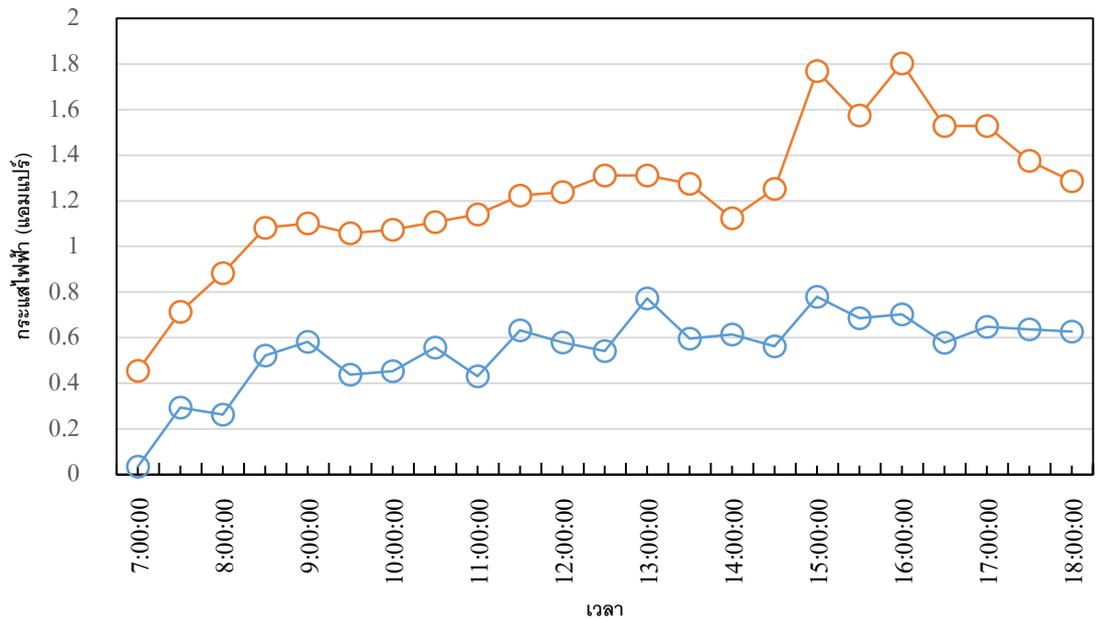
### 4.3 การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริก ไปใช้กับอุปกรณ์อื่น

#### 4.3.1 การนำเอาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไปเก็บประจุในแบตเตอรี่

โดยในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงการนำเอาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ไปใช้ในการชาร์จตลงแบตเตอรี่ในการชาร์ตครั้งนี้เราใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V 2600mAH และหลังจากที่ชาร์ตกำลังไฟฟ้าลงแบตเตอรี่เรียบร้อยแล้ว แบตเตอรี่จะถูกนำไปใช้กับโคมไฟส่องถนนแบบไดโอดเปล่งแสงต่อไป



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าในการชาร์ตลงแบตเตอรี่กับเวลาในการทำการทดลอง ทั้งแบบต่อวงจรช่วยชาร์ตลงแบตเตอรี่และแบบไม่ต่อวงจรช่วยชาร์ตแบตเตอรี่

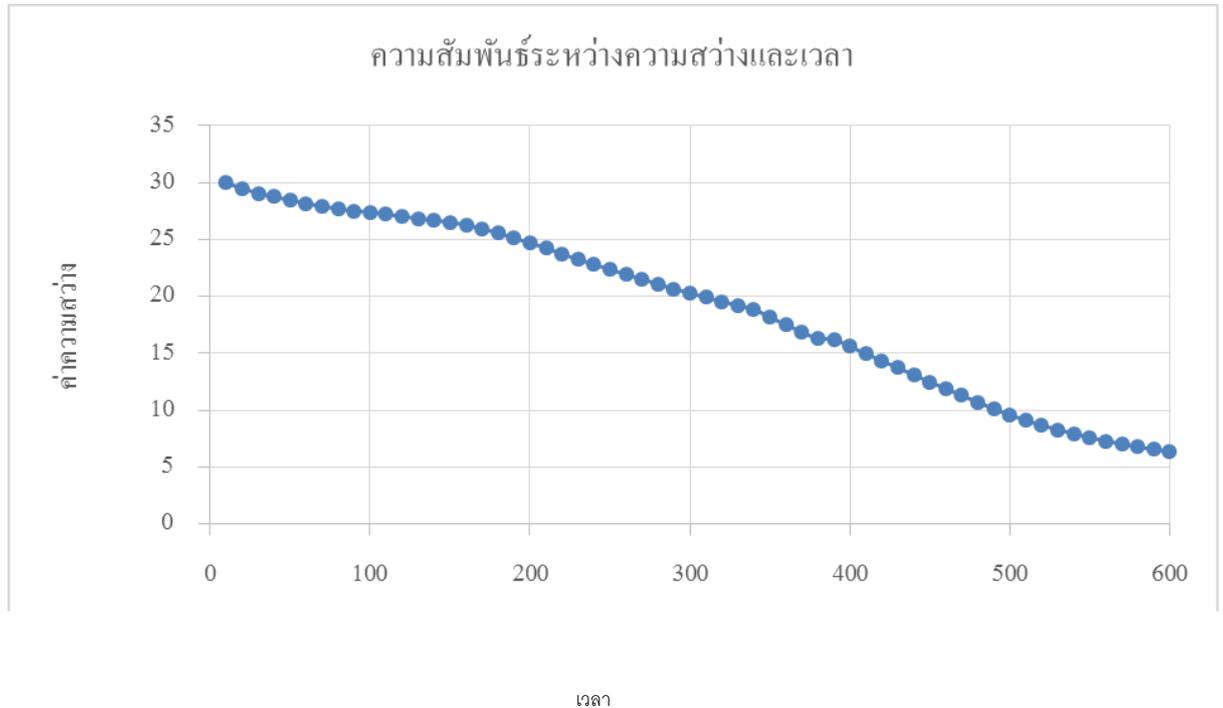


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าไฟฟ้าในการชาร์ตลงแบตเตอรี่กับเวลาในการทำการทดลองทั้งแบบต่อวงจรช่วยชาร์ตลงแบตเตอรี่และแบบไม่ต่อวงจรช่วยชาร์ตแบตเตอรี่

การทดลองนี้เป็นการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งผลการทดลองในรูปที่ 4.10 และ 4.11 ได้แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการอัดประจุในเวลา 7.00 น. มีแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 13.12 V กระแสไฟฟ้า 1.31 A และหลังจากที่ต่อเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับวงจรชาร์ตแบตเตอรี่ นำมาอัดประจุให้กับแบตเตอรี่จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 19.11 V กระแสไฟฟ้า 0.77 A ซึ่งเพียงพอต่อการชาร์ตแบตเตอรี่ขนาด 12V พอระยะเวลาผ่านไปถึงเวลา 16.00 น. ในการชาร์ต ที่ต่อ Solar Cell ร่วมกับวงจรชาร์ตแบตเตอรี่ก็ยังสามารถทำงานได้ที่แรงดันในการชาร์ตอยู่ที่ 16.6V กระแส 0.4A ซึ่งจะใช้เวลาในการชาร์ตลงแบตเตอรี่ขนาด 12V จนเต็มคือ 11.30 ชั่วโมง อันเนื่องมาจากวงจรชาร์ตแบตเตอรี่ จะทำหน้าที่ชดเชยแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ ซึ่งในการชดเชยแรงดันไฟฟ้านั้นจะดึงกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้เปลี่ยนแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าแทน ซึ่งจะทำให้แรงดันไฟฟ้านั้นสูงและคงที่เพียงพอต่อการชาร์ตแบตเตอรี่ได้ โดยที่ค่ากระแสมีค่าสูงขึ้นหรือลดต่ำลง เป็นผลเนื่องมาจากค่าความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามเวลา

