



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (นวัตกรรมอาคาร)

ปริญญา

นวัตกรรมอาคาร

เทคโนโลยีทางอาคาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การพัฒนาหลังคาโลหะประกอบเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า

Development of a Modular Metallic Thermoelectric Roof Power Generator

นามผู้วิจัย

นายสมมาตร ละไข่มุข

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์โสภา วิศิษฎ์ศักดิ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(Professor Joseph Khedari, Ph.D.)

หัวหน้าสาขาวิชา

(อาจารย์โสภา วิศิษฎ์ศักดิ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาหลังคาโลหะประกอบเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า

Development of a Modular Metallic Thermoelectric Roof Power Generator

โดย

นายสมมาตร ละไข้อยู่

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการอาคาร)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมมาตร ละไขว้ 2556: การพัฒนาหลังคาโลหะประกอบเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อการ
ผลิตกระแสไฟฟ้า ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมอาคาร) สาขา
นวัตกรรมอาคาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาคาร อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์โสภา วิศิษฎ์ศักดิ์, Ph.D. 107 หน้า

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกประกอบหลังคาโลหะ เพื่อ
การผลิตกระแสไฟฟ้า โดยความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ชุดทดสอบประกอบด้วย (Solar
collector) หลังคาโลหะ (พ่นสีดำ) ขนาด 0.70×0.70 ซม.². อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า
(Thermoelectric Generator) ที่ประกอบด้วย แผ่นทองแดงขนาด 20×12 ซม.² เทอร์โมอิเล็กทริก
จำนวน 4 หน่วย ต่อกุญแจจำนวน 1 ชุด, แผงอลูมิเนียม (heat sink) และพัดลมระบาย (DC
Fan)

การทดลองกำหนดให้การระบายของหลังคาโลหะ(พ่นสีดำ) และอุปกรณ์ผลิต
กระแสไฟฟ้ามีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ และการใช้พัดลม ในการระบายอากาศโดย
ธรรมชาติ วัดผลแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อน และด้านเย็น (Delta-T) ได้ 12°C (เฉลี่ย 8.6°C)
และวัดได้สูงสุดถึง 27°C (เฉลี่ย 16°C) ในการระบายอากาศด้วยพัดลม โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้า
เฉลี่ยได้เท่ากับ 0.12 V ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟได้ ส่วนการนำไปใช้ประโยชน์และเป็นพลังงาน
ทางเลือกในงานสถาปัตยกรรม ควรมีการออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์ เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้า
มากขึ้นต่อไป

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sommart Labaiyusoh 2013: Development of a Modular Metallic Thermoelectric Roof Power Generator. Master of Architecture (Building Innovation),
Major Field: Building Innovation, Department of Technology Building.
Thesis Advisor: Miss Sopa Visitsak, Ph.D. 107 pages.

This paper presents the application of thermoelectric devices in metal roof for the production of electricity (MTR-PG) by heat radiation from the sun. Test set (Solar collector) consists of a 70x70 cm black metal roof and a power generation equipment (Thermoelectric Generator) with a 20x12 cm copper sheet, 4 units of thermoelectric per serial number, an aluminum plate (heat sink) and a DC Fan.

The metal roof and the power generator equipment are cooled both naturally and by the use of a cooling fan. In natural ventilation, the temperature differences between the hot and the cold sides (Delta-T) are 12 ° C (average 8.6 ° C) and up to 20-27 ° C (average 16 ° C) with the cooling fan. The average voltage is 0.12 V, which can generate electricity. In the utilization of alternative energy for architecture, the equipment requires further development.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการทำโครงการวิจัยครั้งนี้ ได้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.โสภา วิศิษฎ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจสอบข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์.ดร.โจเซฟ เคดารี (Professor Joseph Khedari, Ph.D.) อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม, ดร. ณรงค์ วัชรเสถียร วิศวกรระดับ 7 ฝ่ายบริหารงานวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, คณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขานวัตกรรมอาคาร เจ้าหน้าที่และบุคลากรคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาคำแนะนำข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ตลอดจน ขอขอบคุณเพื่อนๆ, สาขานวัตกรรมอาคาร รุ่น 7 ที่ได้ช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ด้วยประโยชน์อันใด เนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ และผู้มีอุปการะคุณ

สมมาตร ละไข่มุณี

มีนาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	51
ผล	51
วิจารณ์	66
สรุปและข้อเสนอแนะ	69
สรุป	69
ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	74
ภาคผนวก	77
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบคุณสมบัติตัวทดลองชุดการทดลองที่ 1-3	78
ภาคผนวก ข ข้อมูลคุณสมบัติ เครื่องมือวัดผล และอุปกรณ์ที่นำมาทดลอง	91
ภาคผนวก ค ข้อมูลสภาวะอากาศประเทศไทยในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง เดือนเมษายน และเดือนสิงหาคม, 2555.	102
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	107

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	19
2	51
3	54
4	57
5	63
ตารางผนวกที่	
ก1	79
ก2	84
ก3	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
ก4	ผลการทดลองที่ 3 ค่าอุณหภูมิ ของหลังคาโลหะ(สีดำ)และการ แสดงผล ความแตกต่างอุณหภูมิที่ได้มีการพัฒนา การระบาย อากาศโดยใช้ พัดลมDC Fan พร้อมการวัดผล แรงดันไฟฟ้า ในช่วง เวลาที่สู่มวัด ในเวลาต่างๆ ระหว่างวันที่ 22-24 สิงหาคม 2555	88

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ศักยภาพพลังงานทดแทนในประเทศไทย	2
2 Solar Power การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า	3
3 ลักษณะอุปกรณ์Thermoelectric Module	4
4 แนวคิดการผลิตกระแสไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก	4
5 สัดส่วนรังสีอาทิตย์ที่ตกบนโลก	8
6 แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นเอียงและพื้นราบ	10
7 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	11
8 ลักษณะการรับความร้อนและแผ่ความร้อนของวัตถุ	12
9 ศักยภาพแสงอาทิตย์ต่อทวีปเอเชีย	14
10 ศักยภาพการได้รับแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	15
11 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริก	16
12 วงจรการทำงานระบบ Peltier Effect, Seebeck Effect	17
13 ส่วนประกอบอุปกรณ์เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก	17
14 เซลล์แสงอาทิตย์และการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้	23
15 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ Solar Cell	24
16 การนำพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อผลิตน้ำร้อน Solar Thermal	25
17 วัสดุทำกล่องทดลอง	29
18 อุปกรณ์ผลิตตัวทดลอง	31
19 เครื่องวัดและอุปกรณ์วัดผลการทดลอง	32
20 ส่วนประกอบหลังคาในชุดทดลองที่ 1	33
21 ส่วนประกอบหลังคาในชุดทดลองที่ 2	34
22 ส่วนประกอบหลังคาในชุดทดลองที่ 3	34
23 การออกแบบชุดทดลองตามหลักการ Seebeck Coefficient	35
24 ขั้นตอนเตรียมวัสดุ ชุดทดลอง	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
25 การประกอบอุปกรณ์ตัวทดสอบ	37
26 การประกอบหลังคาโลหะ ชูรับความร้อน	39
27 แบบร่างต้นแบบกล่องทดสอบส่วรับและเก็บความร้อน	40
28 การประกอบกล่องทดลอง	40
29 การทดสอบอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	41
30 การวางตำแหน่งกล่องทดสอบ	42
31 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด	42
32 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด a1	43
33 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด b1	43
34 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด c	44
35 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดชุดทดลองที่ 2	45
36 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด a1, a2	45
37 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด b1	46
38 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด c การทดลองที่ 2	47
39 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ และแรงดันไฟฟ้า ชุดทดลองที่ 3	48
40 จุดติดตั้ง (a1) แผ่นหลังคาโลหะพื้นสีดำ	48
41 กราฟแสดงผลการตรวจวัดการทดลองที่ 1 ระหว่าง วันที่ 21-23 เมษายน 2555	53
42 กราฟแสดงผลการตรวจวัดการทดลองที่ 2 ระหว่างวันที่ 12-15 สิงหาคม 2555	56
43 กราฟแสดงผลการตรวจวัดการทดลองที่ 3 ระหว่างวันที่ 22-24 สิงหาคม 2555	62
44 แนวทางการนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปปรับปรุงเพื่อใช้งาน	72
45 แนวความคิดในการนำไปออกแบบประกอบอาคารโรงงาน	73
ภาพผนวกที่	
ข1 รายละเอียด เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า Digital Multimeter UN-902A	92

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
ข2	รายละเอียด เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า Digital Multimeter UN-902A	94
ข3	เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล รุ่น TEC1-12710S	95
ข4	พัดลมระบายกระแสตรงDc Fan รุ่น DF121225BH	96
ข5	ซิลิโคนช่วยในการแผ่ความร้อนSilicone Heat Transfer Compound	98
ข6	หลังคาเหล็ก Metal Sheet	99
ข7	แผ่นฉนวนกันความร้อน PU และ PE FORM	101

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	Area พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ
Btu	=	British Thermal Unit
Btu.in/ft ² h°F	=	British Thermal unit inch per square foot hour – degree Fahrenheit
Btu/hr	=	British Thermal Unit per hour
C	=	Conductance
Cal/g-°C	=	Calorie per gram per Degree Celsius
Co ²	=	คาร์บอนไดออกไซด์ carbon dioxide
E	=	Electricity
°C	=	องศาเซลเซียส Degree Celsius
°f	=	องศาฟาเรนไฮต์ Degree Fahrenheit
f	=	ค่าความถี่คลื่น Frequency
Hz	=	ค่าวัดความถี่ Hertz
J/kg.K	=	Joule (s) per Kilogram – Kelvin
K	=	Heat Transfer coefficient สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
l	=	ความยาวคลื่น Wave Length
m ²	=	พื้นที่ ตารางเมตร Square meter
MJ/m ²	=	Mega Joule(s) per square meter
mm	=	มิลลิเมตร millimeter
nm	=	Nanometer
OTTV	=	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง Overall Thermal Transfer Value
PU	=	Polyurethane
PV	=	Photovoltaic
Q	=	Heat gain
R	=	Thermal Resistance
raf	=	ค่าการสะท้อน Reflectance

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

RTTV	=	ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา Roof Thermal Transfer Value
S	=	Specific heat capacity of the material
TE	=	เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล Thermoelectric Module
TEC	=	Thermoelectric cooler
TEG	=	Thermoelectric generator
Tr	=	Transmittance
V	=	Voltage ค่าแรงดันไฟฟ้า
W/m°C	=	Watt(s) per meter – degree Celsius
W/hr	=	Watt per Hour
W/m ²	=	หน่วยวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ Watt per square meter
Wm/m.K	=	Watt(s) per meter - Kelvin
X	=	Thickness of material
ΔT	=	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิ ระหว่างภายใน และภายนอก difference between the Dry-Bulb and Wet-Bulb Temperatures
ϵ	=	Emissivity สัมประสิทธิ์การคายความร้อน

การพัฒนาหลังคาโลหะประกอบเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า

Development of a Modular Metallic Thermoelectric Roof Power Generator

คำนำ

ความสำคัญและที่มา

แหล่งพลังงานบนโลกที่มนุษย์นำมาเป็นพลังงานเริ่มต้นสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน อาทิเช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ลิกไนต์ ก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป และมีต้นทุนในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงซึ่งบางครั้งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศ นอกจากนี้ยังมีการปลดปล่อยสารพิษจากขบวนการและขั้นตอนการผลิต เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO₂) สู่บรรยากาศโลก ส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก และสภาวะโลกร้อน นอกจากนี้การตื่นตัวในสถานการณ์สภาวะโลกร้อน และวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานในอนาคต ทำให้มนุษย์หันกลับมาใส่ใจ และหาหนทางที่จะคิดค้น พัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนจากพืช หรือจากพลังงานที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติรอบตัวกันมากขึ้น เช่น พลังงานลม (wind energy) พลังงานน้ำ (water energy) พลังงานใต้พื้นพิภพ (geothermal energy) พลังงานปรมาณู (atomic energy) หรือแม้กระทั่งพลังงานแสงอาทิตย์ (solar energy) (กระทรวงพลังงาน, 2555) แหล่งพลังงานใหญ่ที่สุด มีพลังงานมหาศาล อาทิเช่น พลังงานแสงสว่างและรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ล้วนมีความสำคัญ และมีประโยชน์มหาศาลตลอดจนสามารถนำมาแปรเปลี่ยน เป็นกระแสไฟฟ้าได้ เช่นกัน

จากนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมให้มีการพัฒนาและใช้พลังงานทดแทน ทำให้กระทรวงพลังงานได้กำหนดยุทธศาสตร์แผนพัฒนาพลังงานทดแทน พ.ศ. 2551-2556 ซึ่งมีเป้าหมายให้การ
ใช้พลังงานทดแทนชดเชยการนำเข้าน้ำมัน (พ.น., 2554) แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีศักยภาพด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 50,000 เมกะวัตต์แต่มีการนำมาใช้เพียง 32 เมกะวัตต์ส่วนความร้อนที่ได้

จากแสงอาทิตย์มีอยู่ถึง 154 Ktoe แต่นำมาใช้เพียง 1 Ktoe เป้าหมายในการนำแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า และความร้อน ในปี พ.ศ. 2560-2565 มีถึง 500 เมกะวัตต์ และ 38 Ktoe (ภาพที่ 1) จึงถือว่าแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานระดับต้นที่เป็นเป้าหมายในการนำมาเป็นพลังงานทดแทน ประกอบกับมีความต้องการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูงขึ้นทุกปี โดยข้อมูลความต้องการการใช้ไฟฟ้าภาคครัวเรือนในช่วงปี พ.ศ. 2552-2553 มีอัตราที่เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 8.91 % จากสถิติความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดรายเดือน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2555) และช่วงเดือนที่มีความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของปีคือ เดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม ซึ่งสาเหตุจากเป็นช่วงฤดูร้อน ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้น และคิดว่าเป็นปัญหานั้นควรพิจารณานำมาแปรเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

ประเภทพลังงาน	ศักยภาพ เมกะวัตต์	existing เมกะวัตต์	พ.ศ. 2551-2554		พ.ศ. 2555-2559		พ.ศ. 2560-2565	
			เมกะวัตต์	ktoe	เมกะวัตต์	ktoe	เมกะวัตต์	ktoe
แสงอาทิตย์	50,000	32	55	6	95	11	500	56
พลังงานลม	1,600	1	115	13	375	42	800	89
ไฟฟ้าพลังน้ำ	700	56	165	43	281	73	324	85
ชีวมวล	4,400	1,610	2,800	1,463	3,220	1,682	3,700	1,933
ก๊าซชีวภาพ	190	46	60	27	90	40	120	54
พลังงานขยะ	400	5	78	35	130	58	160	72
ไฮโดรเจน			0	0	0	0	3.5	1
รวม		1,750	3,273	1,587	4,191	1,907	5,608	2,290
พลังงานความร้อน	ktoe	ktoe		ktoe		ktoe		ktoe
แสงอาทิตย์	154	1		5		17.5		38
ชีวมวล	7,400	2,781		3,660		5,000		6,760
ก๊าซชีวภาพ	600	224		470		540		600
พลังงานขยะ		1		15		24		35
รวม		3,007		4,150		5,582		7,433
เชื้อเพลิงชีวภาพ	ล้านลิตร/วัน	ล้านลิตร/วัน	ล้านลิตร/วัน	ktoe	ล้านลิตร/วัน	ktoe	ล้านลิตร/วัน	ktoe
เอทานอล	3.00	1.24	3.00	805	6.20	1,686	9.00	2,447
ไบโอดีเซล	4.20	1.56	3.00	950	3.64	1,145	4.50	1,415
ไฮโดรเจน			0	0	0	0	0.1 ล้าน กก.	124
รวม			6.00	1,755	9.84	2,831	13.50	3,986
ความต้องการใช้พลังงานรวม (ktoe)		66,248		70,300		81,500		97,300
ความต้องการใช้พลังงานหมุนเวียน		4,237		7,492		10,319		13,709
สัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียน		6.4%		10.6%		12.7%		14.1%
ก๊าซ NGV (mmscfd)		108.1	393.0	3,469	596	5,260	690	6,090
(ktoe)				10,961		15,579		19,799
สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน				15.6%		19.1%		20.3%

ภาพที่ 1 ศักยภาพพลังงานทดแทนในประเทศไทย

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2554)

การนำแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้ามีด้วยกันหลากหลาย เช่น แผงโซลาร์เซลล์ และหอคอยแดด (solar tower)(ภาพที่ 2) หรือการนำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (ภาพที่ 3) ที่สามารถเปลี่ยนความร้อนเป็นกระแสไฟฟ้า เมื่อศึกษาส่วนประกอบอาคารจะพบว่าความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์สะสมที่

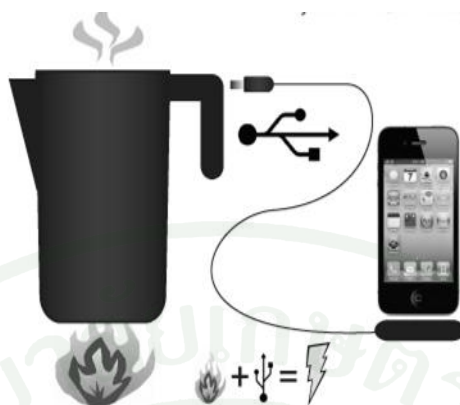
ส่วนประกอบของอาคารหลายส่วนและหลังคาเป็นส่วนที่รับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด โดยขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของวัสดุผนังหลังคา รูปทรงของหลังคา ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นที่หลังคาหากมีการนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทน อาทิเช่น การสร้างห้องอบความร้อน ห้องอบสินค้าเกษตรหรือ การนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ ในการปรับปรุงหลังคา เพื่อให้การผลิตกระแสไฟฟ้า จากความร้อนที่หลังคาให้มีประสิทธิภาพจึงต้องอาศัยข้อมูลและปัจจัยในด้านต่างๆ อาทิเช่น รูปทรงหลังคา องศาการรับรังแสงอาทิตย์ วัสดุชนิดหลังคา พื้นผิวและสีหลังคา รวมถึงการกำหนดที่ตั้งตำแหน่งหลังคาของตัวอาคาร ฯลฯ

มีงานวิจัยที่มีการนำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ประกอบกับอุปกรณ์รวบรวมแสงอาทิตย์ ติดตั้งใต้หลังคาคอนกรีตเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และนำไปใช้กับพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อน ลดอุณหภูมิใต้หลังคา (สมชายและคณะ, 2548) และการรวมรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านอุปกรณ์ชุดทดลองที่มีเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นส่วนประกอบซึ่งมีผลทำให้ได้กระแสไฟฟ้า เพื่อการระบายความร้อนใต้หลังคา (ธนากร, 2553) นอกจากนี้ยังมีการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ (ณรงค์, 2548) อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่พบ ยังไม่มีการพัฒนานำความร้อนจากหลังคาโลหะ ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้กันอยู่แพร่หลายและยังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง มาศึกษาเพื่อนำความร้อนจากหลังคาชนิดนี้มาใช้ประโยชน์ ซึ่งในอนาคตผู้บริโภคมีแนวโน้มให้ความนิยมนำมาใช้มากขึ้น ด้วยเหตุผลในเรื่อง ราคา ความสะดวกรวดเร็วในการติดตั้ง โดยเฉพาะอาคารที่มีพื้นที่หลังคาปริมาณมาก เช่น อาคารโรงงาน ฯลฯ



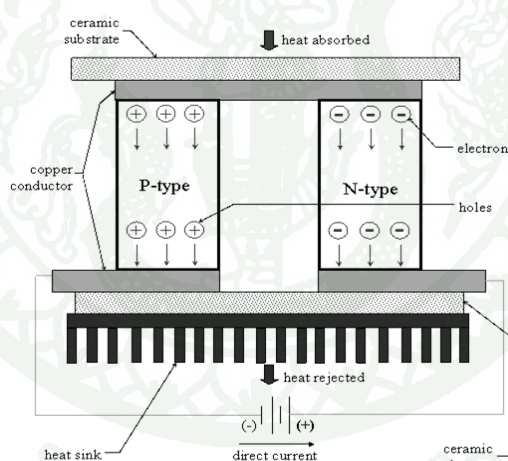
ภาพที่ 2 Solar Power การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า

ที่มา: University of Bath, Pol Solé Estiu, (2009)



ภาพที่ 3 ลักษณะการนำอุปกรณ์ Thermolectric Module ไปใช้ชาร์จแบตเตอรี่มือถือ

ที่มา: Inventor Web, Veshapidze (2012).