### 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างและเวลา

จากที่ได้ค่ากำลังไฟจะนำเอาค่ากำลังไฟที่ได้ไปทดลองกับโคมไฟส่องถนนชนิดไดโอดเปล่ง  
ขนาด 40 วัตต์

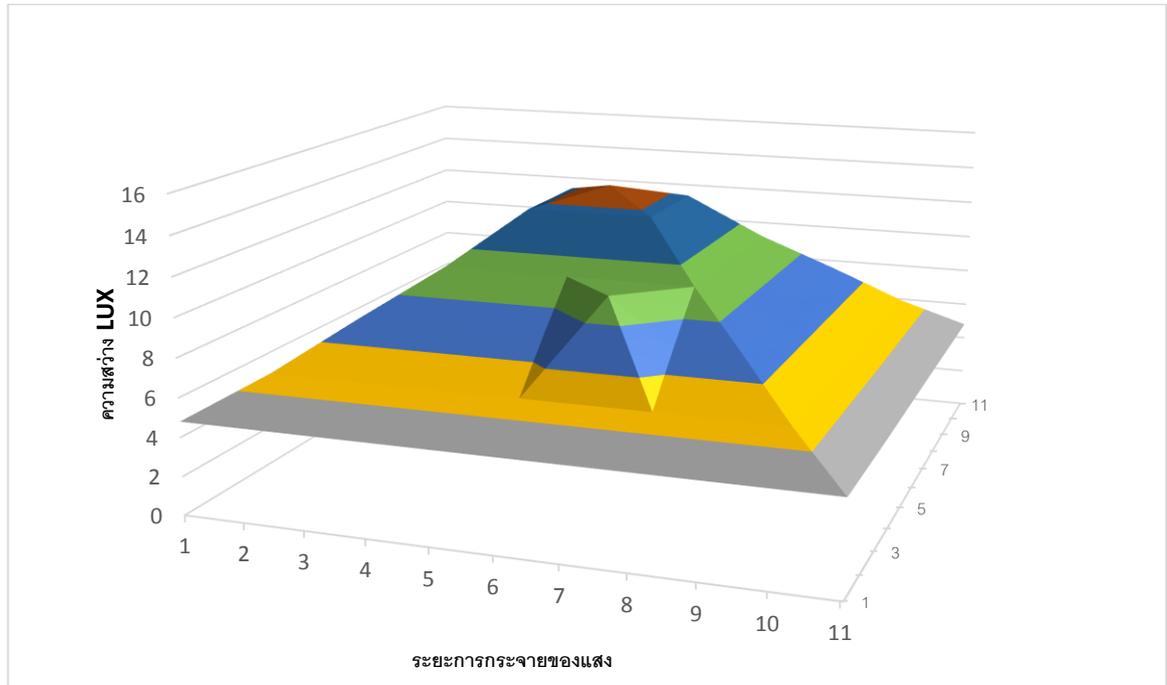


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ในการนำกำลังไฟไปใช้กับโคมไฟส่องถนน

ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความสว่างที่วัดทั้ง 1 จุด แสดงดังรูปที่ 4.12 โดยในการทดลองได้ใช้ระยะเวลาที่จ่ายพลังงานเป็นเวลา 600 นาที โดยทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาที พบว่าความสว่างจะลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยในช่วง (1-600 นาที) โดยความสว่างจะลดลง 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการวัดปริมาณความสว่างตลอดระยะเวลา 600 นาที โดยพบว่าความสว่างจะลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยปริมาณกำลังไฟจากแบตเตอรี่ก็จะลดตามลงไปด้วย

### 4.3.3 ผลของการทดสอบแบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับโคมไฟไดโอดเปล่งแสง

จากการชาร์ตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ลงแบตเตอรี่และนำเอากำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปใช้กับโคมไฟส่องถนนชนิดไดโอดเปล่งแสงจะรูปภาพการกระจายแสงที่มีความสัมพันธ์กับความส่องสว่างดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การกระจายแสงของโคมหลอดไดโอดเปล่งแสง

จากรูปภาพที่ 4.13 จะแสดงการกระจายแสงของโคมไฟส่องถนนชนิดไดโอดเปล่งแสงขนาด 40 วัตต์ จากมาตรฐานของกรมทางหลวงถนนสายรองจะมีมาตรฐานในการส่องสว่างที่ 13 ลักซ์ ที่ความสูงของเสา 6 เมตร จากรูปภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าจุดที่มีค่าความส่องสว่างมากที่สุดจะอยู่ที่ 14 ลักซ์ ที่ระยะการกระจายแสง 6 เมตร ส่วนค่าความส่องสว่างที่น้อยที่สุดจะอยู่ที่ 4.8 ลักซ์ ที่ระยะการกระจายแสง 11 เมตร

## บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการผลิตไฟฟ้าพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น โดยเป็นไปตามทฤษฎีซีเบ็คและจะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อไหลภายนอกมีค่าความต้านทานเท่ากับความต้านทานรวมภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกโดยการต่อแบบอนุกรม

5.1.1 จากการศึกษามุมที่เหมาะสมสรุปได้ว่ามุมที่เหมาะสมต่อการทดลองในงานวิจัยนี้คือ 14 องศา

5.1.2 จากการศึกษาอิทธิพลของความเข้มรังสีอาทิตย์ต่อเวลาในการทดลองสรุปได้ว่า ในช่วงเวลาตั้งแต่ 11.00 นาฬิกา-14.00 นาฬิกา จะทำให้ผลต่างอุณหภูมิสูงสุดที่ 23 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิด้านร้อนจะอยู่ที่ 67 องศาเซลเซียส ด้านเย็นจะอยู่ที่ 44 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเท่ากับ 0.086 วัตต์ ที่ค่าความเข้มแสง 851.85 วัตต์ต่อตารางเมตร และที่ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์นี้จะส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 15.79 วัตต์ และเมื่อต่อวงจรช่วยการชาร์ตแบตเตอรี่เข้าไปกำลังไฟฟ้าจะอยู่ที่ 11.24 วัตต์ซึ่งเพียงพอต่อการชาร์ตลงแบตเตอรี่

5.1.3 จากการศึกษาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็น 6.85 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 15.00 นาฬิกา

5.1.4 จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างเทียบกับเวลาสรุปได้ว่าค่าความส่องสว่างของโคมไฟส่องถนนจะให้ปริมาณความส่องสว่างได้ 10 ชั่วโมงจากแบตเตอรี่ที่ทำให้การชาร์ตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาเทอร์โมอิเล็กทริกพบว่าตัวแปรที่มีผลกับประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

จากผลการทดลองเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า การผลิตไฟฟ้าโดยเอาความร้อนเหลือทิ้งจากแผงโซลาร์เซลล์มาใช้กับเทอร์โมอิเล็กทริก โดยที่ความต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 ด้าน ไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส ไม่เหมาะสมในการเก็บประจุลงในแบตเตอรี่ที่มีความจุมาก เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ได้มีค่าน้อยเกินไป ทำให้ใช้เวลานาน และไม่คุ้มทุนในการติดตั้ง

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ควรคำนึงถึงค่าต้นทุนและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับอุณหภูมิที่ต้องการใช้งานในแต่ละประเภทเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

2. ควรศึกษาวิธีการในการระบายความร้อนฝั้งเย็นที่เหมาะสม เนื่องจากเมื่อใช้งานไปได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง หากไม่มีการระบายความร้อนที่ฝั้งเย็น จะเกิดการพาความร้อนจากฝั้งร้อนมาที่ฝั้งเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ลดลง

3. ในปัจจุบันจุดคุ้มทุนในการใช้งานของเทอร์โมอิเล็กทริกยังต่ำกว่าระบบการใช้พลังงานหมุนเวียนชนิดอื่นอยู่มาก ดังนั้นจึงควรมีการสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตสารกึ่งตัวนำที่มีสัมประสิทธิ์ของซีแบค และมีการนำความร้อนต่ำที่ดีกว่าปัจจุบัน

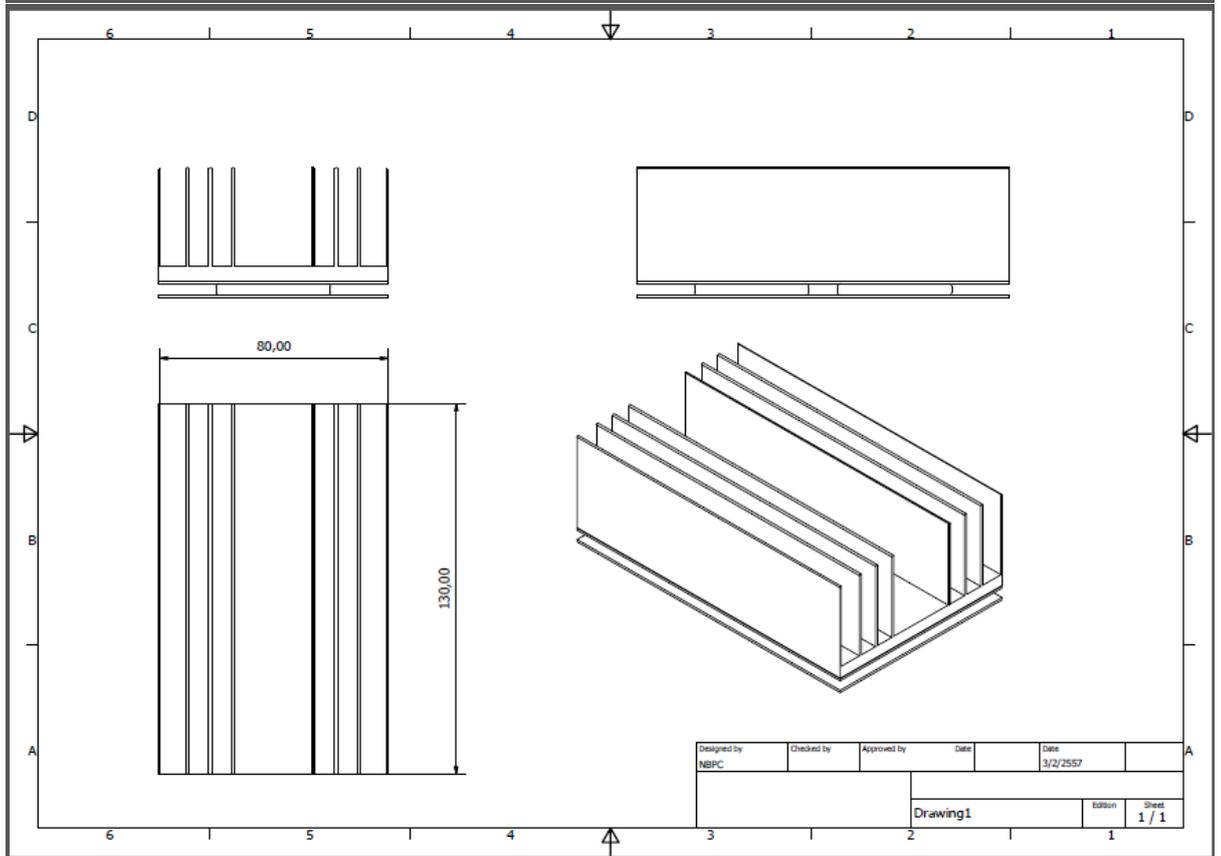
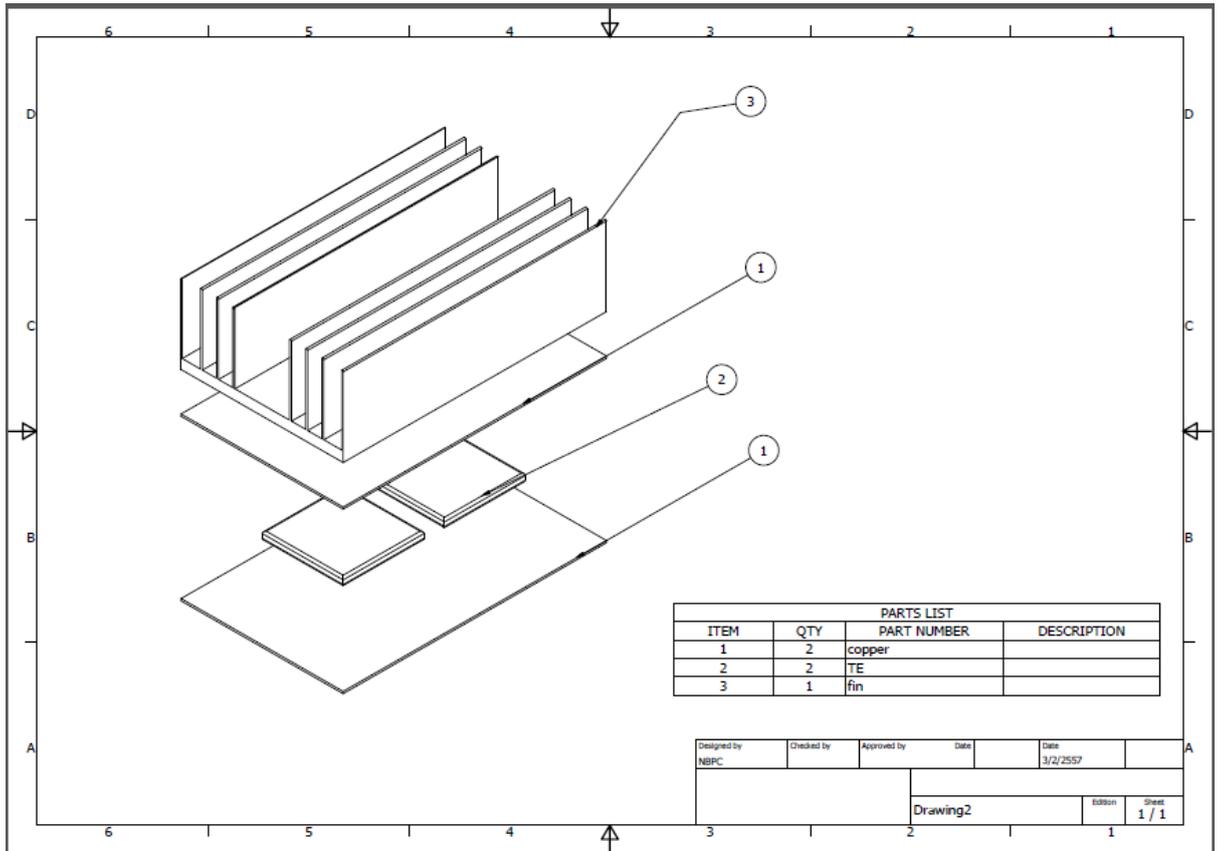
## เอกสารอ้างอิง