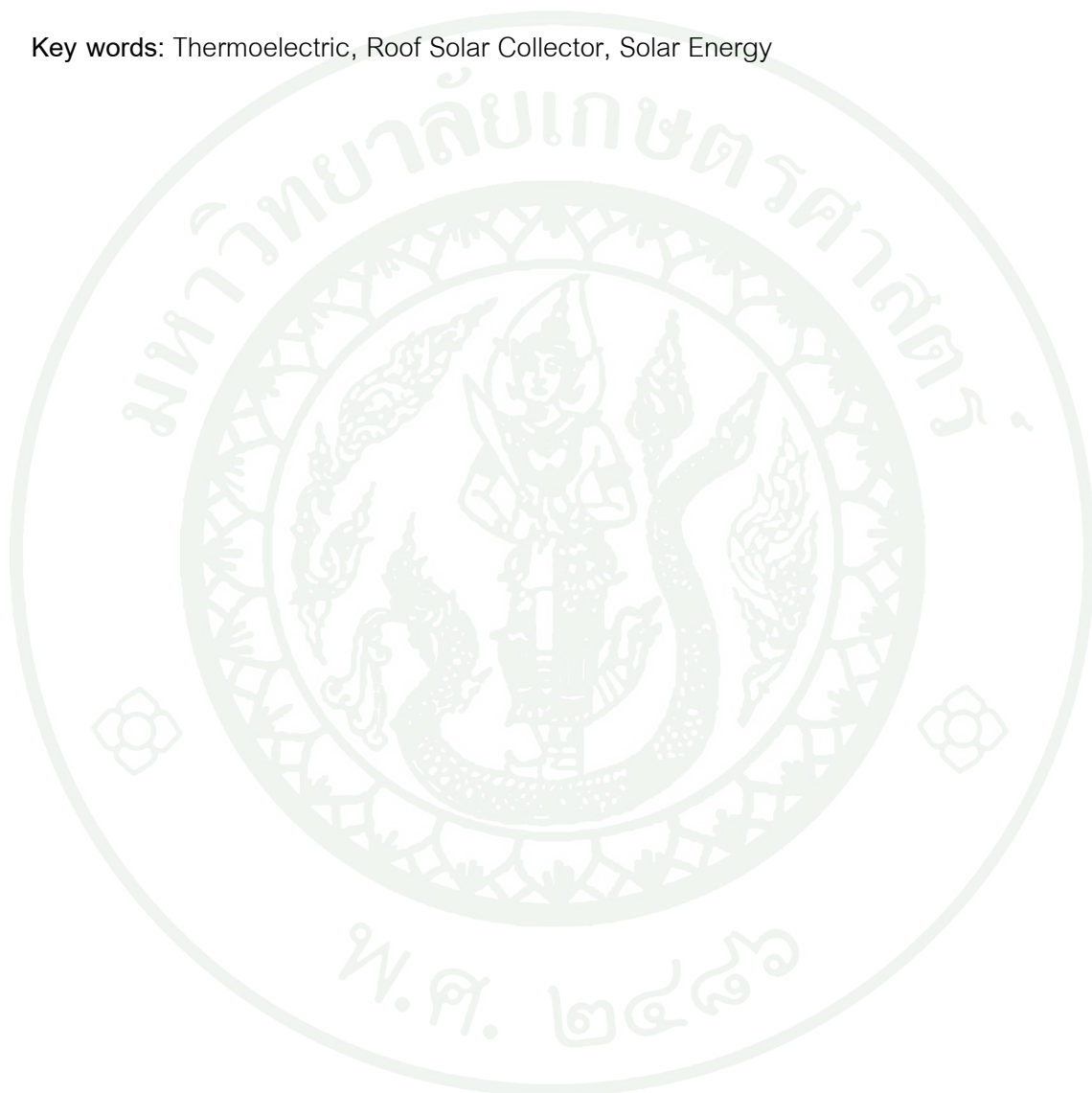
ภาพที่ 4 ลักษณะแนวคิดการผลิตกระแสไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก

ที่มา: Shenzhen Wellen Technology Co.,Ltd (2010).

จากเหตุผลทั้งในเรื่องพลังงานทดแทนและปัญหาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านหลังคาหลังสู่ภายในอาคาร ที่เป็นปัญหาซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์โดยการเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ในลักษณะเป็นพลังงานทดแทน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนา

หลังคาโลหะ ประกอบกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (TE) เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับเป็นแนวทางในการนำไปออกแบบอาคารและ ระบบประกอบอาคาร ที่ต้องการใช้เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อให้ได้ประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทน ต่อไป

Key words: Thermoelectric, Roof Solar Collector, Solar Energy



วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนา หลังคาโลหะ ประกอบอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากหลังคาโลหะประกอบอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก
3. เพื่อเป็นแนวทาง ในการนำไปใช้ออกแบบพัฒนา หลังคาผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับอาคาร

การตรวจเอกสาร

ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

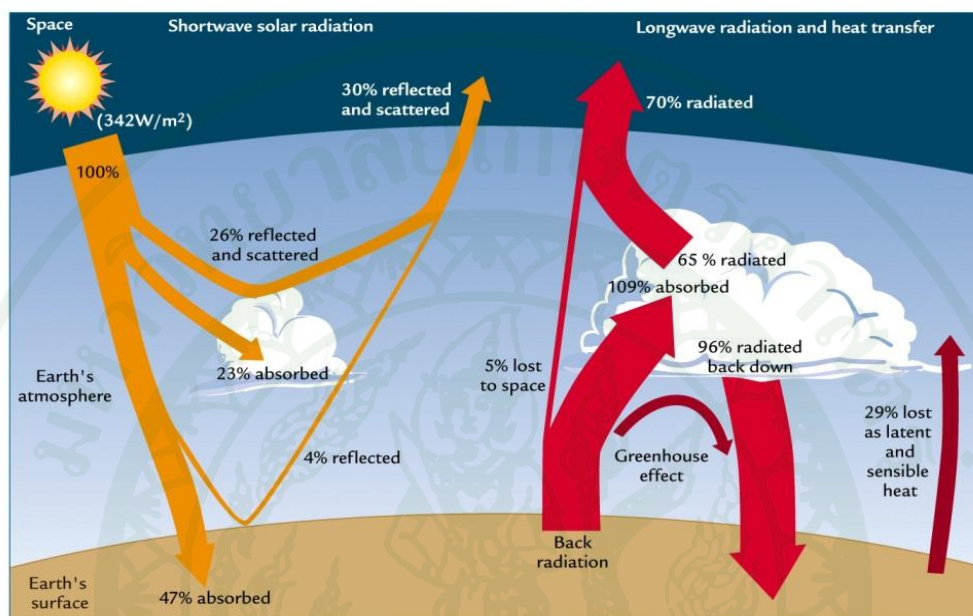
โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงการทดลอง เพื่อเป็นแนวทาง ในการนำไปปรับใช้ในส่วนที่เป็นประโยชน์ ในการออกแบบชิ้นงานทดลอง การเลือกวัสดุ อุปกรณ์ผนวก การศึกษาการรับความร้อนในส่วนหลังคา และการนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)
2. ศักยภาพการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย
3. เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Module)
4. คุณสมบัติการถ่ายเทและรับความร้อนของวัสดุ
5. การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พลังงานแสงอาทิตย์(Solar Energy)

ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในระบบสุริยจักรวาล และถือว่ามีอิทธิพลและความสำคัญมากที่สุด การหมุนรอบตัวเองของโลกที่มีดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางยังก่อให้เกิดกระแสลม การเกิดฝน การเกิดกระแสน้ำในทะเลและมหาสมุทร การเกิดชีวมวล และการปลดปล่อยพลังงานในรูปของพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อน (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523) ยังประโยชน์มหาศาลต่อโลกและสิ่งมีชีวิต โลกจะได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยการแผ่รังสีซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้น ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ช่วงความยาวคลื่น 0.2-3 ไมครอน(ไมโครเมตร) ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกได้รับเพียง 24 หน่วยจาก 100 หน่วยเท่านั้น (ธาดา และคณะ, 2547) โดยพลังงานความร้อนที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์แผ่ลงมา ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นรูปแบบหนึ่งการถ่ายเทพลังงาน จากแหล่งที่มีพลังงานสูงแผ่รังสีออกไปรอบๆ โดยมีคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ ความยาวคลื่น (λ) โดยอาจวัดเป็น นาโนเมตร (nm) หรือ ไมโครเมตร (mm) และ ความถี่คลื่น (f) ซึ่งจะวัดเป็น

hertz (Hz) โดยคุณสมบัติทั้งสองมีความสัมพันธ์ผ่านค่าความเร็วแสง ในรูป $c = f\lambda$ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



ภาพที่ 5 สัดส่วนรังสีอาทิตย์ที่ตกบนโลก

ที่มา: Sonoma State University Illustrations from Ruddiman, (2001).

ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ มีปรากฏในหนังสือและเอกสารวิชาการมากมายทั้งในและต่างประเทศ เช่น Solar Energy (Thomas Herzog, 1996), Sol Power (Sophia and Stefan Behling, 1996), (Duffie and Beckman, 1991) ดังนี้

1.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) หมายถึง รังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นผิวโลก ซึ่งบางส่วนถูกดูดกลืนไว้ เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน และบางส่วนถูกสะท้อนออกสู่อวกาศ โดยปกติแล้วการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หรือค่าคงตัวสุริยะ (Solar Constant) ที่ตกลงพื้นผิวโลกในแนวตั้งฉาก โดยมีค่าคงตัวสุริยะ อยู่ที่ค่าเฉลี่ย 1370 วัตต์/ตรม. และเมื่อถึงพื้นผิวโลกจะลดลงเหลือ 1000 วัตต์/ตรม. เนื่องจากสูญเสียพลังงานเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลก ในรูปของการกระจาย สะท้อนกลับ และการดูดกลืนของวัตถุบนโลก (ภาพที่ 5)

รังสีความร้อนที่เกิดขึ้นแบ่งได้จาก ความเข้มของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ (รังสีคลื่นสั้น Short-Wave) และรังสีความร้อนจากวัตถุ (รังสียาวคลื่น Long-Wave) ความร้อนส่วนใหญ่มากกว่าครึ่งที่มาจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบโครงสร้างหรือเปลือกอาคาร เช่น ผนังภายนอก หลังคา และก่อให้เกิดความร้อนสะสมในอาคาร

1.2 ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) ที่จะมีปริมาณความเข้มของรังสีนั้นมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งอัตราความเข้มขึ้นของรังสีดวงอาทิตย์จะแปรเปลี่ยนไปตาม มุมตกกระทบ และระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก การแผ่รังสีดวงอาทิตย์มี ลักษณะดังนี้

รังสีตรง (Direct Radiation) เป็นรังสีที่ตกกระทบโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แนวตั้งฉากจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1300-1400 วัตต์/ตรม.

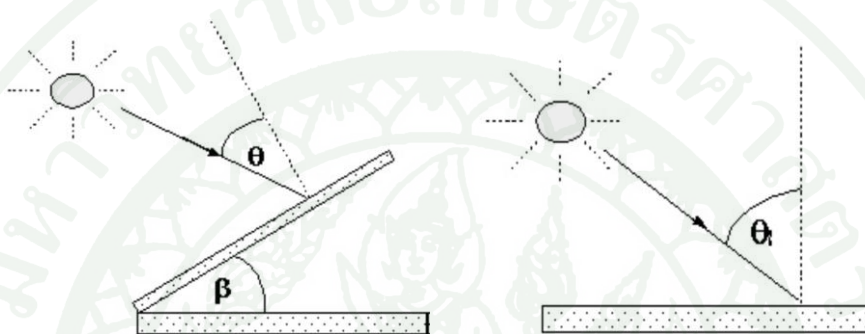
รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีที่ถูกส่งผ่านตัวกลาง อาทิ เช่น เมฆ ไอน้ำ และฝุ่นละอองในอากาศ

รังสีสะท้อน (Reflect Radiation) เป็นรังสีที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์สะท้อนกลับจากการตกกระทบพื้นผิวต่างๆ (Albedo) เช่น น้ำ 2-10%, หิมะ 75-95%, หิมะเก่า 45-85%, หญ้า 16-26%, ทะเลทราย 25-30% ลักษณะการรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นโลกมีดังนี้

1.2.1 รังสีอาทิตย์ที่ตกผ่านชั้นบรรยากาศรังสีอาทิตย์ขณะที่ตกมายังพื้นผิวโลกบางส่วนจะถูกดูดกลืน บางส่วนสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ และบางส่วนมีการกระจายตัวไปทุกทิศทุกทางเป็นรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) ทำให้ค่ารังสีตรง (Direct Beam Radiation) ตกที่พื้นผิวโลกน้อยลง รังสีรวม (Global Radiation) จะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายที่มาจากก้อนเมฆและแอโรซอลหรือฝุ่นละออง

1.2.2 รังสีอาทิตย์ที่ตกบนพื้นราบ ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนพื้นราบเมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศโลกในแต่ละวันจากดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงดวงอาทิตย์ตก

1.2.3 รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นเอียง ในการคำนวณเกี่ยวกับรังสีอาทิตย์จะต้องใช้เวลาสุริยะ (Solar Time) ซึ่งมีค่าแตกต่างจากเวลาท้องถิ่น (Standard Time) ตำแหน่งดวงอาทิตย์กำหนดด้วยค่ามุมชั่วโมง (Hour angle) การโคจรของดวงอาทิตย์ใน 1 องศา มุมตกกระทบ จะใช้เวลา 4 นาที หรือ 15 องศาใน 1 ชั่วโมง ช่วงบ่ายจะมีค่าบวก (+) ช่วงเช้าจะมีค่าลบ (-) (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550)



ภาพที่ 6 แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นเอียงและพื้นราบ

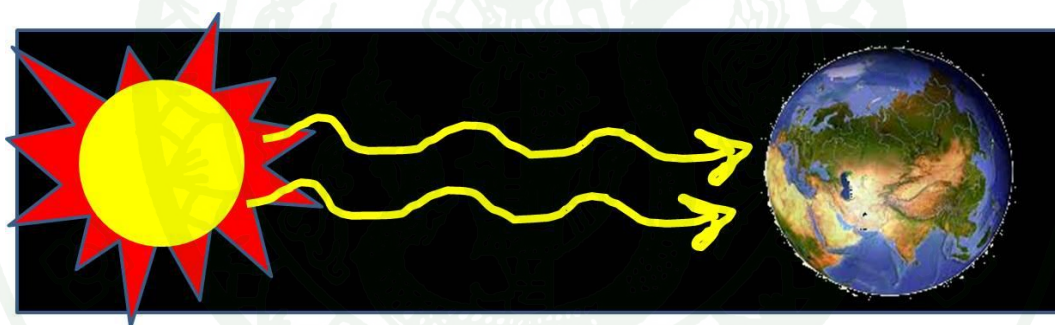
ที่มา: สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2550)

ลักษณะวงโคจรของดวงอาทิตย์และการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน นำไปสู่การพิจารณากำหนดความลาดชันหลังคาและตำแหน่ง ชุดทดลอง

1.3 การแลกเปลี่ยนความร้อนและถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) การที่รังสีของดวงอาทิตย์ส่งผลต่อการรับและส่งถ่ายพลังงานความร้อนของพื้นดินและพื้นน้ำเมื่อโลกได้รับพลังงานความร้อน จากดวงอาทิตย์ แต่พื้นผิวโลกมีทั้งส่วนที่เป็นพื้นดินประมาณ (148,940,000 ตรกม.) คิดเป็น 29 % และพื้นน้ำประมาณ (361,132,000 ตรกม.) คิดเป็น 71% จึงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างพื้นดินกับพื้นน้ำนั่นก็คือ ความสามารถในการรับและคายความร้อนระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เมื่อโลกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ พื้นดินจะร้อนได้เร็วและร้อนได้มากกว่าพื้นน้ำ แต่เมื่อเกิดการคายความร้อน พื้นดินจะคายความร้อนได้ดีกว่าพื้นน้ำ ก็เนื่องจาก ความร้อนจำเพาะของน้ำสูงกว่าพื้นดิน ดังนั้นเมื่อดินและน้ำได้รับพลังงานความร้อนในปริมาณที่เท่ากันน้ำจะร้อนได้ช้ากว่าดิน เช่น ถ้าน้ำมีความร้อนจำเพาะเป็น 1 ส่วน ดินจะมีความ

ร้อนจำเพาะน้อยกว่า 0.5 กลไกการถ่ายเทความร้อนจำแนกได้ 3 ชนิด (Duffie and Beckman, 1991) คือ

1.3.1 การแผ่รังสีความร้อน (Heat Radiation) เป็นกระบวนการที่ถ่ายเทความร้อน ออกรอบตัวโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เช่นการที่ดวงอาทิตย์ส่งผ่านพลังงานความร้อนมายังโลกโดยตรง วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า -273°C หรือ 0 K (องศาเคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว เปรียบเทียบได้กับการที่หนึ่งโกลด์ของไฟ จะรู้สึกได้ถึงการแผ่รังสีความร้อนจากกองไฟมาสู่ร่างกายโดยตรง ทำให้ร่างกายรู้สึกอบอุ่น เป็นต้น ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ 4 ลักษณะ อาทิ การส่งผ่าน Transmittance (tr), การดูดกลืนหรือดูดซับรังสี Absorbance (abs), การสะท้อน Reflectance (raf) และการคายออกหรือปล่อยออก Exothermic (exo)



ภาพที่ 7 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

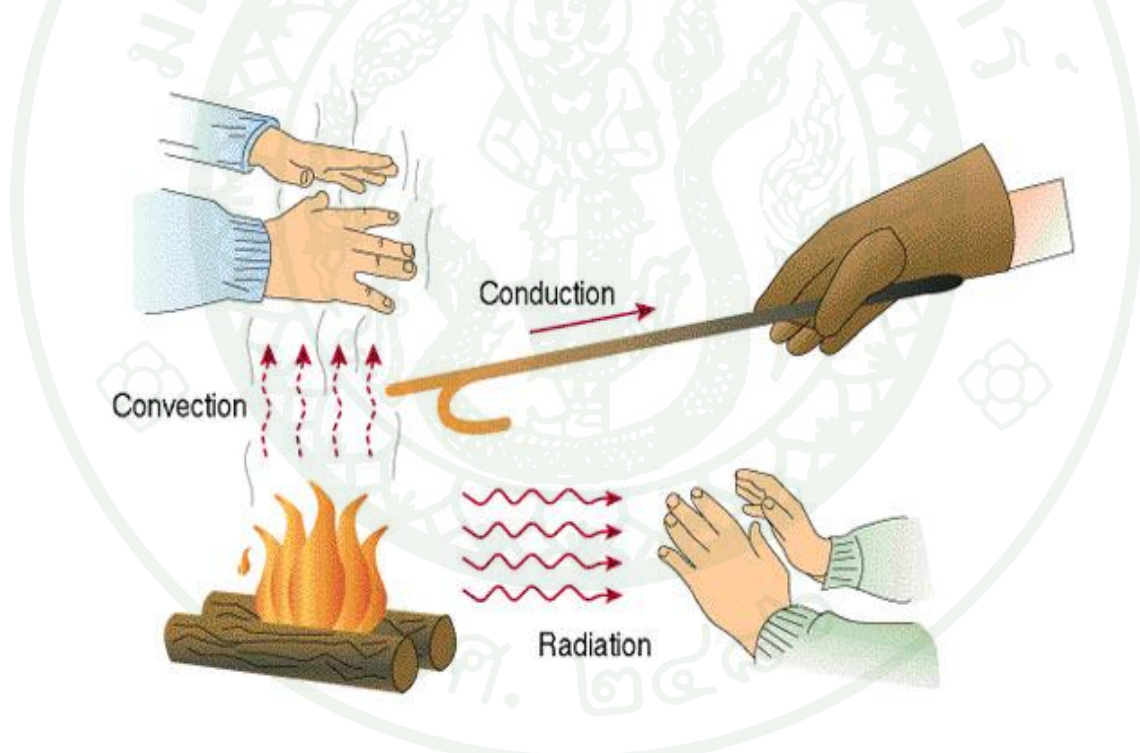
ที่มา: AOSwisc.edu (2010)

ในกรณีที่โลกได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ วัตถุก็จะรับดูดซับความร้อนนั้นและบางส่วนสะท้อนสู่บรรยากาศ และ ความร้อนที่สะสมไว้ก็จะคายความร้อนออกสู่ชั้นบรรยากาศเพื่อรักษาสมดุลทางอุณหภูมิ

1.3.2 การนำความร้อน (Conduction) เป็นลักษณะของการถ่ายโอนความร้อนตามโมเลกุลที่อาศัยตัวกลางของวัตถุ หรือเกิดจากการสัมผัสกันของวัสดุโดยตรง เช่น เมื่อเราเติมน้ำ

ร้อนลงไปในตัวกาแฟ ตัวกาแฟจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องมาจากการนำความร้อนของน้ำร้อนผ่านโมเลกุลของน้ำไปยังตัวกาแฟจึงทำให้ตัวกาแฟมีอุณหภูมิสูงขึ้น

1.3.3 การพาความร้อน (Convection) เป็นกระบวนการเคลื่อนที่ของความร้อนจากที่หนึ่งไปหรือเรียกว่าการเปลี่ยนสถานะเป็นของไหล(Fluid)ไปยังอีกที่หนึ่งที่ต้องอาศัยตัวกลางเป็นสื่อในการพาความร้อน โดยความร้อนเคลื่อนที่ไปกับโมเลกุลของวัตถุ เช่น การต้มน้ำในกาจะค่อยๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำจนกลายเป็นไอ ซึ่งมีความร้อนสูงและลอยขึ้นข้างบน ส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะเคลื่อนที่ลงล่างหมุนเวียนกันไป การพาความร้อนในบรรยากาศของโลกมีส่วนช่วยให้ความร้อนกระจายจากบริเวณศูนย์สูตร ไปยังขั้วโลก และจากบริเวณผิวพื้นขึ้นไปในแนวตั้ง หรือไปในแนวผิวพื้นซึ่งเราเรียกว่าลม เป็นต้น



ภาพที่ 8 ลักษณะการแผ่ความร้อนของวัตถุ (Heat Transfer)

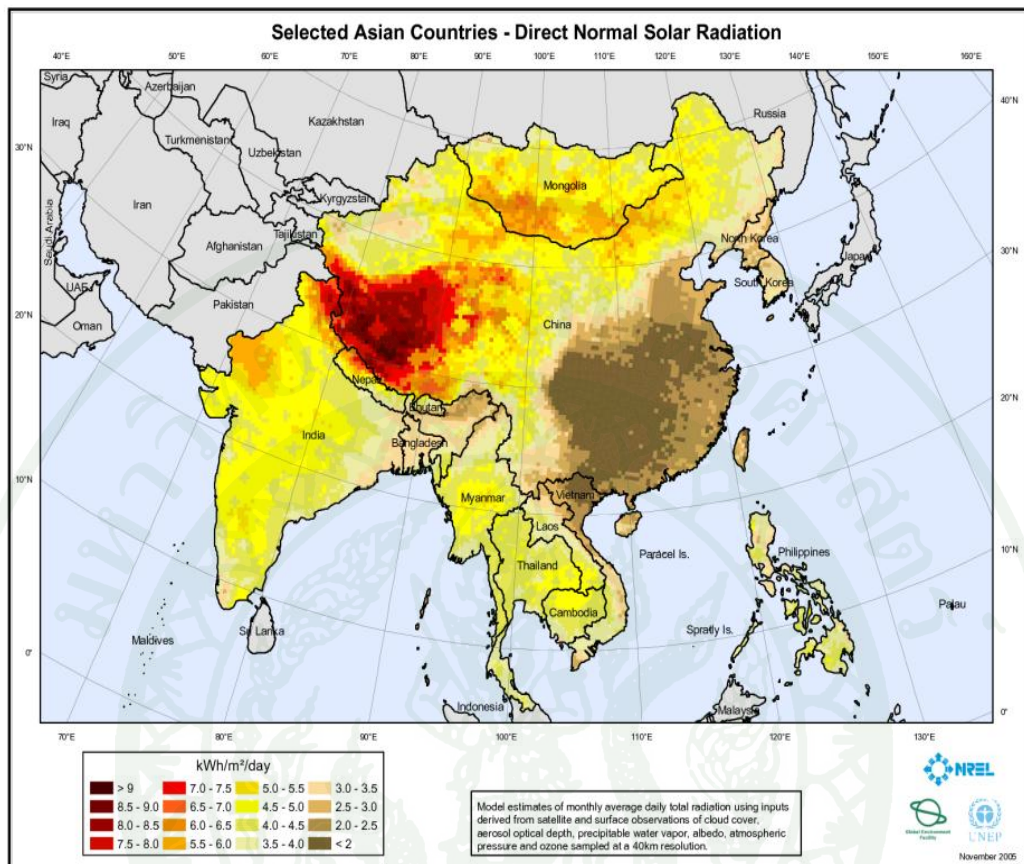
ที่มา: Roaster Project (2010)

งานวิจัยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ในประเด็น การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ เพื่อทราบศักยภาพพื้นฐานของดวงอาทิตย์ ลักษณะการแผ่รังสี การตกกระทบวัตถุของรังสีดวงอาทิตย์

เพื่อกำหนดเป็นกรอบความคิดงานวิจัย รวมถึงลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนของวัตถุในธรรมชาติ

2. ศักยภาพการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

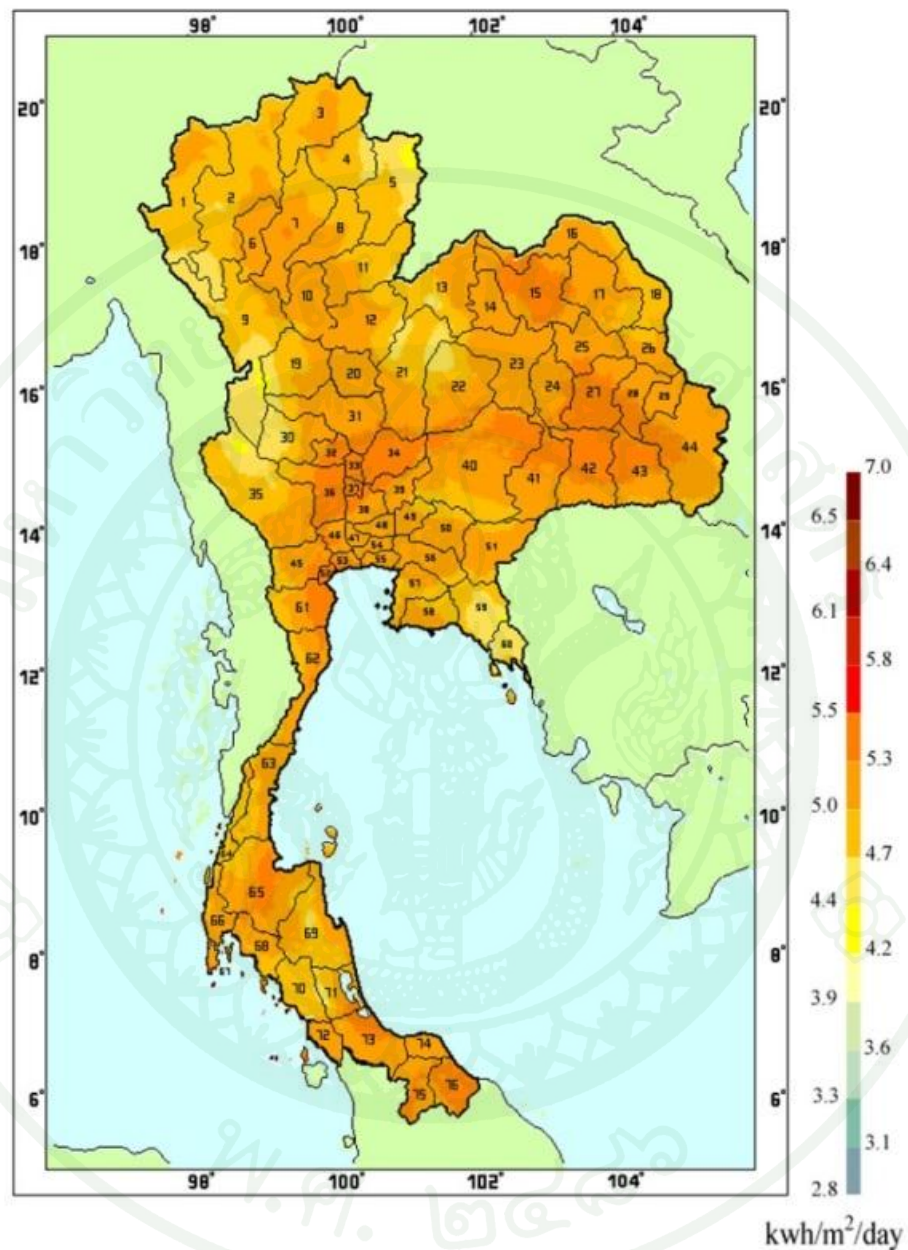
การนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มีความเป็นไปได้สูง ควรพิจารณาต่อไปถึงศักยภาพของประเทศไทยในการนำพลังงานทดแทนประเภทนี้ให้เป็นผลได้อย่างไร สำหรับประเทศไทย บริเวณที่รับรังสีสูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างและบางส่วนของภาคกลาง โดยมีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยในแต่ละวัน มีค่า 19-20 MJ/m².day และเมื่อเฉลี่ยทั่วประเทศจะมีค่าประมาณ 18.2 MJ/m².day (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2546) ซึ่งถือว่า มีศักยภาพในการนำพลังงานชนิดนี้มาใช้ค่อนข้างสูง นอกเหนือจากการพิจารณาแสงอาทิตย์แล้วอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศก็เป็นสิ่งจำเป็นประการหนึ่ง ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน สภาพอากาศโดยทั่วไปจึงร้อนอบอ้าวเกือบตลอดปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทยมีค่าประมาณ 27 °C โดยในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิสูงสุดในตอนบ่าย ปกติจะสูงถึงเกือบ 40 °C หรือมากกว่านั้นในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม โดยเฉพาะเดือนเมษายนจะเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนจัดที่สุดในรอบปีเริ่มตั้งแต่มิถุนายนไปจนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และเป็นระยะที่ซั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะเดือนเมษายนบริเวณประเทศไทย มีดวงอาทิตย์อยู่เกือบตรงศีรษะในเวลาเที่ยงวัน ทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มประสิทธิภาพ



ภาพที่ 9 ภาพแสดงศักยภาพแสงอาทิตย์ต่อทวีปเอเชีย

ที่มา: Docstoc(2011)

ทวีปเอเชีย และภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีพื้นที่ ที่มีศักยภาพด้านแสงอาทิตย์เฉลี่ยในเกณฑ์สูง ซึ่งประเทศไทยปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ย 4.0 - 4.5 kWh/m²/day ของภูมิภาค (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 10 ภาพแสดงศักยภาพการได้รับแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

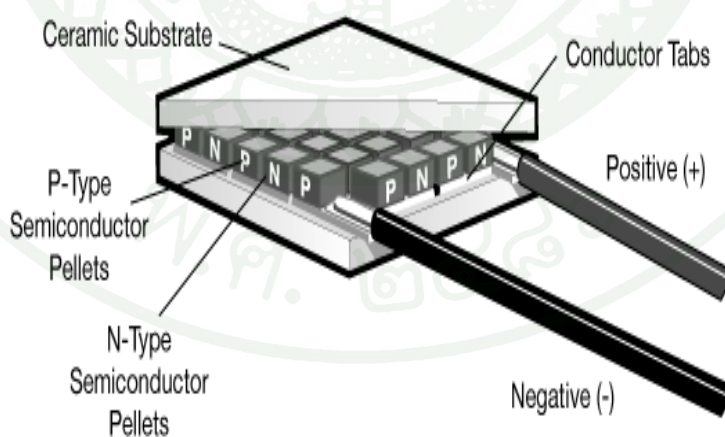
ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (2542)

พื้นที่ที่มีการศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจัดทำเป็น Solar map เป็นแผนที่ ปริมาณความเข้มข้นของพลังงานแสงอาทิตย์ ความเข้มข้นนี้วัดเป็น MJ ต่อตารางเมตร ซึ่งถ้านับ

ตัวเลขรวม พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยอยู่ในเกณฑ์ที่สูงพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม มีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m² – day (ภาพที่ 10) ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ของไทยส่วนใหญ่จัดเป็น Infrared เสีย 48% ช่วงแสง Ultraviolet มีเพียง 8% อย่างไรก็ตาม การใช้พลังงานในรูปแบบความร้อนตรง จะใช้งานได้ดีมาก เช่น การทำน้ำร้อน แทนเครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ไว้บนหลังคาจะช่วยประหยัดพลังงานในการนำไฟฟ้าไปผลิตน้ำร้อนได้

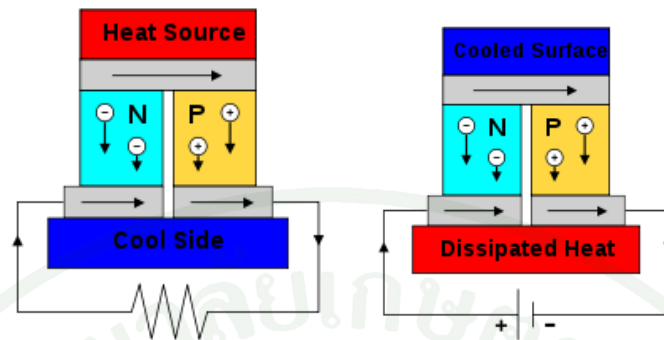
3. เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Module)

เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาตามแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ ชาวเยอรมัน ชื่อ โทมัส โยฮาน ซีเบ็ค (Thomas Yoahaan Seebeck) ในปี ค.ศ. 1821 โดยพบว่า ในสารกึ่งตัวนำ (ภาพที่ 11) สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ จากหลักการดังกล่าว จึงนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตอุปกรณ์สำหรับผันกลับความร้อนที่เหลือทิ้งจำนวนมากจากภาคอุตสาหกรรม หรือแม้แต่ภายในครัวเรือน ให้กลับมาเป็นกระแสไฟฟ้าใช้งานได้ โดยไม่มีมลพิษ จึงนับได้ว่าเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอีกแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ที่สะอาด และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 11 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

ที่มา: Melcor Thermoelectric Handbook, (2011)

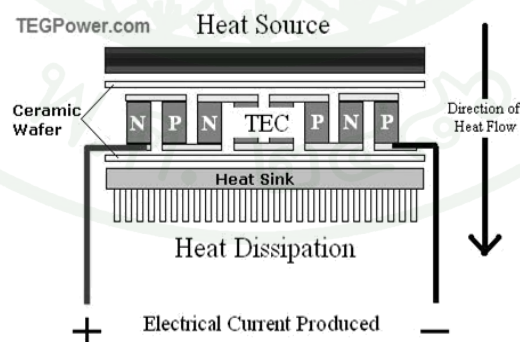


ภาพที่ 12 ภาพแสดงวงจรการทำงานระบบ Peltier Effect และ Seebeck Effect

ที่มา: Thermoelectric Cooler Diagram.(2011)

การนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้งานมีด้วยกัน 2 ลักษณะคือ

3.1 โหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้า (Refrigerator mode) เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอก เช่น แบตเตอรี่ จะทำให้เกิดความแตกต่างของความร้อนและความเย็นที่ผิวแต่ละด้าน (วีรชัย. 2543) เนื่องจากการกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งหรือเรียกว่า TEC (Thermoelectric Cooler)



ภาพที่ 13 ภาพแสดงองค์ประกอบอุปกรณ์เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

ที่มา: TEGPOWER (2011)

3.2 โหมดผลิตไฟฟ้า (Generator mode) โดยให้ความแตกต่างของอุณหภูมิบนแผ่นเซรามิคด้านบนและล่างทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเนื่องจากพาหะ N และ P ในสารกึ่งตัวนำเหล่านั้น ในสารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิด P มีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวก เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง โฮลก็จะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางของกระแสไฟฟ้า (DC) เทอร์โมอิเล็กทริกจึงไหลตามกันไปทิศเดียวกันหรือเรียกว่า TEG (Thermoelectric Generator) (ภาพที่ 13)

ในงานวิจัยนี้อาศัย “โหมดผลิตกระแสไฟฟ้า” อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ชุดทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12710S (Cooling Module) เป็นชนิดที่ใช้สำหรับผลิตความเย็น (Refrigerator mode) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าในอุณหภูมิที่สูง ซึ่งในงานวิจัยมีความคาดหวังว่าอุณหภูมิที่ได้จากหลังคาโลหะจะไม่เกิน 100°C

4. คุณสมบัติการถ่ายเทและรับความร้อนของวัสดุ

การศึกษาคูสมบัติของวัสดุที่นำมาทำการทดลองในเรื่องของประสิทธิภาพของวัสดุในแต่ละด้านดังนี้

4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ขบวนการที่พลังงานความร้อนถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุ หรือเคลื่อนตัวจากที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยอาศัยวัสดุ หรือสารใดๆเป็นสื่อกลาง วัสดุใดๆจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-value) โดยการ คำนวณอัตราความร้อนไหลต่อหน่วยจากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน มีหน่วยเป็น: $W/m^2K = W/m.k$ (หรือ $W/m^{\circ}C$) (หรือ $Btu.in/ft^2h^{\circ}F$)

ค่าการนำความร้อน (Conductance) $C = k/x$ เมื่อ $x =$ ความหนา ความหนาเป็นตัวแปรสำคัญในการนำความร้อนในค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนวัสดุ

วัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k)(W/m.K)
อากาศ(ที่ความดันบรรยากาศ)	0.026
อลูมิเนียม	237
คอนกรีต	1.82
ทองแดง	401
เพชร	2300
น้ำแข็ง	2.2
กระดาษ	0.05
ไม้	0.1-0.35
เงิน	429

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2547)

งานวิจัยนี้เลือกใช้แผ่นหลังคาโลหะเป็นวัสดุรับความร้อนรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนประมาณ 211 W/m-K และใช้แผ่นทองแดงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนประมาณ 388 – 401 W/m-K เป็นวัสดุรับความร้อนจากแผ่นหลังคาโลหะเพื่อพาความร้อน ส่งต่อไปยังเทอร์โมอิเล็กทริก การหาค่าปริมาณความร้อนคำนวณได้จากสมการ

$$Q = kA (\Delta T)/x \text{ โดย}$$

$$Q = \text{ปริมาณความร้อน}$$

$$k = \text{สัมประสิทธิ์การนำความร้อน}$$

A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

ΔT = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ

X = ความหนาของวัสดุ

4.2 การต้านทานความร้อน (Resistivity) ค่าความต้านทานความร้อน หรือ ค่า "R-Value" จะเป็นค่าที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุตามแนวที่ความร้อนไหลผ่านกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ กรณีที่วัสดุซ้อนกันหลายชั้น ค่าความต้านทานความร้อนรวมจะเท่ากับผลบวกของค่าความต้านทาน ความร้อนของวัสดุที่กำหนดแต่ละชั้นรวมกัน และค่าการต้านทานความร้อนจะมีความสัมพันธ์กับ ค่าการนำความร้อนแบบเป็นส่วนกลับกัน กล่าวคือ ถ้าค่าการต้านทานความร้อนสูง วัสดุนั้นก็จะมีค่านำความร้อนต่ำ

ยิ่งค่า R มาก (กันความร้อนได้มาก) แสดงถึงความเป็นฉนวนที่ดีของวัสดุนั้นๆ สามารถคำนวณโดย $R = 1/C$ หรือ $R = x/k$ มีหน่วยเป็น หน่วย $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ หรือ $M^2 \text{ K/W}$ หรือ $ft^2 h^\circ\text{F/Btu}$

เมื่อ R = ค่าความต้านทานความร้อน (Resistance) ตัวอย่าง เช่น

Concrete $k = 1.442 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, $x = 0.1$ เมตร : $R = 0.1/1.442 = 0.069 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

Gypsum $k = 0.191 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, $x = 0.0120$ เมตร $R = 0.012/0.191 = 0.063 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

4.3 ความจุความร้อน (Thermal Capacity) คือ ปริมาณความร้อนที่พอดีทำให้วัตถุทั้งก้อน มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม 1 องศา มีหน่วยเป็นหน่วยปริมาณความร้อน ต่อหน่วยอุณหภูมิ เช่น แคลอรีต่อองศาเซลเซียส กิโลแคลอรีต่อองศาเซลเซียส หรือ จูลต่อเคลวิน สูตร $C = MS$ เมื่อ

C = ความจุความร้อนของวัตถุ มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อองศาเซลเซียส กิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส หรือจูลต่อเคลวิน

m = มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็นกรัม หรือ กิโลกรัม

s = ความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ

มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัมต่อ องศาเซลเซียส ($\text{Cal/g}^\circ\text{C}$ หรือ จูลต่อกิโลกรัมต่อ กิโลกรัมต่อเคลวิน (J/kg.K)

การเลือกใช้วัสดุที่มีการจุความร้อนมาก หรือน้อย ควรพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับ ช่วงเวลาที่ต้องการ เช่น วัสดุที่มีความจุความร้อนน้อย ความร้อนก็จะถูกสะสมในวัสดุน้อยและจะถูกส่งผ่านไปสู่อุปกรณ์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเร็ว ในทางกลับกันวัสดุที่มีจุความร้อนมาก ความร้อนจะถูกสะสมในวัสดุมากและจะถูกส่งผ่านไปสู่อุปกรณ์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าได้ช้าลง (Time Lag)

4.4 การถ่ายเทความร้อนรวม (Thermal transfer) ในการคำนวณค่าความร้อนรวมที่เข้าสู่อาคาร เพื่อแสดงค่าเฉลี่ยความร้อนที่เข้าสู่อาคารด้านผนังใช้ค่า (OTTV) ส่วนการหา ค่าเฉลี่ยความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารในส่วนหลังคา (RTTV) จะไปในลักษณะเดียวกับผนังแต่จะขึ้นกับตัวแปรคุณสมบัติเชิงอุณหภูมิ เช่น ชนิดของวัสดุ สี ความหนาแน่น ของมวลสารหลังคา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องอาศัยทฤษฎี ในการตัดสินใจเลือกวัสดุ ประเภทของหลังคา

4.5 อุณหภูมิและความร้อน (Heat & Temperature)

4.5.1 ความร้อน (Heat) เกิดจากการพลังงานที่โมเลกุลในสสาร (อะตอม) เคลื่อนที่ (สั่น)หรือมีอะตอมรวมตัวกันเป็นโมเลกุลทำให้เกิดรูปของพลังงานความร้อนประกอบด้วย

ปริมาณความร้อน (quantity of Heat) = Q มีหน่วยเป็น วัตต์-ชม.(Watt hours), บีทียู (BTU), จูล(Joules)

อัตราการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer rate) = Q มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt), บีทียู/ชม.(BTU/hr)

อัตราการถ่ายเทความร้อน/พื้นที่ (Heat flux) = q มีหน่วยเป็น (Watt/m²), บีทียู/ชม.ตรฟ. (BTU/hr.ft²)

4.5.2 อุณหภูมิ (Temperature) การวัดค่าพลังงานเฉลี่ยที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลหรือการวัดค่าความร้อน ความเย็นของสสาร เมื่อเพิ่มความร้อนที่กระทำกับสสาร ทำให้อะตอมเคลื่อนที่เร็วอุณหภูมิก็สูงขึ้น หากลดปริมาณความร้อนลง อุณหภูมิก็จะลดต่ำตามลงมา

องศาเซลเซียส (อังกฤษ: degree Celsius, สัญลักษณ์ °C) เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิหน่วยหนึ่งในระบบเอสไอ กำหนดให้จุดเยือกแข็งของน้ำคือ 0 °C และจุดเดือดคือ 100 °C องศาเซลเซียสเคลวิน $K = °C + 273.1$, องศาเซลเซียส องศาฟาเรนไฮต์ $°F = °C \times 1.8 + 32$

องศาฟาเรนไฮต์ มีจุดเยือกแข็งอยู่ที่ 32 องศาฟาเรนไฮต์กำหนดให้จุดเยือกแข็ง และมีจุดเดือดที่ 212 องศาฟาเรนไฮต์ โดยที่มีระยะห่างระหว่างจุดเยือกแข็งกับจุดเดือดของน้ำคือ 180 องศา โดยที่ 1 องศาในสเกลองศาฟาเรนไฮต์นี้มีค่าเท่ากับ 5/9 ของ 1 เคลวิน (ซึ่งก็คือ 1 องศาเซลเซียส) และที่ลบ 40 องศาฟาเรนไฮต์เท่ากับติดลบ 40 องศาเซลเซียส