1. Abdolzadeh, M., and Ameri, M., 2009. "Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells." **Renewable Energy**, Vol.34 , pp.91-96.
2. นิคม ผึ้งคำ, ภราดร ภัคดีวานิช และยุทธนา ภูริระวนิชย์กุล. 2551, " การเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบหล่อเย็น."วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, หน้า 1-8
3. ประภาทิพย์ บุญหล้า, เจริญพร เลิศสถิตชนกร และนุชิดา สุวแพทย์, 2556, "การปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเทคนิคการลดอุณหภูมิ", วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 8, ฉบับที่ 2, หน้า 1-10
4. Moharram , K.A., Abd-Elhady, M.S., Kandil, H.A., and El-sherif, H., 2013. "Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling." **Mechanical Engineering**, Vol. 4 , pp. 869-877
5. Bahaidarah , H., Subhan, A., Gandhidasan, P., Rehman, S., 2013. "Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions." **Energy**, Vol.59 , pp. 445-453
6. Astrain, D., Vian, J.G, Martinez, A., Rodriguez, A., 2010, "Study of the influence of heat exchangers' thermal resistances on a thermoelectric generation system," **Journal of Energy**, Vol. 35, pp. 602-610.
7. Xiaolong, G., Suwen, Y., Heng, X., Qiang, O., 2013, "A dynamic model for thermoelectric generator applied in waste heat recovery", **Journal of Energy**, Vol. 52, pp. 201-209.
- 8.Kostic, Lj. T., Pavlovic, T. M., and Pavlovic , Z. T., 2010. "Optimal design of orientation of PV/T collector with reflectors", **Applied Energy**, Vol. 87 , pp. 3023-3029.

9. Lertsatitthanakorn , C., Soponronnarit, S., Jamradloedluk, J., Rungsiyopas, M., and Sarachitti, R., 2013. “Performance Study of Thermoelectric Solar-Assisted Heat Pump with Reflectors.” **Electronic Materials**, Vol. 43 , No. 6 , pp. 2040-2046
10. Kari, A., Timo, L., Kari, S., Juha, J., 2014, “Analysis of a wooden pellet-fueled domestic thermoelectric cogeneration system”, **Journal of Applied Thermal Engineering**, Vol. 63, pp. 1-10.
11. Uthai P., 2012, “Determination for the heat transfer rates through a straight rectangular fin by the numerical method in 3 dimensions”, **Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok**, Vol. 22, No. 1, Jan. - Apr. 2012.
12. Lersatitthanakorn C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Daguinet M., 2002, “Experimental Performance of a Ceiling-Type Free Convected Air Conditioner”, **International Journal of Ambient Energy**, Vol. 23, pp. 59-68.
13. Kraemer, D., McEnaney, K., Chiesa and G. Chen, C., 2012, “Modeling and optimization of solar thermoelectric generators for terrestrial applications”, **Journal of Solar Energy**, Vol. 89, pp. 1727-1734.
14. Cheng, T., Gia-Yeh, H., Hsu-Shen, C., 2011, “Experiments and simulations on low-temperature waste heat harvesting system by thermoelectric power generators”, **Journal of Applied Energy**, Vol. 88, pp. 1291–1297.
15. Omer, S.A., Infield, D.G., 1998, “Design optimization of thermoelectric devices for solar power generation”, **Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells**, Vol. 53, pp. 67-82.
16. Chien-Chang, W., Chen-I, H., 2012, “Design of heat sink for improving the performance of thermoelectric generator using two-stage optimization”, **International Journal of Energy**, Vol. 39, pp. 236-245.

ภาคผนวก ก.  
แบบประกอบและแบบรายละเอียดชิ้นงาน

.

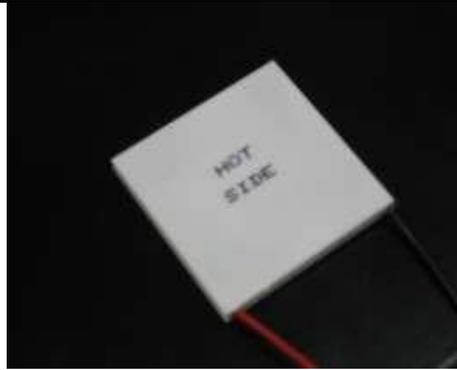


ภาคผนวก ข.

Data Sheet

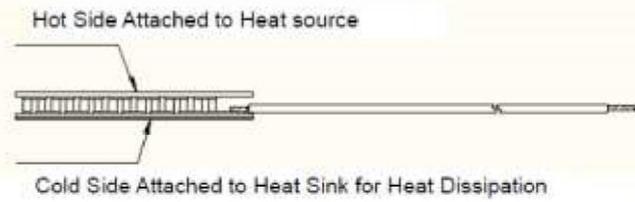
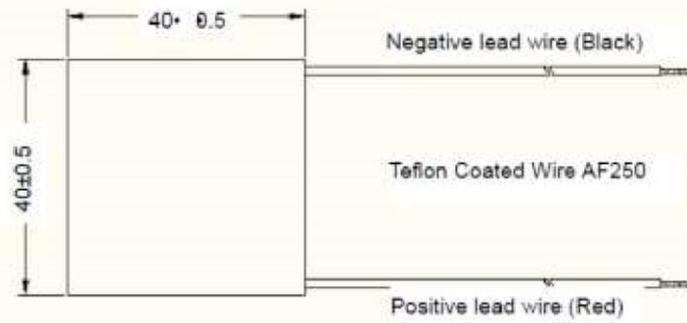