เคลวิน ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความร้อนและอุณหภูมิ ใช้สัญลักษณ์ K โดย $0 K = -273°C$

5. การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์

การนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานขั้นสุดท้ายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์มีการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์โดยผ่านอุปกรณ์มี 2 ประเภทคือ



ภาพที่ 14 เซลล์แสงอาทิตย์และการนำไปใช้

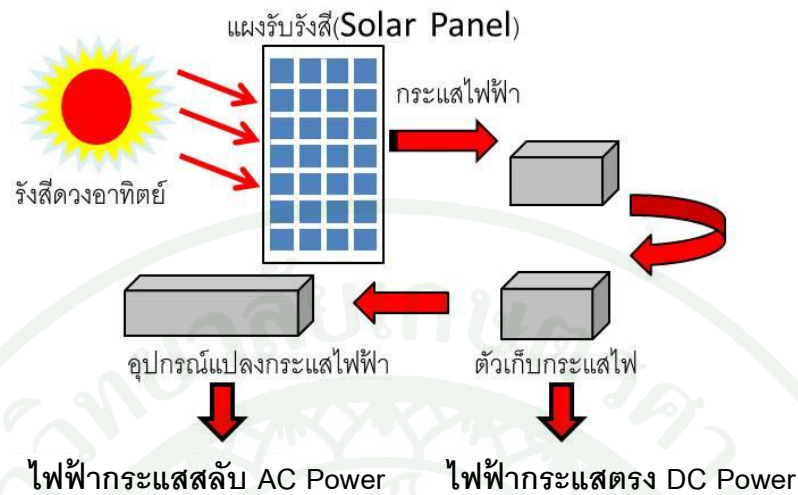
ที่มา: Thaisolarcell(2011)

5.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic หรือ Solar cell) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำที่สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้ โดยมากใช้ซิลิคอน (Silicon) เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวจะถูกเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้าและถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ไปต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง ไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์ไฟฟ้าและสามารถทำงานได้ เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจะใช้ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบคือ

5.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system)

5.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)(ภาพที่ 15)

5.1.3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

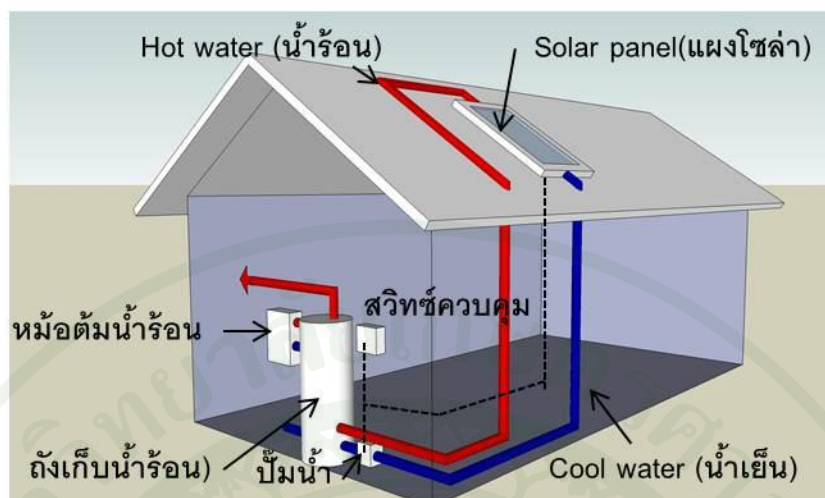


ภาพที่ 15 หลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ Solar Cell

5.2 การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Thermal)

การนำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อนไว้ใช้งาน ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ มีมาเป็นเวลานาน ซึ่งการนำมาใช้ประโยชน์ในเรื่อง การถนอมอาหาร และปัจจุบัน เมื่อมีการคิดค้น และมีเทคโนโลยีที่ทันสมัยมากขึ้น สามารถนำมาเปลี่ยนไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ได้ อาทิ

การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการผลิตน้ำร้อนโดยใช้หลักการ หมุนเวียน ความหนาแน่นน้ำ ซึ่งเกิดจากความร้อนแสงอาทิตย์ เพื่อสะสมน้ำร้อนไว้ใช้ ซึ่งจะได้ ปริมาณที่ไม่มากนัก เหมาะสมกับบ้านพักอาศัย ซึ่งมีการนำไปใช้กับอาคารสาธารณะ ซึ่งจะต้อง ขยายพื้นที่ในการรับความร้อน และปริมาณน้ำในถังเก็บ (ภาพที่ 16) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนกักเก็บความร้อน (Solar Collector) และถังเก็บน้ำ (water storage)



ภาพที่ 16 การนำแสงอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อน (Solar Thermal)

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอาศัยความแตกต่างอุณหภูมิของพื้นที่ เพื่อตั้งกระแสมถ่ายเทความร้อน

การทำความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยอาศัยคุณสมบัติ สารประกอบ(ของไหล)ที่กลายเป็นไอความร้อนเมื่อได้รับความร้อน (แสงอาทิตย์) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของสารที่นำมาใช้ เช่น สารแอมโมเนีย หรือ ลิเทียมโบรไมด์ ซึ่งอุณหภูมิที่ได้ประมาณ -5°C ถึง -30°C โดยอาศัยน้ำเป็นตัวทำความเย็น

งานวิจัยนี้เป็นการนำศักยภาพของพลังงานดวงอาทิตย์ โดยการนำพลังงานความร้อนที่ได้จากแสงดวงอาทิตย์ผ่านอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนากร (2553) ออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ประกอบเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และนำกระแสไฟไปใช้กับพัดลมระบายความร้อนใต้หลังอาคารพักอาศัย โดยใช้ประกอบชุดทดลองที่ประกอบด้วย ชุดหลังคาจำลอง ประกอบกับชุดทดลองที่มีการร่วมแสง และความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ที่มีเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยค่า

ความต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของชุดทดลอง ผลการทดสอบอุปกรณ์ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ความแตกต่างอุณหภูมิได้ 10°C วัดแรงดันไฟฟ้าได้ 0.30 V จากจำนวนเทอร์โมอิเล็กทริก 4 ตัว และได้แสงธรรมชาติประมาณ 200 lux สามารถใช้งานห้องใต้หลังคา

เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นใช้ความแตกต่างด้านอุณหภูมิ ของชุดทดสอบ เพื่อนำกระแสไฟฟ้าใช้กับพัดลมระบายอากาศใต้หลังคา เพื่อช่วยระบายความร้อนและลดอุณหภูมิใต้หลังคา พร้อมกับได้แสงธรรมชาติ

เจริญพร (2553) ศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้า โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับตัวรวมรังสีพาราโบลาเพื่อ ศึกษาสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

ทำการเปรียบเทียบศักยภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้า และชนิดทำความเย็นเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนต่ำในการทดลองได้เลือกเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดผลิตไฟฟ้า 2 โมดูล และชนิดทำความเย็น 2 โมดูลทำการทดลองภายใต้การปรับเปลี่ยนความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น ผลการทดลอง เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็นควรนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนต่ำและทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผลิตอากาศร้อน แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เครื่องระบายความร้อนแบบครีบริบรูสีเหลี่ยมผืนผ้า รังสีอาทิตย์ทำความร้อนให้แผ่นดูดกลืนเป็นเหตุให้เกิดอุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเกิดการผลิตไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ความร้อนเพียงส่วนน้อยจากรังสีอาทิตย์ที่แปลงเป็นไฟฟ้า ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น 22.8°C สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 2.13 W และมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน 6.17 %

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคูณสมบัติการผลิตกระแสไฟฟ้า ผลิตอากาศร้อนและผลิตน้ำร้อนหลังจากนั้นทำการศึกษาความคุ้มค่าในด้านเศรษฐศาสตร์

เจริญพรและณัฐพล (2554) วิเคราะห์สมรรถนะเชิงความเย็นของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก งานวิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะเชิงความเย็นของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพา ซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก จำนวน 2 โมดูล (Taihuaxing, model TEC1-12708) ทำความเย็นให้กับกล่องอลูมิเนียมที่มีขนาดความจุ 4 ลิตร ที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีป ได้ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทำงานของระบบเพื่อประเมินสมรรถนะ ของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถทำให้น้ำอัดลมกระป๋องที่มี ปริมาตร 0.325 ลิตร จำนวน 2 กระป๋อง มีอุณหภูมิ 16°C ที่อัตราการทำความเย็น 24.7 W COP เท่ากับ 0.28 และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30.9°C ดังนั้น ตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพามีศักยภาพทำความเย็นให้กับเครื่องดื่มในกรณีที่อยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้หรือ อยู่ภายนอกที่พักอาศัย

งานวิจัยนี้เป็นศึกษาศักยภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก ในการผลิตความเย็นให้กับตู้เย็นในการระบายความร้อนแบบธรรมชาติ โดยใช้แผงระบายความร้อนแบบครีป

วิทยาและคณะ (2545) เสนอผลของการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาโดยใช้ระบบ เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic attic ventilation) เพื่อลดความร้อนผ่านฝ้าเพดาน โดยการติดตั้ง พัดลมระบายอากาศกระแสตรง (Direct current) ขนาด 12 Volts รับพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 27 Wp บ้านที่ใช้ในการทดลองเป็นบ้านขนาดเล็ก 2 หลัง แต่ละหลังมีปริมาตร 2.8 m^3 และการระบายอากาศในห้องใต้หลังคา แบ่งเป็น 2 แบบ คือการระบายอากาศโดยใช้ อากาศจากภายนอกบ้าน (external ventilation) และการระบายอากาศโดยใช้อากาศจากภายใน บ้าน (cross ventilation) ซึ่งการระบายอากาศโดยใช้อากาศจากภายในบ้านเข้าไประบายอากาศ ในห้องใต้หลังคานั้นมีค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดาน มากกว่าบ้านที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนร่วมกับ แผ่นสะท้อนความร้อนเพียงเล็กน้อย และส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอากาศ (air change) ภายใน บ้านมีค่าสูงและช่วยให้อุณหภูมิภายในห้องเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งระบบระบายอากาศเซลล์แสงอาทิตย์ยังช่วยในการลดความชื้นสะสมภายในห้องใต้หลังคาซึ่งมีผลต่อโครงสร้างของหลังคา บ้าน และไม่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม หลังหมดสภาพการใช้งาน

สมชายและคณะ (2544) นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผสมผสาน ผลิตน้ำร้อนและปรับ อากาศโดยร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริก งานวิจัยศึกษาความเป็นไปได้ของระบบผสมผสานแบบใหม่

เพื่อผลิตน้ำร้อนและปรับอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นถังน้ำร้อนในเวลาเดียวกันมีขนาด 120 ลิตร ห้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกมีขนาด 2.5 ลบ.ม. ในการทดลองใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก จำนวน 30 ชิ้น รุ่น TEC1-12704 ขนาดต่อชิ้น 40 x 40 มม. แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะใช้งานสูงสุด 13.5 VDC และ 4.4 แอมป์ตามลำดับศึกษาโดยการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก 50, 100 และ 150 VDC อัตราการไหลของน้ำและความเร็วลมที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 10, 15 ลิตร/นาทีและ 2.5, 5 เมตร/วินาทีตามลำดับ พบว่าระบบสามารถผลิตน้ำร้อนได้สูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 50 °C ภายในเวลา 2 ชม. และสามารถผลิตความเย็นได้ 176 W หลังจากนั้นความสามารถในการผลิตความเย็นลดลงเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสูงขึ้น จุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตน้ำร้อนและปรับอากาศคือที่แรงดันไฟฟ้าป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก 100 VDC อัตราการไหลของน้ำ 15 ลิตร/นาทีและความเร็วลม 2.5 เมตร/วินาทีซึ่งเป็นจุดที่ให้ค่า COP สูงสุด คือ 3.12

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

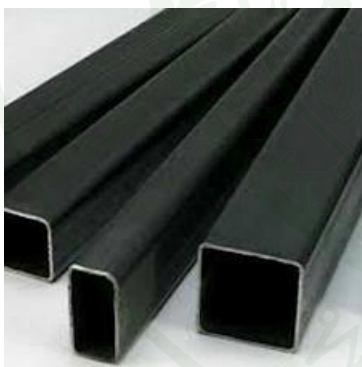
การพัฒนาหลังคาโลหะประกอบด้วยหน่วยแยกเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า มีการใช้อุปกรณ์ในการจัดทำชุดทดลองและการทดสอบประสิทธิภาพทดลองจนวิธีการทดลองโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ในการผลิตชุดทดลอง(ชุดกล่องหลังคา)

1.1 เหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว สำหรับโครงสร้างกล่องทดลองขนาด กว้าง 0.75 x ยาว 0.75 เมตร

1.2 แผ่นสมาร์ทบอร์ดหนา 6 มิลลิเมตร(ตามมาตรฐานผู้ผลิต)

1.3 ท่อพีวีซี ขนาด $\varnothing 0.05$ เมตร และชุดข้อต่อ(ตามมาตรฐานผู้ผลิต)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 17 แสดงวัสดุกล่องทดลอง ก) โครงเหล็ก ข) แผ่นสมาร์ทบอร์ด ค) ท่อพีวีซี

2. อุปกรณ์ในการผลิตชุดทดลอง (ส่วนผลิตกระแสไฟฟ้า)

2.1 แผ่นหลังคาโลหะหนา 0.40 มิลลิเมตรชนิดมี PU foam หนา 4 มิลลิเมตร เพื่อต้องการประสิทธิภาพในการรับความร้อนได้อย่างรวดเร็ว และสามารถควบคุมปริมาณความร้อนที่

เกิดขึ้นภายในชุดทดลอง ไม่ให้มีความร้อนสูงมาก ซึ่งจะมีผลต่อการลดอุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

2.2 แผ่นทองแดงหนา 3 มิลลิเมตรขนาดกว้าง 0.20 เมตร x ยาว 0.12 เมตร แผ่นทองแดง มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนประมาณ 388 – 401 W/m-K ซึ่งถือว่าดีในระดับต้นๆ แต่ประสิทธิภาพจะน้อยกว่า เงิน ที่สำคัญสามารถหาซื้อได้ง่ายกว่า และราคาถูกกว่าโลหะเงิน จึงพิจารณานำมาใช้ในงานวิจัย

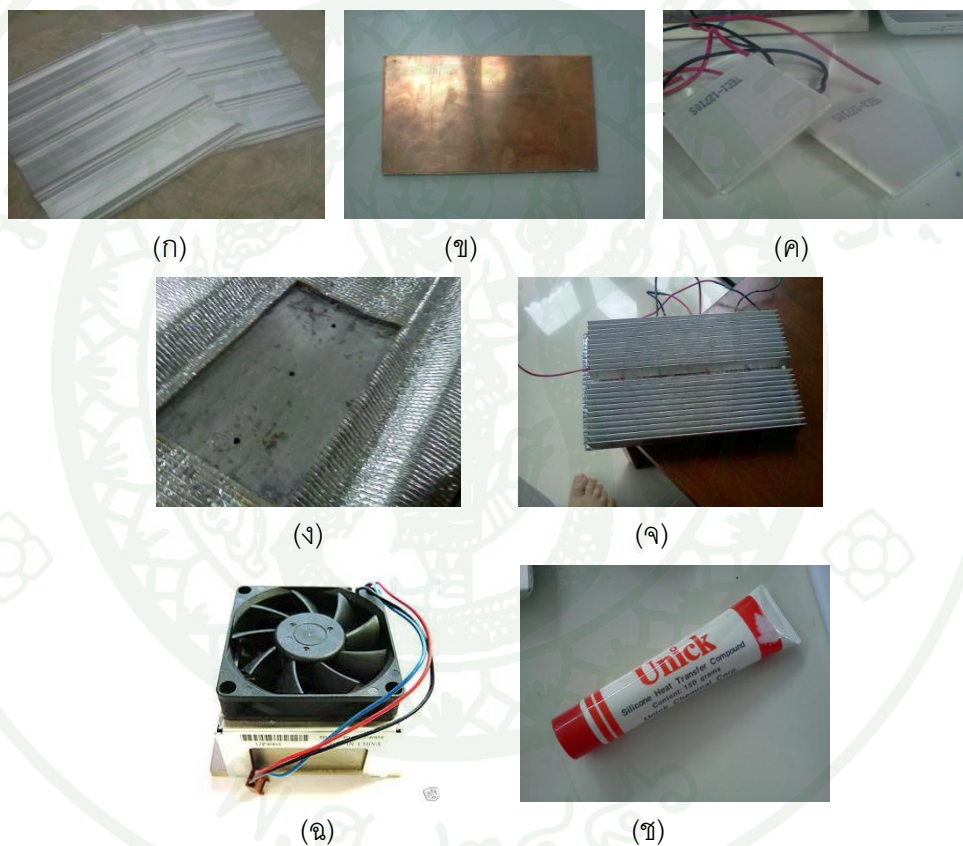
2.3 เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดทำความเย็น (Cooling module) ซึ่งเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลชนิดทำความเย็นควรนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนต่ำ (เจริญพร, 2553) เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล รุ่น TEC1-12710S ขนาด กว้าง 40 x ยาว 40x สูง 3.3 มิลลิเมตรสามารถทนอุณหภูมิความร้อนสูงเกิน 100°C สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าในอุณหภูมิความร้อนต่ำ ซึ่งในงานวิจัยมีความคาดหมายว่า ความร้อนที่เกิดกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจะไม่เกิน 100°C

2.4 ฉนวนกันความร้อน (Insulation) การผลิตตัวทดลอง เพื่อไม่ให้ความร้อนแผ่ลงมาในตำแหน่งที่ไม่ต้องการ จึงต้องป้องกันควบคุมพื้นที่ที่ต้องการเท่านั้นแผ่นฉนวน ความหนา Pu Foam 4 มิลลิเมตร มีแผ่นฟอยล์ 1 ด้าน มีผลต่อค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance :R-Value) ความหนาที่เหมาะสม เพื่อหน่วงความร้อนที่ไหลผ่านจากผิวโลหะและจากภูมิอากาศโดยรอบ

2.5 แผงอลูมิเนียม (Heat Sink) ช่วยระบายความร้อนขนาด กว้าง 0.05 x ยาว 0.20 x สูง 0.015 เมตร จำนวน 2 ชิ้น หลักการผลิตกระแสไฟของเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นกับความแตกต่างด้านอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น (ΔT) ของเทอร์โมอิเล็กทริก

2.6 พัดลมระบายอากาศ (DC Fan) รุ่น DF121225BH DC 12V 0.65 A ที่ใช้กับอุปกรณ์ คอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยการระบายอากาศอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในด้านเย็น จากงานวิจัยพบว่าหาก ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อน และด้านเย็น (ΔT) มีผลต่อการแรงดันไฟฟ้าที่จะได้รับจากเทอร์โมอิเล็กทริก (ภาคผนวก ข)

2.7 ซิลิโคนถ่ายโอนอุณหภูมิความร้อน (Silicone Heat Transfer Compound) ชนิดครีม ช่วยในการแผ่ความร้อนระหว่างวัตถุ 2 ชนิดในการทดลองนำมาเป็นตัวช่วยในการแผ่ความร้อนจากหลังคาตู้ แผ่นทองแดง จากทองแดงลงสู่เทอร์โมอิเล็กทริกและระหว่าง เทอร์โมอิเล็กทริกกับแผงอลูมิเนียม (Heat Sink) เพื่อให้ประสิทธิภาพการรับความร้อน และระบายความร้อนดียิ่งขึ้น ซึ่งต้องมีการคำนวณขนาดให้ เหมาะสมกับจำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกด้วย(Material science and Engineering. 2013) (ภาคผนวก ข)



ภาพที่ 18 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตตัวทดลอง ก) แผ่นหลังคาโลหะ ข) แผ่นทองแดง
ค) เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ง) หลังคาโลหะปิด PU Foam จ) แผงอลูมิเนียมช่วยระบาย
ฉ) พัดลมช่วยระบายไฟกระแสตรง (DC Fan) ช) ซิลิโคนถ่ายโอนอุณหภูมิความร้อน

3. เครื่องมือวัดและบันทึกผล

3.1 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ HOBO Data Logger Model : H08-004-04 (ภาคผนวก ข) เครื่องวัดอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, วัดแสง เป็นอุปกรณ์วัดจุดสัมผัส ของวัตถุสามารถบันทึกผล โดยต้องใช้ประกอบ BoxCar Pro 4.3 Software แสดงผลโดย กราฟใน Window Excel

3.2 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า DC.(V) UNION UN-902A สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้หลากหลาย เช่น DCV, ACV, DCA, ACA, OHM, ทดสอบไดโอด, ความต่อเนื่องแบบมีเสียง, ความจุไฟฟ้า, ความถี่, อุณหภูมิ มีระบบป้องกันการเสียบสายวัดผิดโดยอัตโนมัติ เลือกว่านวัดได้ง่าย เพราะแผงด้านหน้าจะมีการแสดงย่านการวัดไว้ทุกย่าน ค่าข้อมูลบนจอแสดงผลได้ มีการป้องกันโอเวอร์โวลด์ทุกย่านวัด มียางครอบป้องกันตัวเครื่อง เมื่อมีการตกกระแทก มีขาตั้งติดมากับตัวเครื่อง เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ปิดเครื่องเองอัตโนมัติ เพื่อประหยัดแบตเตอรี่

3.3 เครื่องวัดแสง KONOCA MINOLTA



HOBO



DC.(V) UNION UN-902A



KONOCA MINOLTA

ภาพที่ 19 แสดงเครื่องมือวัดและบันทึกผลการทดสอบ Hobo, DC Voltage (เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า) เครื่องวัดปริมาณแสง

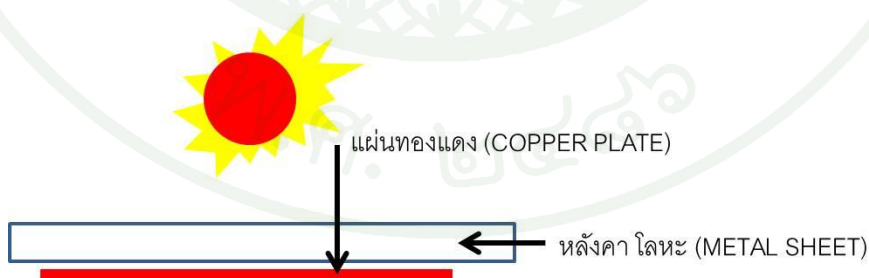
วิธีการ

ขั้นตอนการทำวิจัยนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ 1) การออกแบบและจัดทำชุดทดลอง 2) การจัดทำกล่องทดสอบ และ 3) การติดตั้งกล่องทดสอบและอุปกรณ์เพื่อการตรวจวัด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การออกแบบและจัดทำชุดทดลอง

ขั้นตอนนี้ครอบคลุมการออกแบบและจัดทำชุดทดลองโดยพิจารณา ทฤษฎีและหลักการ ทำงาน Seebeck coefficient (ภาพที่ 20) ที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อน T-hot และด้านเย็น T-cool ดังสมการ $\Delta T = (T\text{-hot} - T\text{-cool})$ ผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อเปลี่ยนเป็น กระแสไฟฟ้า โดยส่วนของหลังคาติดตั้งบนกล่องทดสอบเพื่อการทดสอบในชุดทดลองต่างๆ 3 ชุด การทดลองคือ

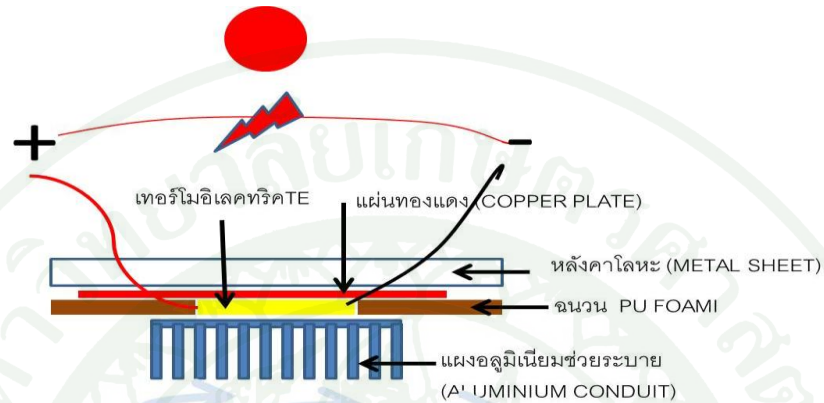
ชุดการทดลองที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ของ หลังคาโลหะ แผ่นทองแดง และวัดอุณหภูมิภายในกล่องใต้หลังคา ส่วนประกอบของหลังคา ชุดทดลองที่ 1 ประกอบด้วย(ภาพที่ 20) แผ่นหลังโลหะ ตามมาตรฐานผู้ผลิต แผ่นทองแดง โดย ประกอบติดกันด้วยการยึดน๊อต



ภาพที่ 20 ส่วนประกอบหลังคาในชุดทดลองที่ 1 หลังคาโลหะ และแผ่นทองแดง

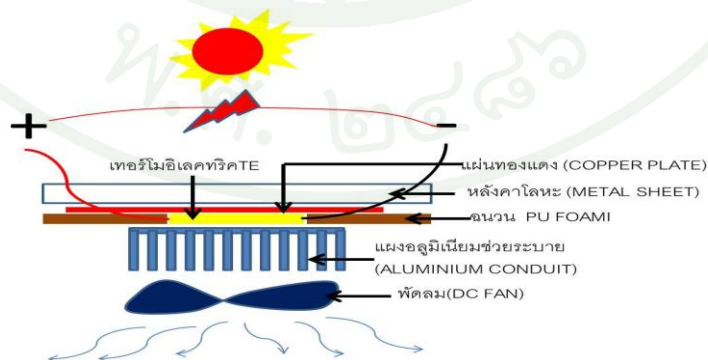
ชุดการทดลองที่ 2 การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิหลังคาโลหะมาตรฐาน กับหลังคา โลหะพ่นสีดำและวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกในการระบายโดยธรรมชาติ ส่วนประกอบ

หลังคาในชุดทดลองที่ 2 ประกอบด้วย (ภาพที่ 21) หลังคาโลหะ และมีส่วนพื้นที่หลังคาโลหะที่พ่นสีดำ แผ่นทองแดง ประกอบอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก แผงระบายอลูมิเนียมวัตแรงดันไฟฟ้า



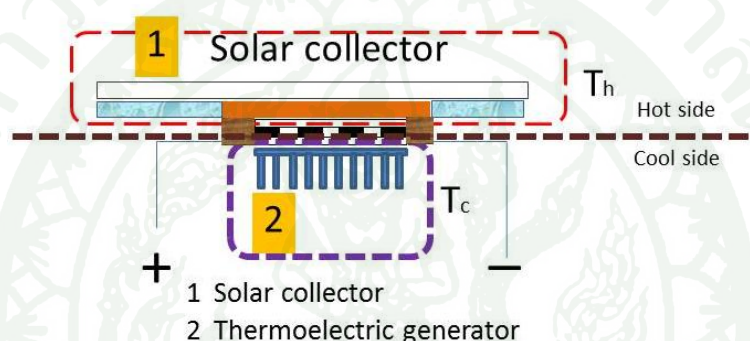
ภาพที่ 21 ส่วนประกอบหลังคาในชุดทดลองที่ 2 หลังคาประกอบชุดผลิตกระแสไฟฟ้า แผ่นทองแดงที่ติดฉนวนประกอบเทอร์โมอิเล็กทริก แผงอลูมิเนียมช่วยระบาย

ชุดการทดลองที่ 3 การตรวจวัดอุณหภูมิหลังคาโลหะพ่นสีดำ และวัตแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ในสภาพการระบายด้วยพัดลม ส่วนประกอบของหลังคาในชุดทดลองที่ 3 ประกอบด้วย (ภาพที่ 22) หลังคาโลหะและมีส่วนพื้นที่หลังคาโลหะที่พ่นสีดำแผ่นทองแดง ประกอบอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก แผงระบายอลูมิเนียม และพัดลม (Dc Fan) วัตแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 22 ส่วนประกอบหลังคาในชุดทดลองที่ 3 หลังคาประกอบชุดผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดในส่วนหลังคา และกล่องทดสอบดังต่อไปนี้

1.1 การออกแบบส่วนรับ และเก็บความร้อน (Solar Collector) ลักษณะงานวิจัยเป็นการรับความร้อนโดยใช้แผ่นรับรังสี (Flat-Plate Collector) จากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นหลังคาโลหะหนา 0.40 มม. ชนิดสีออบ ขนาด กว้าง 0.75 x ยาว 0.75 เมตร ให้มีความลาดเอียงที่ 10 องศา แผ่นหลังคาโลหะทำหน้าที่รับรังสีอาทิตย์และ ถ่ายเทความร้อนส่งผ่าน (จักรพันธ์, 2552) ไปยังแผ่นทองแดง (Copper Plate) ขนาด กว้าง 0.20 x ยาว 0.12 เมตร หนา 3 มม. และเทอร์โมอิเล็กทริก (TEG-Thermoelectric Generator) เพื่อกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 23 แนวคิดในการออกแบบชุดทดลองตามหลักการทำงานของระบบ(Seebeck Coefficient) 1) ส่วนรับและเก็บอุณหภูมิความร้อน 2) ส่วนผลิตกระแสไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก (TEG)

1.2 ส่วนผลิตกระแสไฟฟ้า Thermoelectric Generator เป็นขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย ส่วนรับความร้อน ส่งผ่านความร้อนสู่เทอร์โมอิเล็กทริก ในการทดลองได้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 4 หน่วยต่อเชื่อมวงจรแบบอนุกรม ยึดติดกับแผ่นทองแดง ด้วยน็อต และ แฉงอลูมิเนียมช่วยระบายความร้อน (Heat Sink) ขนาด กว้าง 0.05 x ยาว 0.20 x สูง 0.02 เมตรให้เทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแรงดันไฟฟ้า ในการทดลองได้กำหนดการระบายความร้อนจาก Heat Sink เป็น 2 ระบบคือระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ และการระบายอากาศด้วยพัดลม (DC Fan) โดยการนำกล่องพลาสติกขนาด ชนิดมีฝาครอบ ยึดติดพัดลมโดยการเจาะพลาสติกให้มีขนาดเท่ากับ พัดลม ภายในฝาครอบบุฉนวน Pu Foam ชนิดมีฟอล์ย 1 ด้าน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการจัดทำดังนี้

ก) ขั้นตอนเตรียมอุปกรณ์ โดยการนำแผ่นหลังคาโลหะที่มี Pu foam เปิดบริเวณที่ต้องการจะให้แผ่นทองแดงแนบกับหลังคาโลหะ ทำความสะอาด และมีการปรับผิวลอนหลังคาให้แบนเรียบ เพื่อให้การประกอบแผ่นทองแดงแนบสนิทที่สุด(ก1) นำแผ่นทองแดงที่จะนำมาประกอบชุดทดลอง ขัดทำความสะอาดคราบน้ำมันสิ่งสกปรก(ก2) เตรียมกล่องพลาสติก ขนาดกว้าง 0.15x ยาว 0.23 xสูง 0.07 เมตร นำมาติดแผ่นฉนวนกันความร้อนโดยรอบกล่องเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่กล่องทดสอบ(ก3) เตรียมแผงอลูมิเนียมช่วยระบายอากาศ(Heat Sink)ขนาดกว้าง 0.05xยาว0.20 xสูง0.02 เมตร จำนวน 2 ชิ้น สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก 4 หน่วย(ก4)



(ก1)



(ก2)



(ก3)



(ก4)

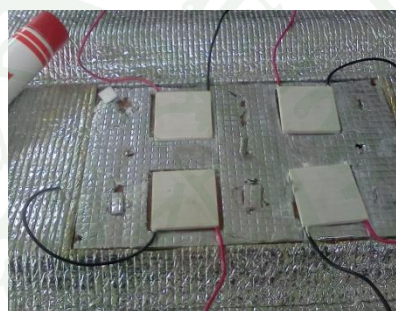
ภาพที่ 24 ชุดภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมวัสดุ ก1) ทำความสะอาดแผ่นหลังคาโลหะให้สะอาด
ก2) ขัดเปิดผิวหน้าแผ่นทองแดง ก3) นำแผ่นฉนวนปิดภายในกล่องพลาสติก
ก4) เตรียมอลูมิเนียมระบาย (Heat sink)

ข) ขั้นตอนประกอบชุดทดลองของแต่ละส่วน คือ ประกอบแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก กับแผ่นทองแดง นำแผ่นทองแดง ปิดฉนวนกันความร้อน Pu foam มีฟอลย์ เปิดพื้นที่บริเวณที่ต้องการ ติด เทอร์โมอิเล็กทริกกับแผ่นทองแดง(ข1) นำเทอร์โมอิเล็กทริก วางลงบริเวณที่เผื่อพื้นที่ไว้(เป็น

การทดลองประกอบ) ตรวจสอบความสนิท ความพอดีของชุดแผ่นทองแดงกับหลังคาโลหะ และ เทอร์โมอิเล็กทริกกับแผ่นทองแดง (ข2) นำกล่องพลาสติก เจาะช่องขนาดเท่ากับเทอร์โมอิเล็กทริก จำนวน 4 ช่องเท่ากับจำนวน เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ (ข3) ทดลองประกอบแผงอลูมิเนียมระบายกับ กล่องพลาสติก (ข4) ทดลองประกอบเทอร์โมอิเล็กทริกกับแผ่นทองแดง เพื่อตรวจเช็คความ เรียบร้อยอีกครั้ง (ข5) นำกล่องพลาสติกที่เตรียมไว้ ตัดขอบเพื่อเปิดช่องให้อากาศเข้า สำหรับพัด ลมระบาย (ข6) นำฝากล่องพลาสติกประกอบพัดลมระบายอากาศ (DC Fan) (ภาพที่ 25)



(ข1)



(ข2)



(ข3)



ภาพที่ 25 การประกอบอุปกรณ์ตัวทดสอบแต่ละส่วน ข1) ทาซิลิโคนที่เทอร์โมอิเล็กทริก ข2) ประกอบเทอร์โมอิเล็กทริกติดกับแผ่นทองแดงที่เตรียมได้ ข3) เจาะรูกล่องพลาสติกเว้น พื้นที่สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก ข4) ทดลองวางแผงอลูมิเนียมระบายวัดขนาดให้ลงตัว กับชุดเทอร์โมอิเล็กทริก ข5) ทดลองวางแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกกับช่องที่พลาสติกที่ เตรียมไว้เพื่อตรวจเช็คความคาดเคลื่อนก่อนติดตั้งจริง ข6) ประกอบพัดลมกับฝากล่อง



(๑๔)



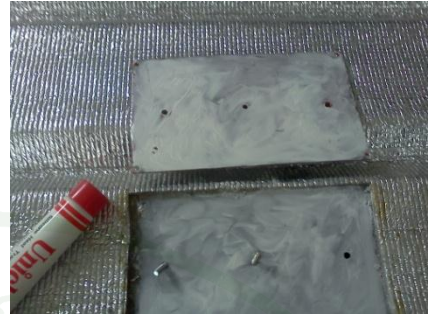
(๑๕)



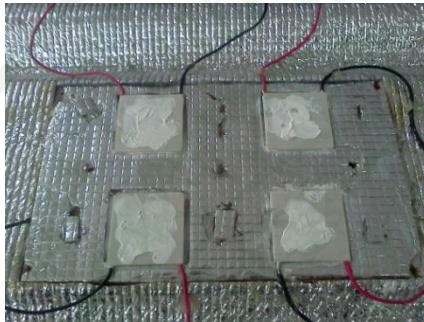
(๑๖)

ภาพที่ 25 (ต่อ)

ค) ขั้นตอนประกอบส่วนรับ เก็บความร้อน และผลิตกระแสไฟฟ้าที่เตรียมไว้ มาประกอบ เริ่มจากการนำซิลิโคนช่วยระบายความร้อนด้านหลังคาโลหะ แผ่นทองแดงให้ทั่วแผ่น นำเทอร์โมอิเล็กทริกและแผ่นทองแดงประกบกับหลังคาโลหะ(ค1) ทาซิลิโคนช่วยระบายที่เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อยึดกล่องพลาสติกประกอบแผงอลูมิเนียมและยึดด้วยน็อต(ค2) นำชุดพัดลมประกอบกล่องทดสอบที่ประกอบด้วยหลังคาโลหะ แผ่นทองแดง ชุดเทอร์โมอิเล็กทริก(ค3)(ภาพที่ 26)



(ค1)

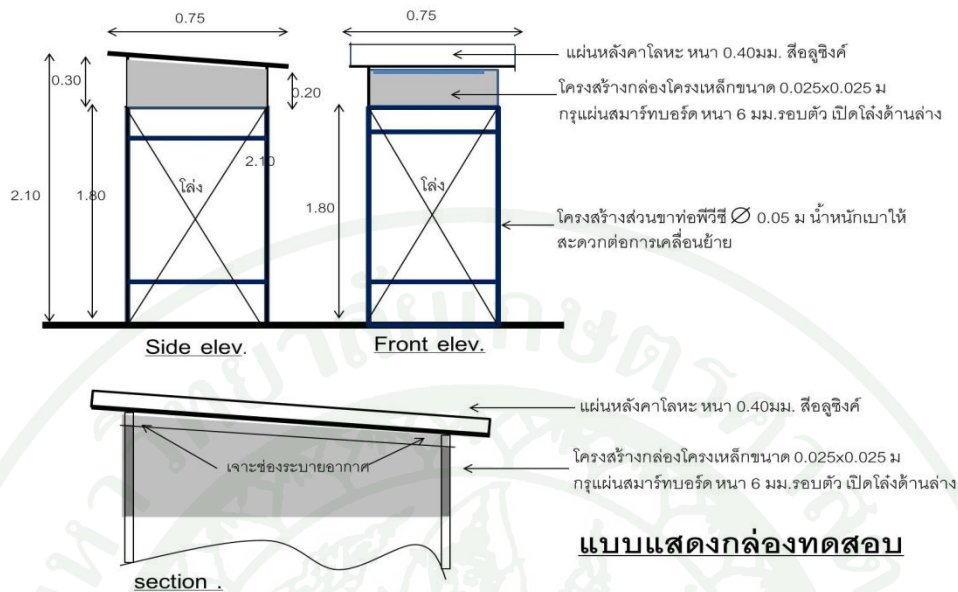


(ค2)



(ค3)

ภาพที่ 26 การประกอบหลังคาโลหะ ชุดรับความร้อน(ค1) ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า(ค2) และชุดพัดลมระบาย(ค3)



ภาพที่ 27 แบบร่างต้นแบบกล่องทดสอบส่วนรับและเก็บความร้อน

2. การจัดทำกล่องทดสอบ

กล่องทดสอบ ขนาดกว้าง 0.75x ยาว 0.75 x สูง 2.10 เมตร โครงสร้างกล่องเหล็กกล่อง ขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว ปิดด้านข้างโดยรอบตัว ด้วยแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ สมาร์ทบอร์ดหนา 6 มิลลิเมตร เจาะช่องระบายอากาศเพื่อลดภาวะความร้อนด้านในกล่องทดลอง (นิติต, 2539) ขนาด กว้าง 0.05 x ยาว 0.60 เมตร ด้านผนังแนวลาดเอียงหลังคา ประกอบกับชุดขาแยกส่วน โครงสร้างท่อ พีวีซี Ø 0.05 พร้อม ข้อต่อ ประกอบเป็น ชุดขาแยกส่วนจากกล่อง เพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย (ภาพที่ 28)



ภาพที่ 28 การประกอบกล่องทดลอง(ก)ประกอบกล่องทดลองและชุดรองรับ(ข)กล่องทดสอบ

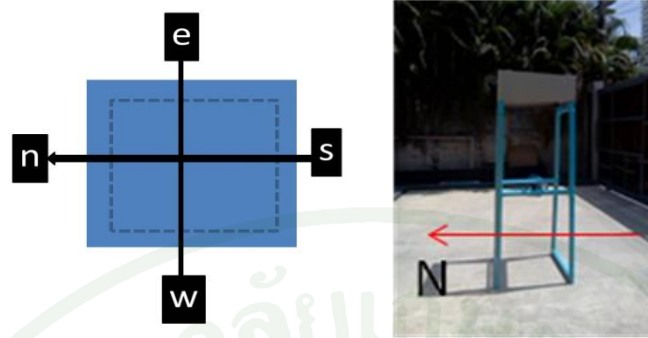
3. การติดตั้งกล่องทดสอบและอุปกรณ์เพื่อการตรวจวัด

ขั้นตอนนี้ครอบคลุม การตรวจสอบ ก่อนดำเนินการ และช่วงทดลองทุกขั้นตอน อาทิ เช่นการตรวจสอบ อุปกรณ์ วัสดุ ตัวแปรต่างๆที่อาจทำให้การทดลองผิดพลาด อาทิเช่น การตรวจสอบการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก ว่าอยู่ในสภาพใช้งานโดยการให้ความร้อนผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วตรวจเช็คค่าความต้านทานไฟฟ้า(ภาพที่ 26) และทำการตรวจสอบเทียบอุปกรณ์ (HOBO)ในการตรวจวัดอุณหภูมิ ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ว่ามีส่วนใดเสียหาย การตรวจสอบ จุดวัด ก่อนทุกครั้ง และมีการกำหนดตำแหน่งกล่องทดสอบและอุปกรณ์ตรวจวัดดังนี้



ภาพที่ 29 ทดสอบอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกก่อนการประกอบชุดทดสอบ

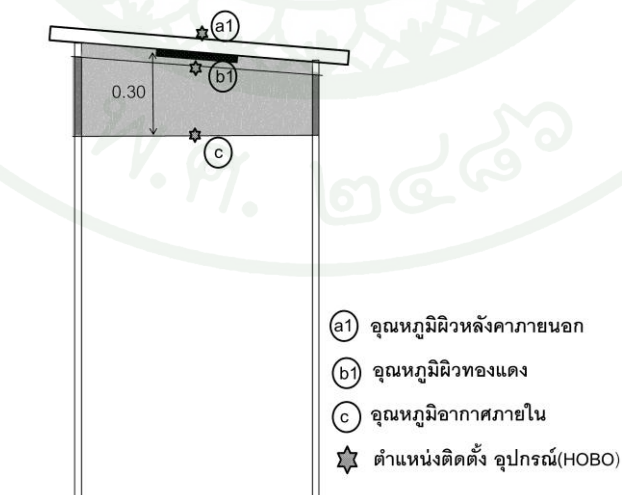
3.1 ตำแหน่งและทิศทางการวางตำแหน่งกล่องทดสอบในการทดลองกำหนดตำแหน่งวางกล่องทดสอบในที่โล่ง แฉ่ง ปราศจากเงา บดบังตลอดทั้งวัน และหันด้านองศาเฉียงของหลังคา รับแสงแดดทางด้านทิศใต้โดยทำการทดลองในชุดการทดลองที่ 1 ระหว่าง วันที่ 21-23 เมษายน 2555 การทดลองชุดที่ 2 ระหว่าง วันที่ 12-16 สิงหาคม 2555 และการทดลองชุดที่ 3 ระหว่าง วันที่ 22-24 สิงหาคม 2555 วัดผลการทดลอง ในช่วงเวลา 09.00-15.00 น.ของทุกชุดทดลอง ซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่แสงแดด มีรังสีความร้อนเข้มข้น และเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงของวัน (ภาพที่ 27)