## Specifications TEG Module TEG1-12610-4.3



### SNAPSHOT SPECIFICATION FOR TEG1-12610-4.3

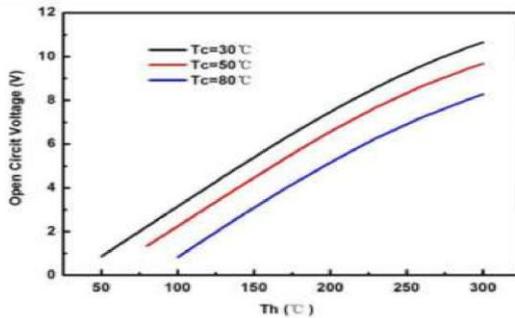
Hot Side Temperature (°C)	300
Cold Side Temperature (°C)	30
Open Circuit Voltage (V)	10.7
Matched Load Resistance (ohms)	5.4
Matched load output voltage (V)	5.3
Matched load output current (A)	1.0
Matched load output power (W)	5.2
Heat flow across the module(W)	• 415
Heat flow density(Wcm <sup>-2</sup> )	• 7.5
AC Resistance(ohms) Measured under 27°C at 1000Hz	2.7~3.6

**Geometric Characteristics** Dimensions in millimeter

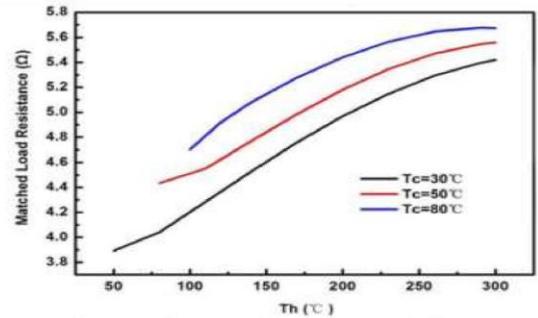
[TECTEG@ROGERS.COM](mailto:TECTEG@ROGERS.COM) N.A 1-800-769-2395 World 1-905-751-1362 website:  
[www.TEGPOWERGENERATOR.COM](http://www.TEGPOWERGENERATOR.COM)



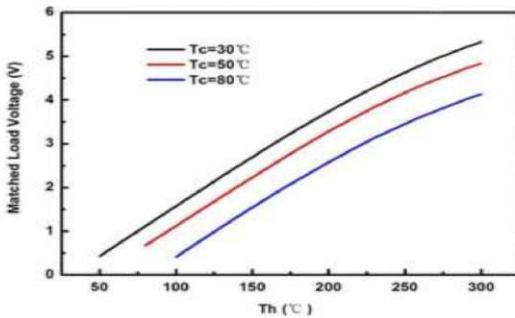
### SNAPSHOT SPECIFICATION FOR TEG1-12610-4.3



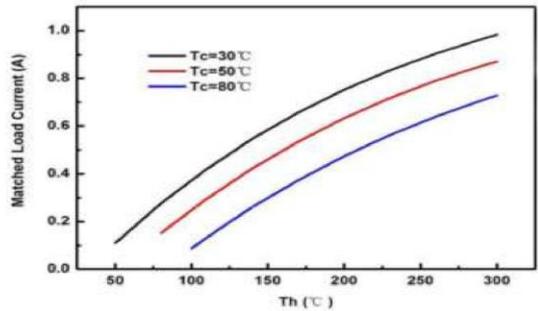
The chart for output voltage Vs  $T_h$  under various  $T_c$



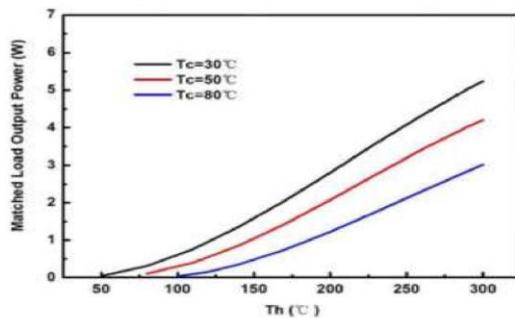
The chart for matched load resistance Vs  $T_h$  under various  $T_c$



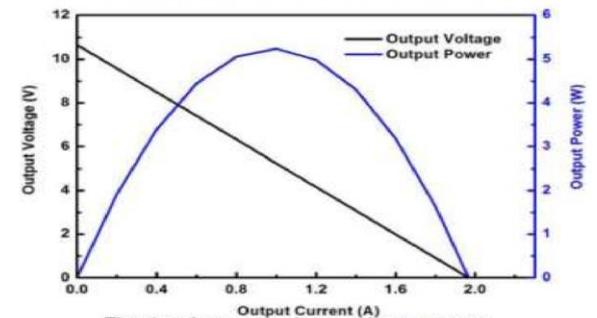
The chart for matched load voltage Vs  $T_h$  under various  $T_c$



The chart for matched load current Vs  $T_h$  under various  $T_c$



The chart for matched load voltage Vs  $T_h$  under various  $T_c$



The chart for output voltage and output power Vs output current under  $T_h=300^\circ\text{C}$  and  $T_c=30^\circ\text{C}$

[TECTEG@ROGERS.COM](mailto:TECTEG@ROGERS.COM) N.A 1-800-769-2395 World 1-905-751-1362 website:  
[www.TEGPOWERGENERATOR.COM](http://www.TEGPOWERGENERATOR.COM)

ภาคผนวก ค.  
รายละเอียดบทความที่ได้รับการตีพิมพ์



## การพัฒนาการออกแบบและติดตั้งหลอดไดโอดเปล่งแสงบนถนน

### Design development and installation of light emitting diode bulbs in street.

พีศเดช บวมเงิน<sup>1\*</sup>, กิตติพงษ์ แดงพันธ์<sup>2</sup> และเก๋กัญญา สุกประเสริฐ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

อีเมล: <sup>1</sup>pootay\_2528@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาการออกแบบและการติดตั้งหลอดโคมไฟถนนแบบไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diodes, LED) เพื่อให้ได้แนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้กับการส่องสว่าง ค่าความส่องสว่างจะถูกคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux® ซึ่งจะทำให้การพิจารณาค่าการกระจายแสงในแต่ละพื้นที่ในระบบต่อหน่วยพื้นที่จากกราฟการกระจายแสงที่ต้องการ จากนั้นทำการคำนวณหาจำนวนหลอดที่ต้องใช้และระยะห่างในการติดตั้งโคมไฟส่องถนนเพื่อที่จะวัดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าของหลอดไดโอดเปล่งแสงเปรียบเทียบกับในกรณีที่มีติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบปกติ จากการคำนวณพบว่า ในถนนสายรองหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถประหยัดพลังงานได้ 44% ที่ความสว่างของการใช้งาน 13.0 lux ส่วนถนนสายหลักจะประหยัดพลังงานได้ 25% ที่ความสว่างใช้งาน 21.5 lux และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เมื่อทำการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงถนนสายรองจะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 13 วันและถนนสายหลักจะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7 วัน

**คำสำคัญ:** การประหยัดพลังงาน, โคมไฟส่องถนน, ไดโอดเปล่งแสง



## ABSTRACT

This research aims to study and develop the design and installation of Light-Emitting Diodes (LED) lamps as street light in order to achieve the practical guideline in energy saving through lighting. In this work, the computer programmed named DIALux® is used as a calculating tool to determine the light emission in each zone in the unit system of the light distribution curves. Subsequently, number of lamps required and distance installed in each zone are calculated in order to measure the energy loss from LED lamps compared to the case of normal fluorescent lamps. It has been found that by using the LED lamps, for a collector road, 44% of energy can be saved at illumination of 13.0 lux for the street light and, for an arterial street, 25% of energy can be saved at illumination of 21.5 lux. For the economic analysis, by adopting LED lamps, the payback period is approximately 13 days for the collector road and 7 days for the arterial street.

**Keywords:** Energy Saving, Light-Emitting Diodes, Street Light Lamps



## 1. บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการใช้ไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างบนถนนทั้งถนนสายย่อยไปจนถึงถนนสายหลักมีเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากการขยายขนาดของเมืองและการพัฒนาทางเศรษฐกิจที่ทำให้ต้องมีถนนเพิ่มขึ้นให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่างบนถนนก็สามารถก่อให้เกิดต้นทุนทางพลังงานได้อย่างมหาศาล สภาวิศวกร (2545) ได้ทำการกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพเรื่องแนวทางการปฏิบัติและประสิทธิภาพทางพลังงานของโคมไฟส่องถนนที่มีการจราจรด้วยรถยนต์ผ่านได้ตลอดรวดเร็ว โดยอ้างอิงการส่องสว่างตามมาตรฐาน CIE 115, EN113201, ANSI/IESNA RP-8-00 และมาตรฐานการส่องสว่างของกรมทางหลวงแผ่นดิน ซึ่งโคมไฟถนนที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ โคมไฟถนนหลอดโซเดียมความดันไอสูง หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดไอปรอทความดันสูง หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไดโอดเปล่งแสงประเภทต่าง ๆ ที่มีการกระจายแสงแยกชนิดตามมาตรฐาน CIE 34-1977 ด้วยตัวแปร 3 ตัว คือ Throw, Spread และ Control หรือการแยกแบบการกระจายแสงตามมาตรฐาน IESNA TM-15-07 และ TM-3-95 ทั้งนี้เพื่อให้ระบบส่องสว่างถนนมีคุณภาพและสมรรถนะทางแสงและทางประสิทธิภาพทางพลังงานตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบส่องสว่างของไฟถนนโดยใช้ชุดโคมหลอดไดโอดเปล่งแสงชนิดแสงสีขาว (White Light-Emitting Diodes, LED) ที่มีประสิทธิภาพในการส่องสว่าง (luminous efficiency) สูง ประหยัดพลังงาน อายุใช้งานนาน และปราศจากสารปรอท โดยจะใช้การออกแบบระบบส่องสว่างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux® ซึ่งหลักการทำงานของโปรแกรมคือ จะทำการพิจารณาค่าการกระจายแสงในแต่ละพื้นที่ในระบบต่อหน่วยพื้นที่ จากกราฟการกระจายแสงที่ต้องการ จากนั้นทำการคำนวณหาจำนวนหลอดและระยะการติดตั้งหลอดในแต่ละโซนออกมาเพื่อที่จะวัดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าของชุดโคมหลอดไดโอดเปล่งแสงเปรียบเทียบกับติดตั้งหลอดแบบปกติ ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงผลจากความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสง เพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบหลอดไฟส่องสว่างด้วยหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น



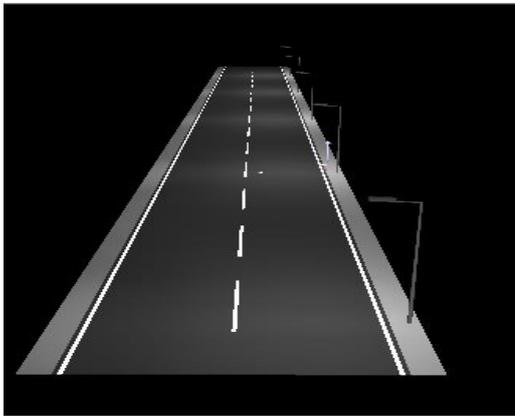
## 2. วิธีการศึกษา

ในการศึกษานี้จะใช้โปรแกรม DIALux® เป็นโปรแกรมช่วยในการออกแบบและคำนวณความสว่าง ซึ่งการศึกษาจำลองลักษณะถนนและการวางของดวงโคมไฟ □ ตามเงื่อนไขสำหรับการศึกษา ทดลองจะแสดงได้ดังรูปที่ 1 และ รูปที่ 3 โดยเงื่อนไขที่กำหนดในการศึกษามี ดังนี้

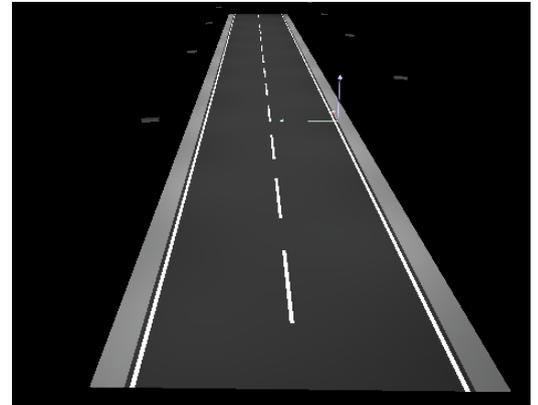
1. พื้นที่ถนนสายรองกำหนดค่าความสว่างเฉลี่ยไว้ที่ 13.0 Lux
2. พื้นที่ถนนสายหลักกำหนดค่าความสว่างเฉลี่ยไว้ที่ 21.5 Lux

## 3. ผลการศึกษา

จากการศึกษาโดยใช้ความสว่าง 13.0 lux และ 21.5 lux เป็นข้อกำหนดในการคำนวณหา จำนวนหลอดไฟ การจัดวางที่เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ ความสว่างที่ต้องการ และกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการทำงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าสำหรับโคมไฟถนนสายรองที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น Philips SGP338 GB 1xSON-T400W SGR CP P-A30 จะต้องใช้หลอดไฟทั้งหมด 5 หลอดทำให้ได้ค่าความสว่างเฉลี่ย 13.0 lux ในขณะที่เมื่อใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงรุ่น PHILIPS BGS451 1xECO45-2S/657 MSO จะต้องใช้หลอดทั้งหมดจำนวน 17 หลอด ส่วนถนนสายหลักที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่น Philips SGP338 GB 1xSON-T400W SGR CP P-A30 จะต้องใช้หลอดไฟทั้งหมด 10 หลอด จึงจะได้ค่าความสว่างเฉลี่ยบนถนน 21.5 lux ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงรุ่น PHILIPS BGS451 1xECO45-2S/657 MSO จะพบว่าต้องใช้หลอดทั้งหมดจำนวน 22 หลอด จึงจะได้ค่าความสว่างเฉลี่ย 21.5 lux