ภาพที่ 30 การวางตำแหน่งกล่องทดสอบกับทิศทางของรังสีดวงอาทิตย์

3.2 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดในแต่ละชุดทดลอง โดยแยกตามวัตถุประสงค์การทดลอง ดังนี้

3.2.1 ชุดการทดลองที่ 1 ทดสอบอุณหภูมิแผ่นหลังคาโลหะ(ผิวหลังคาภายนอก) แผ่นทองแดง(ผิวทองแดงภายในหลังคา) และอุณหภูมิภายในกลางกล่อง(ใต้หลังคา) ใช้เวลาในการทดสอบ 3 วัน ระหว่างวันที่ 21-23 เมษายน 2555 โดยมีการตั้งค่าการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิในทุก 10 นาที ตลอดระยะเวลา 3 วัน นำผลมาพิจารณาเฉพาะ ช่วงเวลา 9.00-15.00 น. โดยกำหนด จุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด 3 จุด ดังนี้



ภาพที่ 31 กำหนดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ ชุดทดลองที่ 1

a1) อุณหภูมิผิวหลังคาภายนอกโดยใช้กระดาษเทปกาฟพอลย์ติดตัว
ตรวจวัดให้แนบสนิท ไม่ให้มีฟองอากาศ (ภาพที่ 29) ที่ผิวหลังคาโลหะ



ภาพที่ 32 การติดอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก (a.) การติดตัววัดผลที่จะต้องให้
แนบสนิท

b1) อุณหภูมิผิวทองแดงภายใน โดยใช้กระดาษเทปกาฟพอลย์ติดตัว
ตรวจจับให้แนบสนิท ไม่ให้มีฟองอากาศ (ภาพที่ 30) ที่ผิวทองแดง



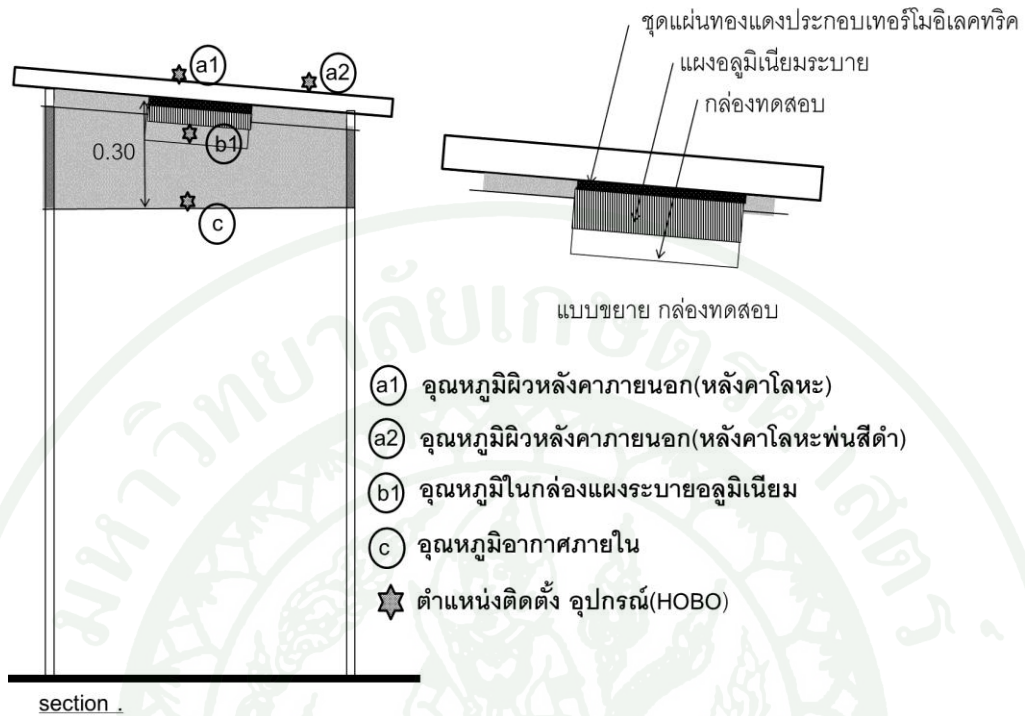
ภาพที่ 33 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด(b1) อุณหภูมิผิวทองแดงภายใน

C) อุณหภูมิอากาศ(ใต้หลังคาโลหะภายใน) เป็นการวัดผลเพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ผิว วัสดุ กับอุณหภูมิอากาศภายใน ให้ระยะห่างจากผิวหลังคาภายใน 0.30 ม. โดยให้อุปกรณ์ลอยในอากาศ อุปกรณ์ยึดใช้เอ็นมีความเป็นฉนวน เพื่อป้องกันการนำพาความร้อนสู่อุปกรณ์ตรวจวัด

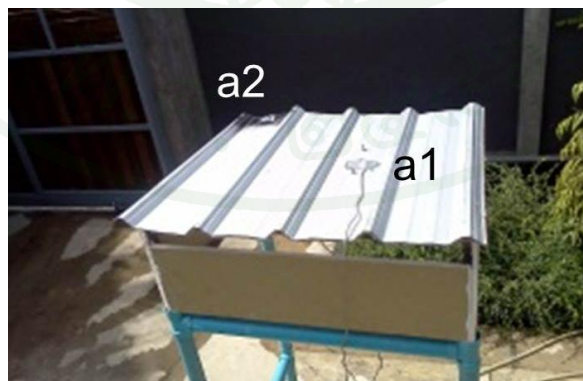


ภาพที่ 34 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด(c) อุณหภูมิอากาศระยะห่างจากหลังคา 0.30 เมตร

3.2.2 ชุดการทดลองที่ 2 ทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิหลังคาโลหะกับหลังคาโลหะพ่นสีดำ และวัดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากหลังคาโลหะในสภาพการระบายโดยธรรมชาติ ใช้เวลาในการทดสอบ 5 วัน ระหว่างวันที่ 12-16 สิงหาคม 2555 โดยมีการตั้งค่าการเก็บข้อมูล ของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิในทุก 30 นาที ตลอดระยะเวลา 5 วัน แสดงผลการบันทึก 5 วัน นำผลมาพิจารณาเฉพาะ ช่วง เวลา 9.00 -15.00 น.ของวันที่ 12,13,15,16 สิงหาคม 2555 โดยกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด 4 จุดดังนี้ (ภาพที่ 32)



ภาพที่ 35 กำหนดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและวัดแรงดันไฟฟ้า ชุดทดลองที่ 2
 a1) ผิวหลังคาภายนอก a2) ผิวหลังคาภายนอกพ่นสีดำ b2) ภายในกล่องแผง
 อลูมิเนียมช่วยระบายอากาศ c) อุณหภูมิภายในใต้หลังคา และ ตำแหน่งติดตั้ง
 อุปกรณ์ ตรวจวัด



ภาพที่ 36 ตำแหน่งติดอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอกหลังคาโลหะ (a1) กับ
 หลังคาโลหะพ่นสีดำ (a2)

a1) คุณหมุมิผิวหลังคาโลหะ(ภาพที่ 33)บริเวณกลางแผ่นหลังคา วัด
คุณหมุมิที่เกิดขึ้นกันผิวหลังคา ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านร้อน และวัดแรงดันไฟฟ้า

a2) คุณหมุมิผิวหลังคาโลหะพ่นสีดำพื้นที่ 0.20 x 0.20 ม.(ภาพที่ 33) ติด
อุปกรณ์ตรวจวัด เพื่อการเปรียบเทียบคุณหมุมิซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสีวัตถุ



ภาพที่ 37 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (b1) วัดคุณหมุมิด้านเย็นของชุดทดสอบ

b1) คุณหมุมิภายในบริเวณแผงระบายอุณหภูมินิยมโดยให้ตัววัดอยู่ระหว่าง ช่อง
ระบายอุณหภูมินิยม ลอยในอากาศ (ภาพที่ 37)

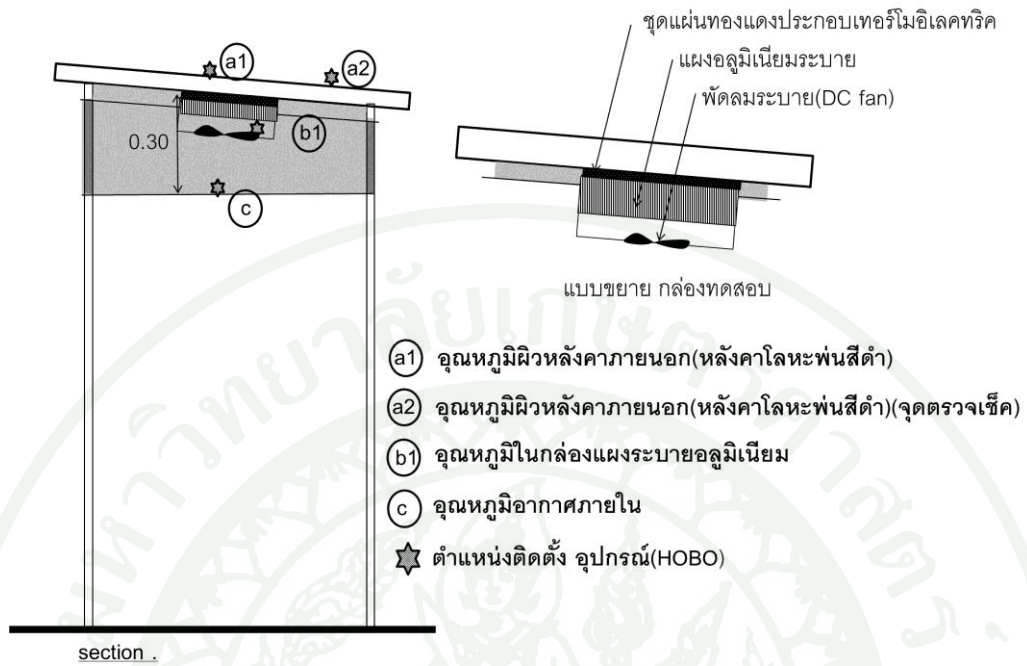


ภาพที่ 38 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด (c) อุณหภูมิอากาศภายในใต้หลังคา

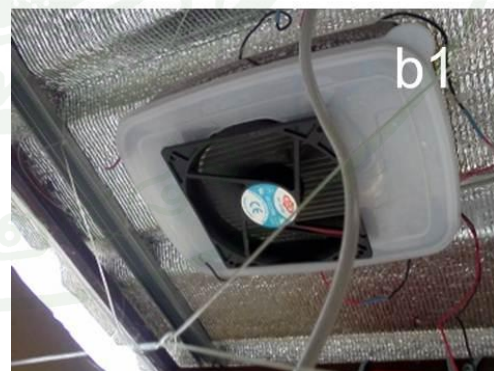
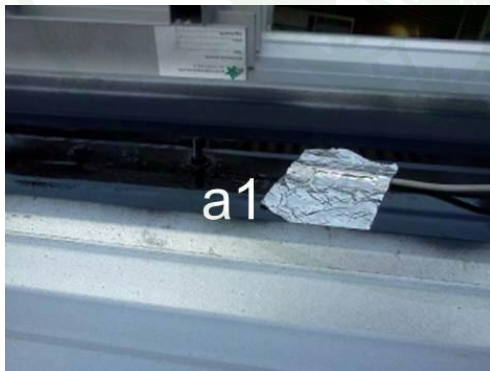
c) อุณหภูมิอากาศ (ใต้หลังคาโลหะภายใน) เป็นการวัดผลเพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ผิววัสดุ กับอุณหภูมิอากาศภายใน ให้ระยะห่างจากผิวหลังคาภายใน 0.30 ม. โดยให้อุปกรณ์ลอยในอากาศ อุปกรณ์ยึดใช้เอ็นมีความเป็นฉนวน เพื่อป้องกันการนำพาความร้อนสู่อุปกรณ์ตรวจวัด

3.2.3 ชุดการทดลองที่ 3 การตรวจวัดอุณหภูมิหลังคาโลหะพ่นสีดำ และวัดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากเทอร์โมอิเล็กทริกในสภาพการระบายโดยใช้พัดลม ใช้เวลาในการทดสอบ 3 วัน ระหว่างวันที่ 22-24 สิงหาคม 2555 โดยมีการตั้งค่าการเก็บข้อมูล ของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิใน ทุก 30 นาที ตลอดระยะเวลา 3 วัน และนำผลมาพิจารณาเฉพาะ ช่วงเวลา 9.00 - 15.00 น. โดยกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ 4 จุดดังนี้

a1) อุณหภูมิผิวหลังคาโลหะพ่นสีดำพื้นที่ 0.20×0.40 ม. ติดอุปกรณ์ตรวจวัด เพื่อการวัดผลแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 39 กำหนดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ และแรงดันไฟฟ้า ชุดทดลองที่ 3
a1) ผิวหลังคาภายนอก a2) ผิวหลังคาภายนอกพ่นสีดำ b1) ภายในกล่องแผงระบายอุณหภูมิช่วยระบายอากาศ c) อุณหภูมิภายในใต้หลังคา



ภาพที่ 40 จุดติดตั้ง(a1) แผ่นหลังคาโลหะพ่นสีดำ ขนาด 0.20x0.40 ม. (b1)จุดติดตั้งวัดอุณหภูมิด้านเย็นของชุดกล่องทดสอบ ภายในกล่องพลาสติก

a1) อุณหภูมิผิวหลังคาโลหะ (ภาพที่ 37) บริเวณกลางแผ่นหลังคา วัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นผิวหลังคา ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านร้อน

b1) อุณหภูมิภายในกล่องพัสดุมเพื่อวัดอุณหภูมิค่าด้านเย็นของอุปกรณ์ในการใช้พัสดุมระบายอากาศ ซึ่งจะมีผลต่อค่า ΔT (ภาพที่ 37)

3.3 การเก็บและบันทึกผลการทดสอบ

การบันทึกผลใช้การแสดงผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป Box Car Pro 4.3 แล้วนำมาแสดงกราฟด้วยโปรแกรม Window Excel นอกจากนี้ยังใช้การจดบันทึกขณะที่ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และถ่ายภาพประกอบขณะตรวจวัดการทดลอง การตรวจวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าและมีการวัดผลแยกรายละเอียดดังนี้

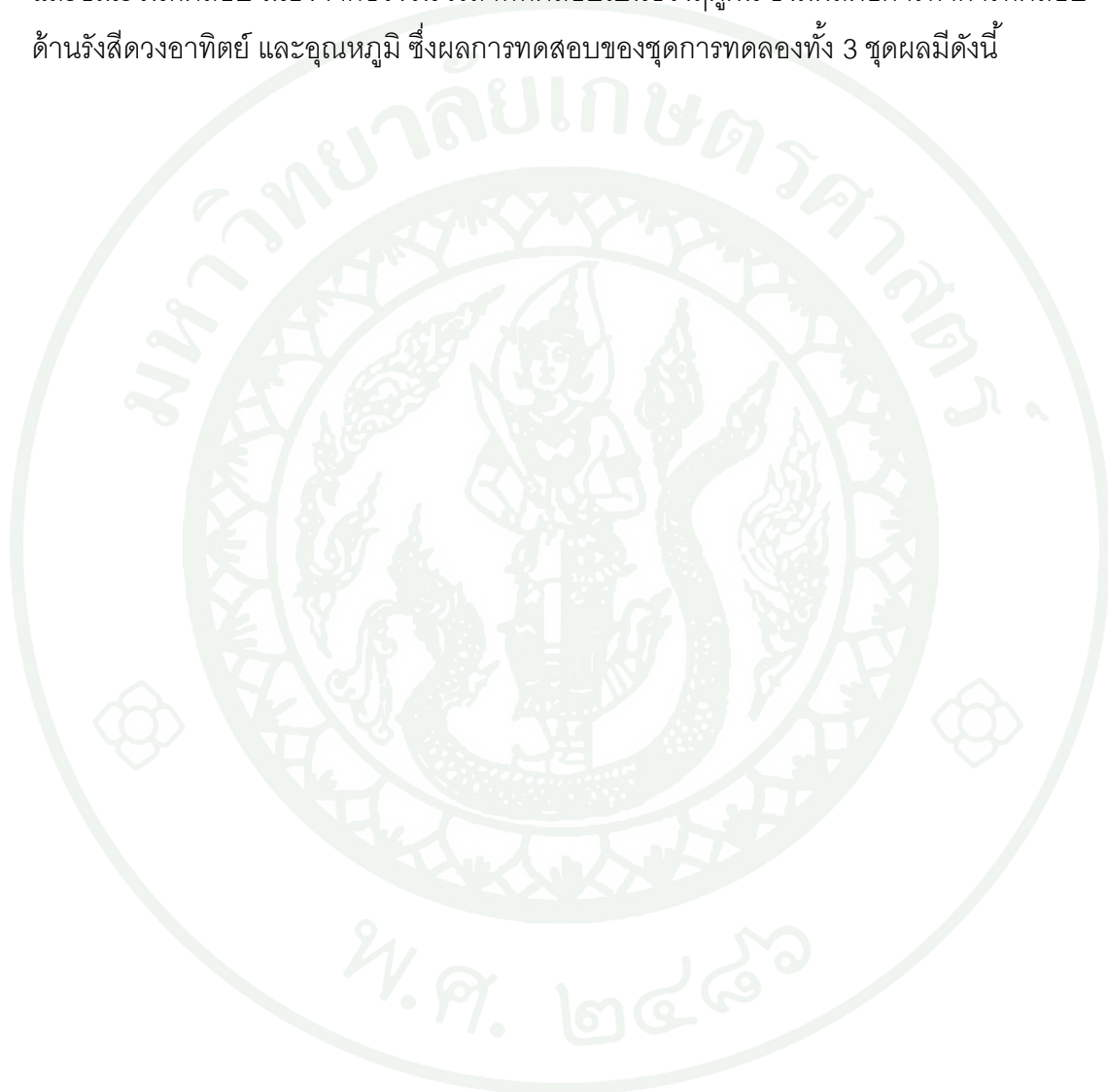
ชุดการทดลองที่ 1 วัดอุณหภูมิหลังคาโลหะภายนอก เปรียบเทียบผลอุณหภูมิผิวทองแดง และอุณหภูมิอากาศภายในใต้หลังคา ทุกๆ 10 นาที ระหว่างวันที่ 21-23 เมษายน 2555

ชุดการทดลองที่ 2 วัดอุณหภูมิหลังคาโลหะภายนอก เปรียบเทียบผลอุณหภูมิกับอุณหภูมิผิวหลังคาโลหะพื้นสีดำ วัดอุณหภูมิด้านเย็น ของเทอร์โมอิเล็กทริกบริเวณ แผงระบายอุณหภูมิเนียนในการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ และวัดอุณหภูมิอากาศภายในใต้หลังคา วัดแรงดันไฟฟ้าจากหลังคาโลหะ แสดงผลอุณหภูมิทุก 30 นาที พิจารณาช่วงเวลา 9.00-15.00 น. ระหว่างวันที่ 12-16 สิงหาคม 2555

ชุดการทดลองที่ 3 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากหลังคาโลหะพื้นสีดำ วัดอุณหภูมิด้านเย็นในการระบายอากาศด้วยพัสดุม แสดงผลอุณหภูมิทุกๆ 30 นาที พิจารณาช่วงเวลา 9.00-15.00 น. ระหว่างวันที่ 22-24 สิงหาคม 2555

การบันทึกผลใช้การแสดงผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป Box Car Pro 4.3 แล้วนำมาแสดงกราฟ ด้วยโปรแกรม Window Excel นอกจากนี้ยังใช้การจดบันทึก และถ่ายภาพประกอบ

การทดลอง การตรวจวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากชุดทดลอง ในแผนการทดลองที่ 2 และ 3 ในการการสุ่มตรวจวัด ในช่วงเวลาที่แสงแดดจ้า ซึ่งในบางครั้งสภาพอากาศ ไม่เอื้อต่อการวัดผลอาจมีเมฆ บดบังแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังตรวจเช็คสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา ก่อนล่วงหน้า และขณะวันทดสอบ เนื่องจากช่วงวัน เวลาที่ทดสอบเป็นช่วงฤดูฝน ซึ่งมีผลต่อการทำการทดสอบด้านรังสีดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิ ซึ่งผลการทดสอบของชุดการทดลองทั้ง 3 ชุดผลมีดังนี้



ผลและวิจารณ์

ผล

ในการทดสอบชุดการทดลองทั้ง 3 การทดลองใน 3 ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน และวัตถุที่แตกต่างกัน ดังนี้

1) การทดลองที่ 1 การทดสอบอุณหภูมิ แผ่นหลังคาลิโหะ แผ่นทองแดง และอุณหภูมิภายในใต้หลังคา (กลางกล่องทดลอง) ระหว่างวันที่ 21-23 เมษายน 2555 ช่วงเวลา 9.00น.-15.00 น. แสดงการเปรียบเทียบ ค่าอุณหภูมิ สูงสุดและต่ำของแต่ละจุดติดตั้ง ณ เวลานั้นๆ

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิผิวหลังคาด้านนอก ผิวทองแดงด้านใน อุณหภูมิภายในกลาง กล่องใต้หลังคา และผลความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างผิวหลังคาลิโหะภายนอก กับผิวทองแดงด้านในระหว่างวันที่ 21-23 เมษายน 2555 (9.00 – 15.00 น.)