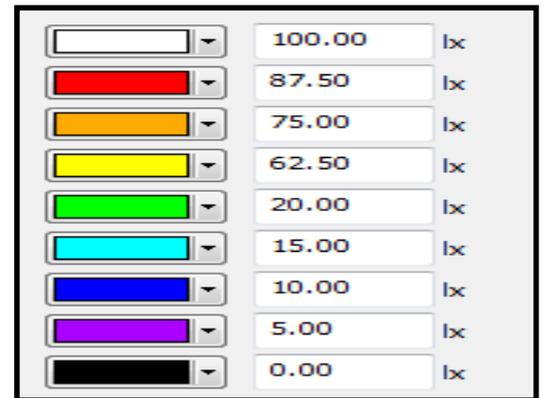
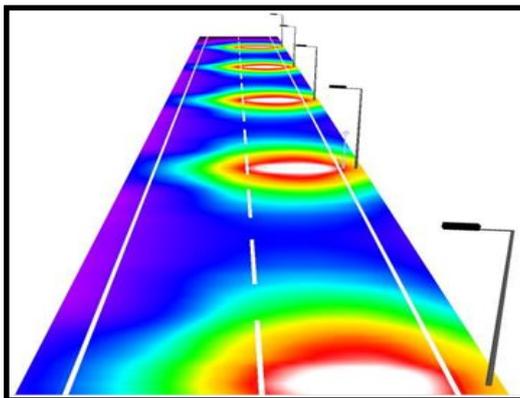


a). โคมหลอดแบบฟลูออเรสเซนต์

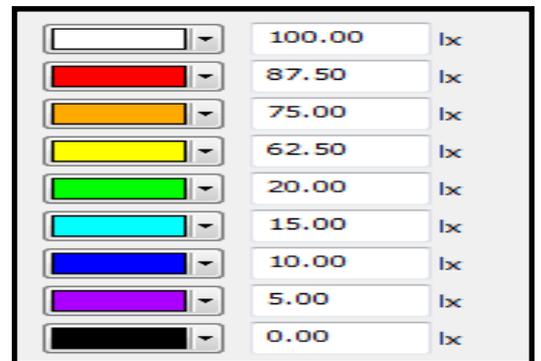
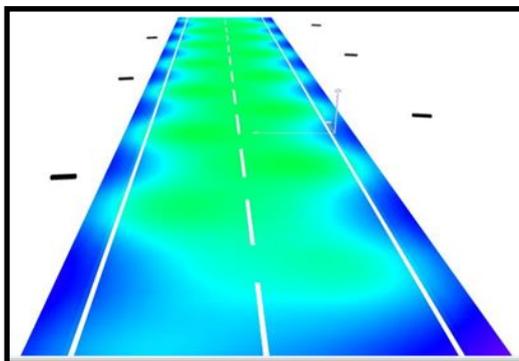


b). โคมหลอดแบบไดโอดเปล่งแสง

รูปที่ 1 แบบการจัดวางดวงโคมของถนนสายตรง



a). โคมหลอดแบบฟลูออเรสเซนต์

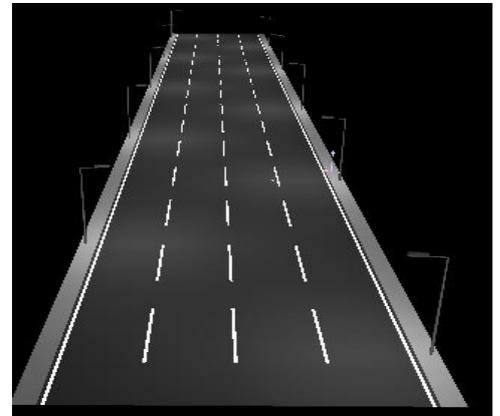


b.) โคมหลอดแบบ ไดโอดเปล่งแสง

รูปที่ 2 รูปแบบการส่องสว่างของโคมส่องสว่างในถนนสายตรง

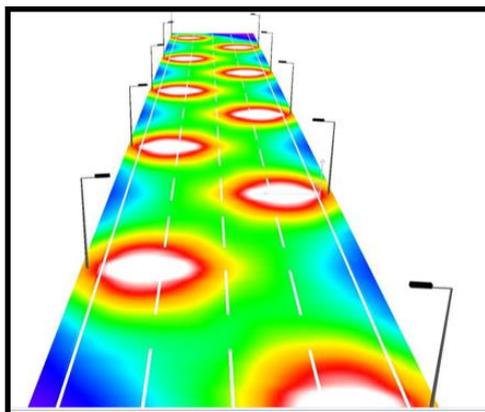


a). โคมหลอดแบบฟลูออเรสเซนต์

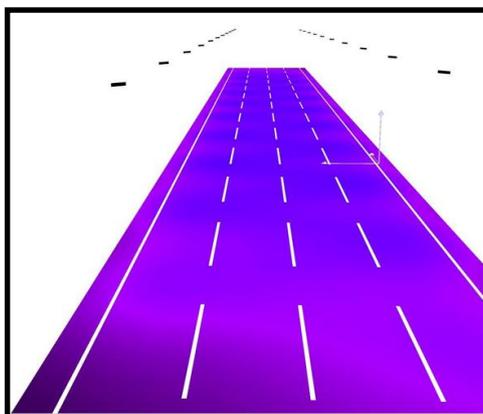
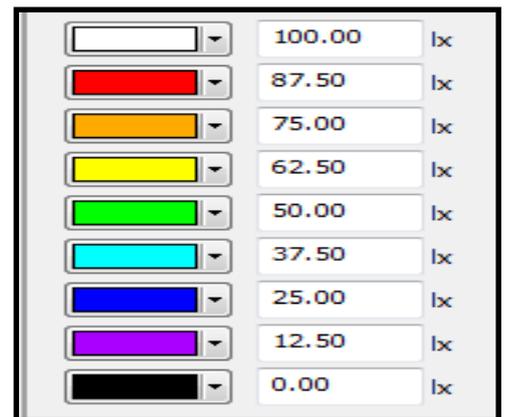


b). โคมหลอดแบบไดโอดเปล่งแสง

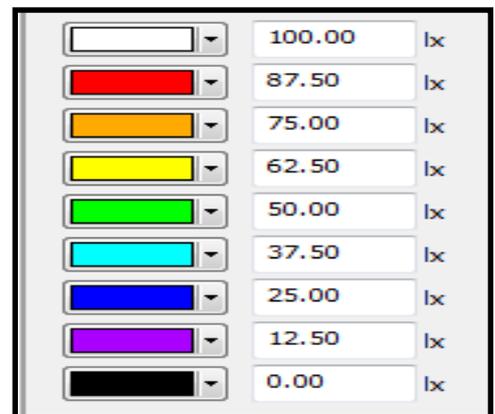
รูปที่ 3 แบบการจัดวางดวงโคมของถนนสายหลัก



a). โคมหลอดแบบฟลูออเรสเซนต์แบบปกติ



b). โคมหลอดแบบไดโอดเปล่งแสง



รูปที่ 4 รูปแบบการส่องสว่างของโคมส่องสว่างในถนนสายหลัก



จากการออกแบบโคมไฟทั้งถนนสายหลักและถนนสายรอง ค่าไฟฟ้าสามารถนำมาคำนวณได้ดังนี้  
ตารางที่ 1 รูปแบบการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างหลอดฟลูออเรสเซนต์กับหลอด  
ไดโอดเปล่งแสงบนถนนสายรอง

การดำเนินการ	KW-HR		Ft	Total
	09.00-22.00	22.00-09.00	(Baht)	(Baht)
โคมไฟส่องถนนแบบหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 5 หลอด				
ค่าพลังงานไฟฟ้า	8,660.00	17,320.00	25,980.00	
ค่าไฟฟ้า/หน่วย	2.6136	1.1726	0.6157	
รวม	22,633.77	20,309.43	31,991.77	58,938.80
โคมไฟส่องถนนแบบไดโอดเปล่งแสง จำนวน 17 หลอด				
ค่าพลังงานไฟฟ้า	2,794.80	5,589.60	8,384.40	
ค่าไฟฟ้า/หน่วย	2.6136	1.1726	0.6157	
รวม	7,304.40	6,554.36	5,162.27	19,021.03
ผลรวมค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้			39,917.77 บาท/วัน	



การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาการและเทคโนโลยี ครั้งที่ 1  
วันที่ 23 พฤษภาคม 2557 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

ตารางที่ 2 รูปแบบการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างหลอดฟลูออเรสเซนต์กับหลอด  
ไดโอดเปล่งแสงบนถนนสายหลัก

การดำเนินการ	KW-HR		Ft	Total
	09.00-22.00	22.00-09.00	(Baht)	(Baht)
โคมไฟส่องถนนแบบฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 10 หลอด				
ค่าพลังงานไฟฟ้า	17,320.00	34,640.00	51,960.00	
ค่าไฟฟ้า/หน่วย	2.6136	1.1726	0.6157	
รวม	45,267.55	40,618.86	31,991.77	117,877.63
โคมไฟส่องถนนแบบไดโอดเปล่งแสง จำนวน 22 หลอด				
ค่าพลังงานไฟฟ้า	3,616.80	7,233.60	10,850.40	
ค่าไฟฟ้า/หน่วย	2.6136	1.1726	0.6157	
รวม	9,452.86	8,482.11	6,680.59	24,614.70
ผลรวมค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ 93,262.93 บาท/วัน				



#### 4. อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม DIALux® ในการจำลองแสงสว่างให้เหมาะสมกับพื้นที่ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกชนิดของหลอดไฟให้เหมาะสมและสามารถพิจารณาแนวโน้มของต้นทุนค่าใช้จ่าย เช่น ค่าหลอดไฟหรือค่าไฟฟ้าได้ ทำให้สามารถนำผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้เป็นแนวทางก่อนลงมือติดตั้ง โคมไฟในพื้นที่จริง ในการศึกษาได้กำหนดขนาดของถนนไว้ 2 แบบ คือ ถนนสายรองและถนนสายหลัก หลังจากนั้นจึงทำการจัดวางรูปแบบดวงโคมระบบส่องสว่างของถนนทั้ง 2 แบบ ตามเกณฑ์ความสว่างที่กำหนดไว้ พบว่า การใช้โคมส่องสว่างแบบไดโอดเปล่งแสงในถนนจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าโคมส่องสว่างแบบหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีโซ่อยู่เดิม จากการคำนวณพบว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถประหยัดพลังงานได้ 44% ที่ถนนสายรอง โดยมีค่าความสว่างใช้งาน 13.0 lux ดังตารางที่ 1 และ สามารถประหยัดพลังงานได้ 25% ที่ถนนสายหลัก โดยมีค่าความสว่างใช้งาน 21.5 lux ดังตารางที่ 2 และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงในถนนสายรองจะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 13 วันและถนนสายหลักจะอยู่ที่ประมาณ 7 วัน

ตารางที่ 3 รูปแบบการเปรียบเทียบเงินลงทุนค่าชุดโคมส่วนถนนสายรอง

ชนิดของโคม	รายการ	ราคา/โคม	ราคา
Philips SGP338 GB 1xSON-T400W SGR CP P-A30	5	11,200	56,000
PHILIPS BGS451 1xECO45-2S/657 MSO	17	32,270	548,590
ผลต่างของราคาลงทุนค่าอุปกรณ์ดวงโคม			492,590
ผลต่างค่าไฟฟ้า (บาท/วัน)			39,917.77
ระยะเวลาคืนทุน (วัน)			12.34



ตารางที่ 4 รูปแบบการเปรียบเทียบเงินลงทุนค่าชุดโคมของถนนสายหลัก

ชนิดของโคม	รายการ	ราคา/โคม	ราคา
Philips SGP338 GB 1xSON-T400W SGR CP P-A30	10	11,200	112,000
PHILIPS BGS451 1xECO45-2S/657 MSO	22	32,270	709,940
ผลต่างของราคาลงทุนค่าอุปกรณ์ดวงโคม			594,940
ผลต่างค่าไฟฟ้า (บาท/วัน)			93,262.93
ระยะเวลาคืนทุน (วัน)			6.37

## 5. บทสรุป

จากการศึกษาพบว่าการใช้โปรแกรม DIALux® ในการจำลองแสงสว่างให้เหมาะสมกับพื้นที่ทำงานจะช่วยให้สามารถเลือกชนิดของหลอดไฟให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ใช้สอยและสามารถที่จะดูแนวโน้มของต้นทุนค่าใช้จ่ายได้ สำหรับในส่วนของในส่วนของโคมไฟส่องถนนสายรองเมื่อทำการเปลี่ยนมาใช้โคมไฟไดโอดเปล่งแสงจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 44% และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 13 วัน ในส่วนโคมไฟส่องถนนสายหลักเมื่อทำการเปลี่ยนมาใช้โคมไฟหลอดไดโอดเปล่งแสงจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 25% และมีระยะเวลาในการคืนทุน 7 วัน ดังนั้นในการออกแบบระบบส่องสว่างสำหรับถนนควรที่จะพิจารณาถึงความคุ้มค่า การวางตำแหน่งที่เหมาะสม ระยะเวลาการลงทุนและค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าเป็นสำคัญ



การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาการและเทคโนโลยี ครั้งที่ 1  
วันที่ 23 พฤษภาคม 2557 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

## 6. เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม.(2553). คู่มือปฏิบัติงานก่อสร้างทางกรมทางหลวงชนบท.

กรุงเทพมหานคร.

สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวงชนบท.(2555). คู่มือแนะนำการออกแบบงานไฟฟ้าแสง

สว่างและไฟสัญญาณจราจร.

กรุงเทพมหานคร

สภาวิศวกร.(2554).มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพเรื่องแนวทางการปฏิบัติ □านประสิทธิผลทาง

พลังงานของคอมไฟถนน.

พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร.

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล	นายพีศเดช ขุมเงิน
วัน เดือน ปีเกิด	10 กันยายน 2528
ประวัติการศึกษา	
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ระดับปริญญาตรี	สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยการอาชีพอินทร์บุรี ปีการศึกษา 2548 อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ระดับปริญญาโท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2550 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ปีงบประมาณ 2555
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	พีศเดช ขุมเงิน , กิตติพงศ์ แต่งพันธ์ และแก้วกันยา สูดประเสริฐ , 2557, “การพัฒนาการออกแบบและติดตั้งหลอดไดโอดเปล่งแสง บนถนน” การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาการและ เทคโนโลยี, ครั้งที่ 1, วันที่ 25 พฤษภาคม 2557 มหาวิทยาลัย นอร์ธเซียงไฮ้