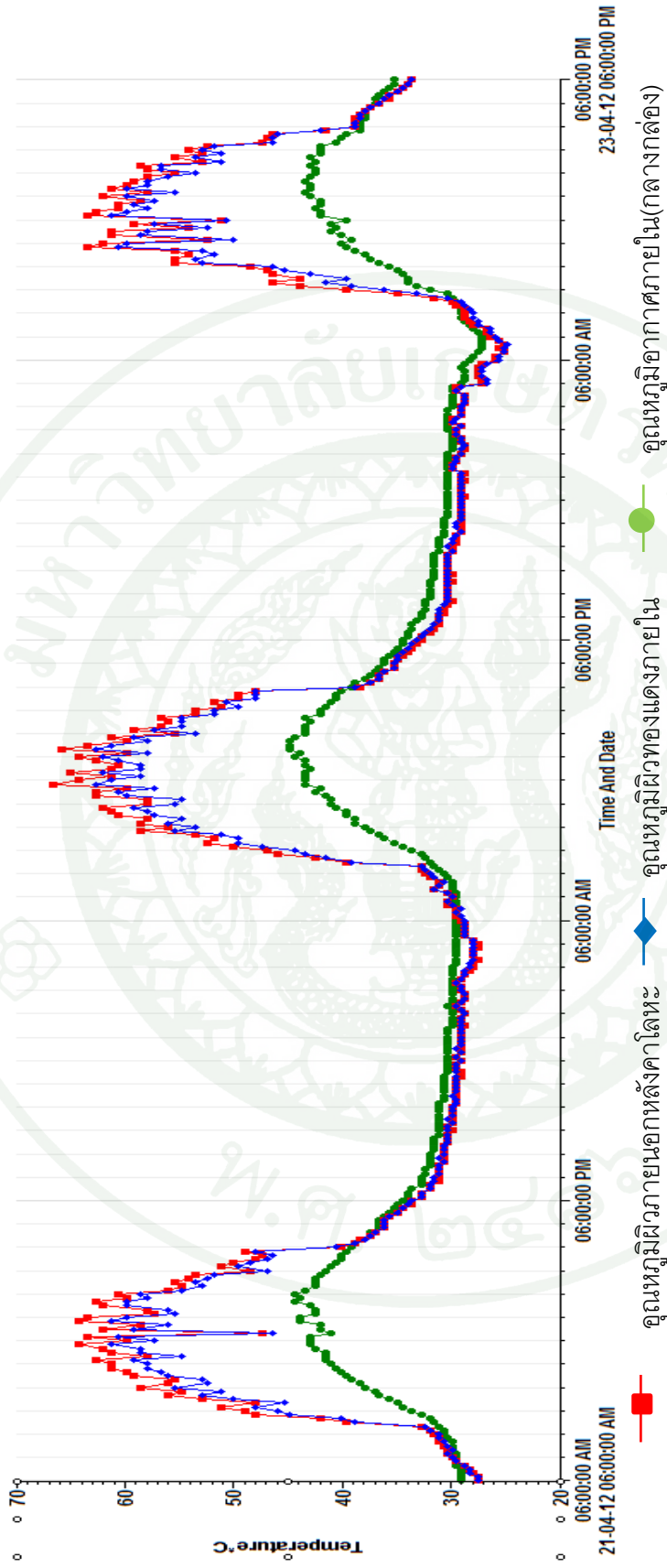
วัน		21/4/55	22/4/55	23/4/55
เวลา(ชม.)	อุณหภูมิ	°C	°C	°C
9:00	ผิวหลังคาด้านนอก(T-Spot)	49.02	46.91	39.67
	ทองแดงด้านใน(T-hot)	45.89	44.40	36.13
	ภายในใต้หลังคา	33.59	33.69	31.93
	ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	3.13	2.51	3.54
10:00	ผิวหลังคาด้านนอก(T-Spot)	58.55	55.97	48.49
	ทองแดงด้านใน(T-hot)	55.35	53.53	46.4
	ภายในใต้หลังคา	37.88	37.88	35.7
	ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	3.2	2.44	2.09
11:00	ผิวหลังคาด้านนอก(T-Spot)	61.29	57.89	2.01
	ทองแดงด้านใน(T-hot)	57.89	55.35	59.9

ตารางที่ 2 (ต่อ)

วัน		21/4/55	22/4/55	23/4/55
เวลา(ชม.)	อุณหภูมิ	°C	°C	°C
	ภายในใต้หลังคา	41.05	41.05	0.13
	ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	3.4	2.54	2.11
12:00	ผิวหลังคาด้านนอก(T-Spot)	59.90	64.24	51.22
	ภายในใต้หลังคา	42.94	43.42	39.67
	ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	2.66	2.95	0.56
13:00	ผิวหลังคาด้านนอก(T-Spot)	63.48	64.24	62.01
	ทองแดงด้านใน(T-hot)	59.90	62.01	59.9
	ภายในใต้หลังคา	41.05	44.4	42.94
	ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	3.58	2.23	2.11
14:00	ผิวหลังคาด้านนอก(T-Spot)	60.59	55.35	55.35
	ทองแดงด้านใน(T-hot)	58.55	53.53	53.53
	ภายในใต้หลังคา	44.40	43.42	42.46
	ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	2.04	1.82	1.82
15:00	ผิวหลังคาด้านนอก(T-Spot)	48.49	53.53	54.13
	ทองแดงด้านใน(T-hot)	46.91	39.67	52.95
	ภายในใต้หลังคา	41.52	31.93	41.99
	ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	1.58	3.54	1.18

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ(ภาพที่ 41) ระหว่างวันที่ 21-23 เมษายน 2555 เวลา 9.00 น. ค่าอุณหภูมิผิวภายนอก อุณหภูมิผิวผิวทองแดง(T-Hot) และอุณหภูมิภายในใต้หลังคากลางกล่อง ทดลอง พบว่าอุณหภูมิต่ำสุด อาจจะเป็นเพราะในช่วงเช้าอุณหภูมิภายในใต้หลังคายังเย็นอยู่ เนื่องจากมีการสะสมความเย็นในช่วงกลางคืน เมื่อเริ่มมีความร้อนสะสมเพิ่มมากขึ้นในตอนเที่ยง และมากที่สุดช่วงบ่าย จึงเป็นผลให้ ผิวหลังคาด้านนอก อุณหภูมิผิวทองแดง และค่าความแตกต่างอุณหภูมิ สูงสุดในเวลา 13.00 น. ส่วนอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 41 กราฟแสดงการตรวจวัดผลการทดลองชุดที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอกห้องโต๊ะ อุณหภูมิผิวของแผงภายใน และอุณหภูมิอากาศภายใน (กลางกอล่งได้ห้อง) ระหว่างวันที่ 21-23 เมษายน 2555 เปรียบเทียบ 3 จุดทดสอบ เวลา 9:00-15:00 น.(ภาคผนวก ก1)

ภายในใต้หลังคา เริ่มมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลา 13.00 น.และลดต่ำสุดในเวลา 15.00น. รวมทั้งผิวหลังคาภายนอก และอุณหภูมิผิวทองแดงด้วย

อุณหภูมิผิวภายนอก(T-spot) ช่วงเวลาที่อุณหภูมิ สูงที่สุดของการทดลอง เวลา 12.00 น.และ 13.00 น. ซึ่งถือเป็นช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์มีความเข้มสูง มีผลต่ออุณหภูมิผิวหลังคา ภายนอก ผิวทองแดง และอุณหภูมิภายในกล่องใต้หลังคาสูงสุด เมื่อพิจารณา ค่า ΔT จากผลการทดสอบพบว่า การที่จะทำให้เพิ่มค่า ΔT ให้มีค่าที่สูงควรลดอุณหภูมิภายในใต้หลังคาให้ต่ำลง จะสามารถลดอุณหภูมิจากทองแดงลงได้ ค่า ΔT ก็จะเพิ่มขึ้นได้

ตารางที่ 3 ผลสรุปข้อมูลจากการทดสอบระหว่าง 21– 23 เมษายน 2555 เวลา (9.00 – 15.00 น.)สรุปดังนี้

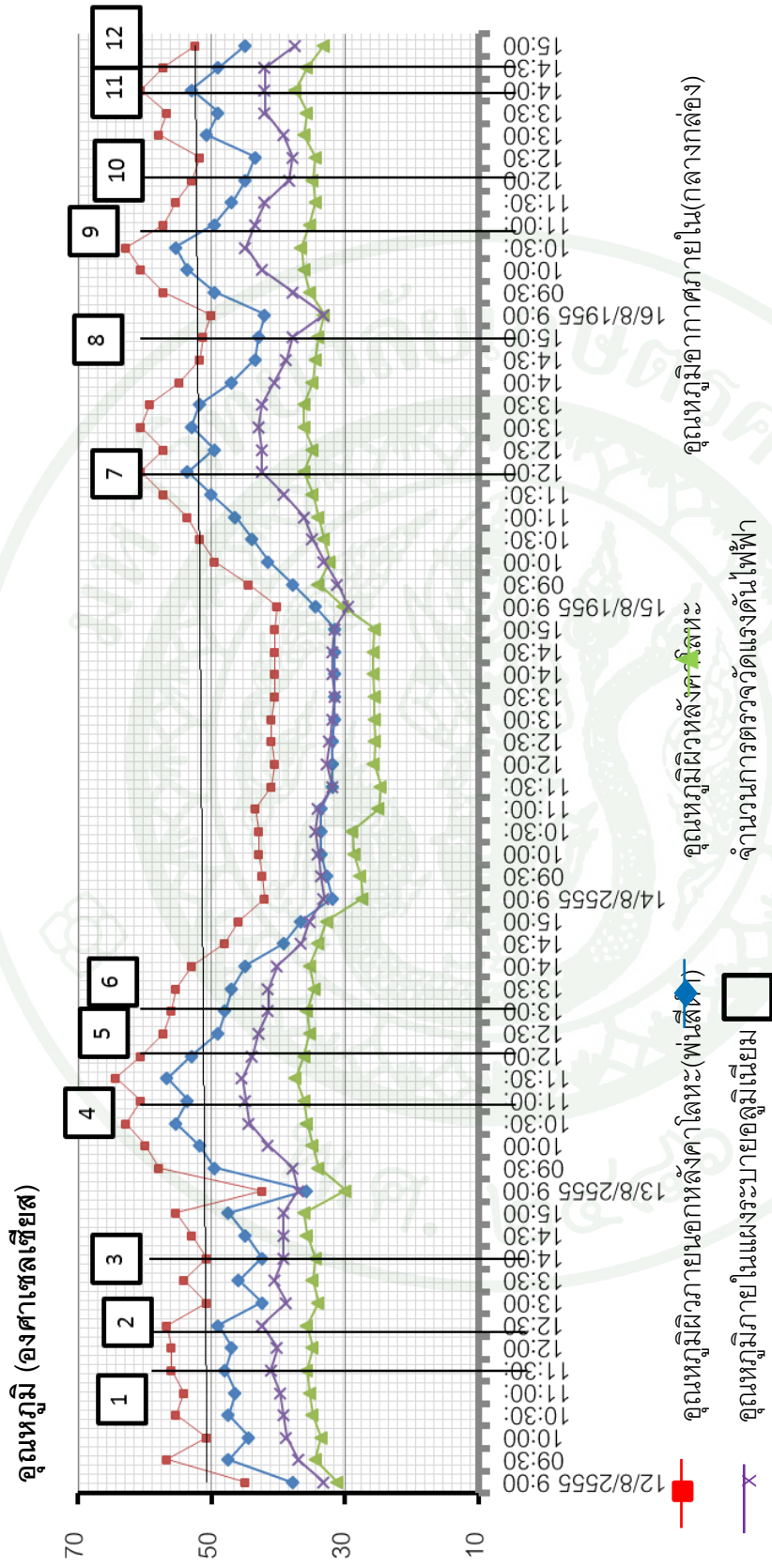
ตำแหน่งตรวจวัด	ต่ำสุด °C	เวลา	สูงสุด°C	เวลา
ผิวหลังคาด้านนอก(T-Spot)	48.49	15.00 น.	64.24	13.00 น.
ทองแดงด้านใน(T-hot)	36.13	9.00 น.	62.01	13.00 น.
ภายในใต้หลังคา	31.91	15.00 น.	44.4	13.00 น.
ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	1.18	15.00 น.	3.58	13.00 น.

จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก ผิวทองแดง อุณหภูมิภายในหลังคา และผล ความแตกต่างอุณหภูมิในช่วง 13.00 น.มีค่าสูงสุดทุกตำแหน่ง แสดงว่าแสงอาทิตย์มีความเข้มสูง ในช่วงเวลาดังกล่าวและจะลดลงตามลำดับในช่วงที่ดวงอาทิตย์เริ่มเคลื่อนไปทางทิศตะวันตก ส่วน ค่าอุณหภูมิต่ำสุด กับผิวทองแดงในช่วงเวลา 9.00 น. ก็เกิดจากการที่ภายในหลังคายังมี ความเย็น สะสมอยู่ในเวลากลางคืน และผิวทองแดงมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำมีผลให้เกิดการ ถ่ายเทความร้อนได้มากทั้งช่วงกลางวันและกลางคืน

การทดลองพบว่า อุณหภูมิที่เกิดกับชุดทดลองยังคงเป็นไปตามสมมุติฐานในด้านการ ถ่ายเทความร้อน ของแผ่นหลังคาโลหะ และแผ่นทองแดง ในบางช่วงเวลากภาพมีผลการ เปลี่ยนแปลงค่อนข้างเร็ว เนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาดังกล่าวทำให้มีความกด อากาศต่ำเข้าปกคลุมประเทศไทยในช่วงกลางและปลายเดือน ทำให้มีเมฆปกคลุม และมีฝนตก

(ภาคผนวก ค) (กรมอุตุนิยม, 2555) ดังนั้นสภาพภูมิอากาศแวดล้อมเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ การแสดงค่าการรับความร้อนของวัสดุที่นำมาทดสอบยังคงแสดงศักยภาพการรับและสะสมความร้อนได้ดี โดยเปรียบเทียบแผ่นหลังคาโลหะอุณหภูมิเฉลี่ย 58.92°C ส่วนอุณหภูมิจากแผ่นทองแดง อุณหภูมิเฉลี่ย 56.38°C มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ วัสดุสองชนิดอยู่ที่ 2.5°C ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการประกอบกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าได้

2) การทดลองที่ 2 การทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิหลังคาโลหะ กับหลังโลหะพ่นสีดำ และวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ในสภาพการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติระหว่างวันที่ 12-16 สิงหาคม 2555 (ภาพที่ 42) เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการรับความร้อนของหลังคาโลหะ (T-Hot) ให้มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนในปริมาณสูงขึ้น และพัฒนา ชุดทดลอง โดยการเพิ่มแผงอุณหภูมิต่ำ (Heat sink) ช่วยระบายอากาศของชุดทดลองด้านเย็น (T-Cool) ซึ่งหากสามารถทำให้ผลความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อน (T-Hot) และ (T-Cool) มีค่าที่สูงเทอร์โมอิเล็กทริกก็จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น ซึ่งการทดลองนี้ศึกษา ทั้ง T-Hot และ T-Cool ส่วนการพัฒนาชุดทดลองให้มีประสิทธิภาพการรับความร้อนมากขึ้นโดยการทำให้หลังคาโลหะเป็นสีดำซึ่งสมมุติฐาน เรื่องสีของวัสดุ น่าจะช่วยให้มีผลต่อการรับความร้อน การทดลองที่ 2 อาศัยการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในการระบายความร้อนด้านเย็นของชุดทดลอง



ภาพที่ 42 กราฟแสดงการตรวจวัดผลการทดลองที่ 2 อุณหภูมิผิวภายนอกห้องค่าโลหะ อุณหภูมิภายในแผงระบายอุณหภูมิใหม่ (กลางกถองใต้ห้องค่า) และอุณหภูมิภายในแผงระบาย ระหว่าง วันที่ 12-16 สิงหาคม 2555 โดยวิธีการธรรมชาติ

ตารางที่ 4 แสดงผลตรวจวัดอุณหภูมิการทดลองที่ 2 ผิวหลังคาโลหะภายนอกสี

มาตรฐาน,ผิวหลังคาโลหะพ่นสีดำ อุณหภูมิภายในใต้หลังคา อุณหภูมิแผงระบาย (T-Cool) ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)ของหลังคาภายนอกสีมาตรฐานกับแผงระบาย และวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ระหว่าง วันที่ 12-16 สิงหาคม 2555 เวลา 9.00-15.00น.

วัน	เวลา(ชม.)	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	°C
12 สิงหาคม 55	11.30	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	47.96
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	55.97
		ภายในใต้หลังคา	35.7
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	41.05
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	6.91
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.036
		12.30	12.30
ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	56.60		
ภายในใต้หลังคา	35.7		
อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	42.46		
ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	6.54		
แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.050		
14.30	14.30		
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	52.95
		ภายในใต้หลังคา	35.7
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	39.22
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	5.67
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.053
		13 สิงหาคม 55	11.00
ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	60.59		
ภายในใต้หลังคา	36.13		

ตารางที่ 4 (ต่อ)

วัน	เวลา(ชม.)	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	°C
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	44.89
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	6.44
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.034
	12.00	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	52.95
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	60.59
		ภายในใต้หลังคา	36.13
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	43.91
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	9.04
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.037
	13.00	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	47.96
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	55.97
		ภายในใต้หลังคา	35.7
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	41.52
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	6.44
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.034
15 สิงหาคม 55	12.00	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	53.53
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	60.59
		ภายในใต้หลังคา	36.13
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	42.46
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	11.07
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.05
	12.30	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	43.42
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	57.24
		ภายในใต้หลังคา	34.85
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	37.88

ตารางที่ 4 (ต่อ)

วัน	เวลา(ชม.)	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	°C
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	11.07
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.084
	13.30	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	49.02
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	59.22
		ภายในใต้หลังคา	36.13
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	41.99
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	7.03
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.059
	14.00	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	52.95
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	54.74
		ภายในใต้หลังคา	34.85
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	41.99
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	10.96
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.024
16 สิงหาคม 55	11.00	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	49.56
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	59.22
		ภายในใต้หลังคา	35.27
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	43.42
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	6.14
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.024
	12.00	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	44.89
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	52.95
		ภายในใต้หลังคา	34.85
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	38.32
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	6.57

ตารางที่ 4 (ต่อ)

วัน	เวลา(ชม.)	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	°C
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.059
	14.00	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	52.95
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	60.59
		ภายในใต้หลังคา	37.44
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	41.97
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	10.98
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.084
	14.30	ผิวหลังคาภายนอกสีมาตรฐาน	49.02
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ(T-hot)	57.24
		ภายในใต้หลังคา	35.7
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	41.99
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	7.03
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.055

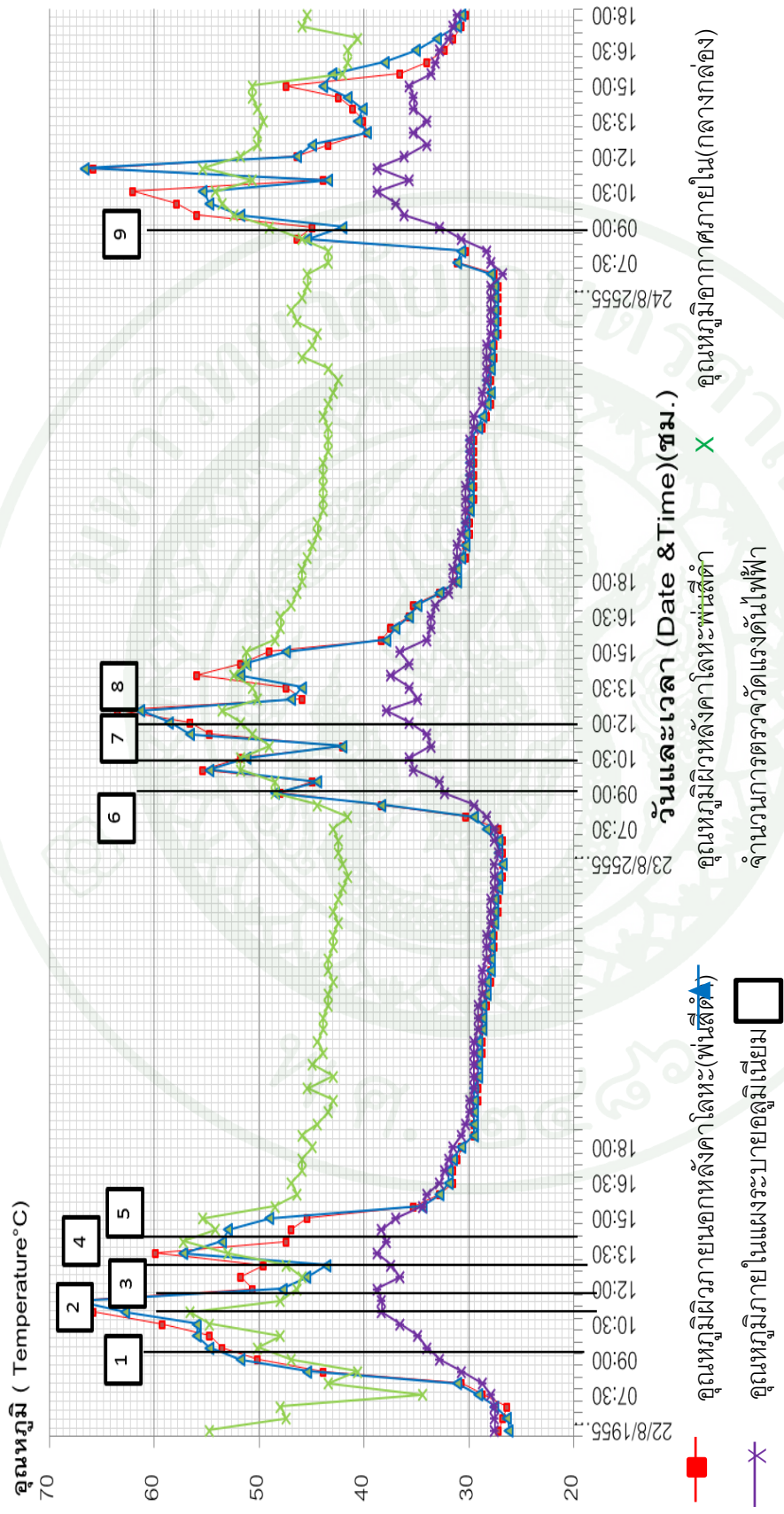
ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ เปรียบเทียบ อุณหภูมิภายนอกผิวหลังคาโลหะมาตรฐานพ่นสีดำ มีค่าสูงสุด 60.59°C ช่วงเวลา 11.00 น.วันที่ 13 สิงหาคม 2555และผิวหลังคาสีมาตรฐานมีค่าสูงสุดวันและเวลาเดียวกันคือ 53.53 °C เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของหลังคาเมื่อพ่นสีดำทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 7.06°C ซึ่งเป็นไปได้ว่าการ พ่นสีดำที่แผ่นหลังคา ทำให้เกิดการดูดความร้อนและสะสมความร้อนมีผลทำให้อุณหภูมิของผิวหลังคาสูงขึ้น

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของชุดผลิตกระแสไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก อุณหภูมิด้านร้อน จากหลังคาโลหะ(T-Hot) เมื่อเปรียบเทียบกับ อุณหภูมิภายในใต้หลังคา กับอุณหภูมิที่แผงระบายอุณหภูมิเย็น(T-Cool) ในการระบายโดยธรรมชาติ ผลลัพธ์ดังสมการ T-Hot- T-Cool = ΔT เท่ากับ 53.53 °C- 44.89°C = 8.64°C ค่าความแตกต่างอุณหภูมิต่ำมาก ΔT มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก และการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่แผง

ระบายอุณหภูมิเนี่ยมกับ อุณหภูมิภายในใต้หลังคา ผลลัพธ์เท่ากับ $44.89^{\circ}\text{C} - 37.44^{\circ}\text{C} = 7.45^{\circ}\text{C}$
 อุณหภูมิแผงระบายอุณหภูมิเนี่ยมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายในใต้หลังคา แสดงว่าหลังคาโลหะมีการ
 สะสมความร้อน และเก็บกักความร้อน อาศัยเพียงการระบายอากาศโดยธรรมชาติไม่เพียงพอ
 สำหรับการทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตแรงดันไฟฟ้าในปริมาณสูงได้

การผลิตแรงดันไฟฟ้าของชุดทดลอง ต้องอาศัยค่าความแตกต่างอุณหภูมิที่สูงมาก การ
 ตรวจวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบค่าอุณหภูมิ สูงสุดที่ได้ คือ 0.084 V . ΔT
 10.98°C เวลา 14.00 น.การผลิตกระแสไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นการสะสมพลังงานความ
 ร้อน หากสภาพอากาศมีความร้อน สม่าเสมอ จะส่งผลดีต่อการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก

3) การทดลองที่ 3 เป็นการตรวจวัดอุณหภูมิหลังคาโลหะพ่นสีดำ และวัดแรงดันไฟฟ้า
 จากเทอร์โมอิเล็กทริก (ภาพที่ 43) ในสภาพการระบายด้วยพัดลม เพื่อให้ชุดทดลองมี
 ความสามารถในการรับปริมาณความร้อนให้สูงขึ้น (T-Hot) และมีการทำให้อุณหภูมิด้านเย็น (T-
 Cool) ของชุดทดลองระบายความร้อนได้มากขึ้นและรวดเร็วขึ้น โดยการเพิ่มพัดลม Dc Fan ดูด
 อากาศจำนวน 1 ตัว ในตำแหน่งแผงอุณหภูมิเนี่ยม (Heat sink) ของกล่องทดลอง โดยผลลัพธ์ของค่า
 อุณหภูมิของ ΔT เพื่อจะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นกว่าการทดลองที่ 2 ทำการทดลองจำนวน 3
 วัน ระหว่างวันที่ 22-24 สิงหาคม 2555 ผลเป็นดังนี้



ภาพที่ 43 กราฟแสดงการตรวจวัดผลการทดลองที่ 3 อุณหภูมิภายนอกห้องค่าโดยหะพื่นสี่ตัว, อุณหภูมิภายในห้องค่าโดยหะพื่นสี่ตัว (ตรวจเช็ค), อุณหภูมิภายใน (กลางห้อง)ได้หะงัดค่าและอุณหภูมิภายในแฉงระบายโดยพัดลม ระหว่าง วันที่ 22-24 สิงหาคม 2555ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า 9 ครั้ง

ตารางที่ 5 แสดงผลตรวจวัดอุณหภูมิการทดลองที่ 3 ผิวหลังคาภายนอกพ่นสีดำ(T-Hot) และผิวหลังคาโลหะภายนอกพ่นสีดำ (จุดตรวจเช็ค) อุณหภูมิภายในใต้หลังคา อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)ระบายด้วยพัดลมผลต่างอุณหภูมิของ (T-HotและT-Cool) (ΔT) และแรงดันไฟฟ้า (Voltage)ระหว่าง วันที่ 22-24 สิงหาคม 2555 เวลา 9.00 - 15.00 น.

วัน	เวลา(ชม.)	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	°C	
22 สิงหาคม 55	9.30 น.	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	53.53	
		ภายในใต้หลังคา	50.11	
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	34.01	
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	19.52	
	10.00 น.	แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.118	
		ผิวหลังคาพ่นสีดำ	54.74	
		ภายในใต้หลังคา	47.85	
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	34.85	
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	19.89	
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.125	
		11.30 น.	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	67.42
			ภายในใต้หลังคา	47.96
อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	38.32			
ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	29.1			
13.00 น.	แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.188		
	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	49.56		
	ภายในใต้หลังคา	47.43		
	อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	37.44		
	ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	12.12		
14.00 น.	แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.157		
	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	47.43		

ตารางที่ 5 (ต่อ)

วัน	เวลา(ชม.)	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	°C
		ภายในใต้หลังคา	57.24
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	37.88
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	9.55
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.157
	14.30 น.	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	46.91
		ภายในใต้หลังคา	54.13
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	38.32
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	8.59
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.119
23 สิงหาคม 55	9.30 น.	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	44.89
		ภายในใต้หลังคา	48.49
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	32.76
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	12.13
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.118
	10.00 น.	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	55.35
		ภายในใต้หลังคา	46.91
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	35.27
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	20.08
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.146
	13.30 น.	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	47.43
		ภายในใต้หลังคา	50.66
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	35.7
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	11.73
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.106

ตารางที่ 5 (ต่อ)

วัน	เวลา(ชม.)	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	°C
24 สิงหาคม 55	9.00 น.	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	44.89
		ภายในใต้หลังคา	49.02
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	32.76
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	12.13
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.116
	10.30 น.	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	62.01
		ภายในใต้หลังคา	54.13
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	38.77
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	23.21
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.145
	15.00 น.	ผิวหลังคาพ่นสีดำ	47.43
		ภายในใต้หลังคา	50.66
		อุณหภูมิแผงระบาย(T-Cool)	35.7
		ผลต่างอุณหภูมิ(ΔT)	11.73
		แรงดันไฟฟ้า(Voltage)	0.038

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิในชุดการทดลองที่ 3 พัฒนาชุดทดลองส่วนรับความร้อน Solar Collector มีศักยภาพในการรับความร้อนได้มากขึ้นโดยการใช้สเปร์ยสีดำพ่นลงบนหลังคาพื้นที่ทำให้ได้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพ ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า Thermoelectric Generator โดยอาศัยการระบายโดยพัดลม ค่า ΔT เฉลี่ย 8.6°C วัดแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 0.12 V. หากพิจารณาผลค่าเฉลี่ยโดยรวมการทดลองที่ 2 ค่า ΔT มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก อย่างมีนัยสำคัญซึ่งในการทดลองที่ 3 แสดงให้เห็นความสำคัญของค่าความแตกต่างอุณหภูมิ ด้านร้อนและด้านเย็น (ΔT) ของเทอร์โมอิเล็กทริกส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ผลการเก็บข้อมูลปริมาณแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบ ค่า Δ -T ที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ทดสอบ ในช่วงที่มีการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า โดยนำผลมาเปรียบเทียบเพื่อให้ทราบถึงตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากชุดทดลองจำนวน 9 ครั้ง ผลที่ได้ ค่า Δ T เฉลี่ย 15.34°C ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 0.124V. ค่าความเข้มข้นแสงอาทิตย์สูงสุด 106100Lux ในเวลา 11.30 น. และ 105,600 Lux เวลา 13.00 น.ตามลำดับ และค่าต่ำสุดที่ 16380 Lux เวลา 15.00น.และเมื่อนำมาพิจารณาพบว่า หากรังสีแสงอาทิตย์มีความเข้มข้น ปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีค่าที่สูงเช่นกัน และช่วงเวลาที่รังสีดวงอาทิตย์มีความเข้มข้น อยู่ในช่วงเวลา 11.00 – 13.00น.ของวันมาแสดงผลค่าสูงสุด คือ 106,100 Lux ค่า Δ T= 27.47°C และค่าแรงดันไฟฟ้า =.188 V ปริมาณค่าความเข้มแสงดวงอาทิตย์ที่มีความเข้มข้นจะอยู่ในช่วงเวลา 10.00 น-14.00 น ของวันค่าเฉลี่ยปริมาณแสงอาทิตย์ในช่วง 3 วันที่ทำการทดลองอยู่ที่ 84,856.67 Lux

วิจารณ์

1. การตรวจวัดอุณหภูมิผิวภายนอก แผ่นหลังคาลอยหะ อุณหภูมิผิวภายในแผ่นทองแดง และอุณหภูมิใต้หลังคาบริเวณกลางกล่องทดลอง

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิผิวภายนอกแผ่นหลังคาลอยหะและผิวภายในแผ่นทองแดงพบว่า หลังคาลอยหะมีคุณสมบัติในการรับรังสีความร้อนและถ่ายความร้อนได้อย่างรวดเร็ว โดยมีค่าอุณหภูมิผิวหลังคาลอยหะสูงสุด 64.24°C ในช่วงเวลา 13.00น.ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.92°C และค่าอุณหภูมิภายใน ผิวทองแดงสูงสุด 62.04°C ในช่วงเวลา 13.00น.ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.38°C อุณหภูมิภายในกล่องใต้หลังคา ค่าสูงสุด 44.4°C ในช่วงเวลา 13.00น. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.71°C เนื่องจากได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคา ซึ่งทำให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก หลังคาลอยหะมีค่าการนำความร้อนสูงซึ่งทำให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายในถึง เฉลี่ย 21 °C แผ่นทองแดง ถือว่ามีคุณสมบัติในการนำความร้อนอยู่ในระดับต้นๆของวัสดุประเภทโลหะ ดังนั้นการนำมาใช้เพื่อการรับและเก็บความร้อนได้

2. การเปรียบเทียบอุณหภูมิหลังคาโลหะอลูมิเนียม (มาตรฐานผู้ผลิต) กับหลังคาโลหะพ่นสีดำ และวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก ในการระบายโดยวิธีธรรมชาติ

ผลการศึกษาอุณหภูมิจากหลังคาที่มีการพ่นสีดำ กับหลังคาโลหะ สีอลูมิเนียม ซึ่งเป็นมาตรฐานผู้ผลิตและมีการประกอบชุดทดลองกระแสไฟฟ้าที่มีเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบติดตั้งแล้ว ผลการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง 4 วันที่ทดลอง อุณหภูมิความร้อนหลังคาโลหะพ่นสีดำเฉลี่ย 53.63°C และหลังคาโลหะ (สีอลูมิเนียม) เฉลี่ย 45.9°C ทำให้เพิ่มความสามารถในการรับและทำความร้อนถึง ประมาณ $7-8^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการรับและกักเก็บความร้อนของหลังคาโลหะ โดยการเปลี่ยนสีเป็นสีดำ เป็นวิธีที่ง่าย ประหยัด และได้ผลดี ซึ่งหากนำไปเพิ่มพื้นที่ให้มากขึ้น น่าจะมีผลต่ออุณหภูมิความร้อนให้สูงเช่นกัน

ผลการศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชุดอุปกรณ์ทดสอบ เทอร์โมอิเล็กทริกด้วยการระบายอากาศด้านเย็นของอุปกรณ์โดยวิธีธรรมชาติ ผลที่ได้ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างด้านอุณหภูมิ ด้านร้อนและด้านเย็น ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ค่า ΔT เฉลี่ย 7.3°C อุณหภูมิ ด้านร้อนเฉลี่ย 54.6°C และอุณหภูมิด้านเย็น เฉลี่ย 39°C และการวัดผลค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าได้เฉลี่ย 0.045 V ซึ่งนับว่าน้อยมาก หากเพิ่มอัตราการระบายอากาศส่วนที่เป็นด้านเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกได้จะทำให้ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นและทำให้แรงดันเพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ตามปริมาณอุณหภูมิความร้อนและแรงดันไฟฟ้าที่ได้ค่าในช่วงเวลากลางวัน โดยเฉพาะเวลาประมาณ 11.30 น. ถึงเวลา 13.00 น. จะมีค่าอุณหภูมิที่สูงหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงตามลำดับ

3. ตรวจวัดอุณหภูมิจากหลังคาโลหะ(พ่นสีดำ)และวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยการระบายด้วยพัดลม

ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ได้จากการเปลี่ยนสีหลังคาโลหะสีดำและเปลี่ยนการระบายอากาศด้านเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกด้วยพัดลม DC Fan ผลค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่าง ด้านร้อน (T-Hot) และด้านเย็น (T-Cool) เฉลี่ย 15.3°C อุณหภูมิจากหลังคาชุดทดลองสีดำ เฉลี่ย 51.2°C อุณหภูมิ ด้านเย็น (T-Cool) เฉลี่ย 35.9°C พัดลมช่วยระบายอากาศให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และได้ปริมาณแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 0.188 V . เวลา 11.30น. และต่ำสุด 0.038 V . เวลา

15.00 น.ขณะที่อุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ย 51°C ซึ่งเกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาสู่ภายในกล่อง เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าความร้อนเฉลี่ย การทดลองที่ 2 54.6°C ค่าเฉลี่ยของการทดลองที่ 3 51.2°C ผลต่างอุณหภูมิ ประมาณ 3°C ซึ่งอาจเกิดจากการที่ใช้พัดลมช่วยระบาย ทำให้ความร้อนจากหลังคาลดลงด้วย ค่าอุณหภูมิ เฉลี่ยของหลังคาในชุดทดลองที่ 3 จึงลดลงด้วย

ผลการศึกษาความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบในด้านการรับรังสีความร้อน และการระบายอากาศของชุดอุปกรณ์ เพื่อเพิ่มความแตกต่างอุณหภูมิจากการสูมตัววัดแรงดันไฟฟ้า จำนวน 9 ครั้ง ในระยะเวลาทดลอง 3 วัน ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อุปกรณ์สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ เฉลี่ย 0.12 V ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการทดลองที่ 2 ประมาณ 100% ซึ่งนับว่าการใช้พัดลมช่วยในการระบายเป็นผลดีต่ออุณหภูมิ ด้านเย็นชุดทดสอบและเทอร์โมอิเล็กทริก แต่การใช้พัดลมระบายจะทำให้ลดอุณหภูมิด้านร้อนซึ่งยังเป็นตัวแปรที่ยังต้องการให้มีความร้อนสะสมด้านร้อนด้วยลดลงตามมา

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองโดยใช้หลังคาโลหะที่นิยมใช้กันทั่วไป นำมาประกอบอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งต้องพิจารณารายละเอียด ทั้งทางด้านทฤษฎี และงานวิจัยอื่นประกอบกัน เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าว มีหลากหลายตัวแปรที่เข้ามาเกี่ยวข้องและต้องคำนึงถึง อาทิเช่น ค่าความแตกต่างอุณหภูมิ ระหว่างด้านร้อน และด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก อุปกรณ์มีขนาดเล็กเกิดการเสียหายได้ง่ายซึ่งในการประกอบติดตั้งต้องใช้ความระมัดระวัง มีราคาแพงหากซื้อในปริมาณน้อย ในประเทศไทยมีให้เลือกใช้น้อย หากนำเข้ามาต้องมีจำนวนมาก เป็นต้น โดยสรุป ถือว่าเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์ทางเลือกที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าแต่ควร นำไปศึกษาและพัฒนาในรายละเอียดมากขึ้นเพื่อต่อยอดงานวิจัยอื่นๆต่อไป

จากการกำหนดวัตถุประสงค์ เพื่อนำมาไปใช้ประกอบกับอาคาร ซึ่งหากมองในศักยภาพของอุปกรณ์ มีความเป็นไปได้น้อยเนื่องจากต้องใช้ความร้อนสูงและการระบายความร้อนด้านเย็นให้ได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงกำหนดชุดทดลองที่มีขนาดเล็ก เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ ซึ่งเป้าหมายของการทำให้มีขนาดเล็กเพื่อ ต้องการความสะดวกและประหยัด ในการผลิตตัวทดสอบ วัสดุสามารถหาได้ทั่วไปในประเทศ อาทิ หลังคาโลหะ ซึ่งปัจจุบันได้รับความนิยมมาก โครงสร้างหลังคา เหล็ก แผ่นซีเมนต์บอร์ด ก่อสร้างทดลองพลาสติก แผงระบายอุณหภูมินิยม ตัวอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก แผ่นฉนวนเคลือบพอลิเอทิล วัสดุอุปกรณ์หาได้ในประเทศ ยกเว้นเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ

หลักการสำคัญในการออกแบบชุดผลิตกระแสไฟฟ้าโดยเทอร์โมอิเล็กทริก ประกอบด้วย ส่วนรับความร้อน (Solar collector) และส่วนผลิตกระแสไฟฟ้า (Thermoelectric generator) ซึ่งทั้ง 2 ส่วนจะต้องทำงานประสานกันสอดคล้องกันทั้งการเลือกวัสดุที่นำมาใช้ การประกอบติดตั้งตัวทดลอง การตรวจเช็ค ตัวทดลองอยู่เสมอ การตรวจเช็คอุปกรณ์ตรวจวัดว่าอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการทราบผลหรือไม่ รวมถึงควบคุมอุณหภูมิ ในส่วนที่ไม่ต้องการ อย่างไรก็ตาม ธรรมชาติคือตัวแปรสำคัญ ที่จะให้งานวิจัยชิ้นนี้ประสบความสำเร็จ ความร้อน แสงแดด เมฆ ลม ฝน เหล่านี้คือ

ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ จึงต้องวางแผน ตรวจสอบปรับปรุง แก้ไข โดยทดลองงานวิจัย ตั้งเป้าหมายประเด็นหลักคือ

หลังคาโลหะมีคุณสมบัติในด้านการรับและแผ่ความร้อนเมื่อเทียบผลต่างอุณหภูมิกับ อุณหภูมิอากาศภายในกล่องซึ่งผลลัพธ์ ประมาณ 20°C ทองแดง เป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับรับ และแผ่ความร้อน เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ดี ซึ่งความร้อนที่ได้จากหลังคา โลหะ ไม่ได้ปะทะรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ค่าความแตกต่างอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาโลหะกับ แผ่นทองแดง เพียง $2-3^{\circ}\text{C}$

การใช้สีสเปรย์สีดำพ่นหลังคาโลหะ เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับและเก็บความร้อนจาก ดวงอาทิตย์ ถือว่าเป็นวิธีที่ง่าย ประหยัด และสะดวก ซึ่งผลลัพธ์หลังคาโลหะพ่นสีดำอุณหภูมิ มากกว่าหลังคาโลหะที่ไม่ได้พ่นสีดำ ประมาณ 7.8°C ถือเป็นไปตามทฤษฎีของวัสดุที่มีผลต่อค่า การนำความร้อน

การใช้แผงระบายอุณหภูมิเนียม ระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ถือว่าประหยัดพลังงาน ไฟฟ้า และเป็นวิธีที่เป็นไปได้ในการนำไปพัฒนา โดยการเพิ่มขนาดพื้นที่ขนาดหลังคาโลหะและ ช่องระบายใหญ่กว่าชุดทดลอง และความสูงของชุดทดลอง เพื่อช่วยให้การระบายดีขึ้น ผลวิจัยการ ระบายโดยวิธีธรรมชาติ สร้างความแตกต่างอุณหภูมิด้านร้อน และด้านเย็นเฉลี่ย 7°C และค่า แรงดันไฟฟ้า 0.024 V . ถือว่าน้อยมากแต่ถือว่าประหยัดพลังงาน

การติดตั้งพัดลมช่วยระบาย สามารถเพิ่มความแตกต่างอุณหภูมิ ด้านเย็นให้เทอร์โมอิเล็กท ริค เฉลี่ย 15°C แรงดันไฟฟ้า 0.12 V . ส่วนการดึงความร้อนและช่วยระบายความร้อนที่หลังคาด้วย ยังมีประเด็นที่ควรจะศึกษาต่อไป

เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัย ความร้อนได้จริงแต่ยัง ไม่มีการนำมาใช้งานในเชิงสถาปัตยกรรม เนื่องจากคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในท้องตลาด ยังมุ่งเน้นในงานอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ หากมีการผลิตให้เทอร์โมอิเล็กทริกมีคุณภาพที่สูงกว่า ในปัจจุบัน และราคาที่ถูกลง น่าจะเป็นสิ่งที่เป็นประโยชน์ และนำไปใช้ให้เป็นรูปธรรมได้

หลังคาโลหะเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง สามารถแผ่ความร้อนได้รวดเร็วเนื่องจากผิวโลหะบาง การที่จะนำมาใช้กับอาคาร ผู้บริโภคควรคำนึงถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ อาทิ ความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ความร้อนที่กระจายสู่บรรยากาศโดยรอบ ค่าพลังงานไฟฟ้า ในการปรับอากาศภายในอาคาร

ผลจากการทดสอบด้านอุณหภูมิจากการทำให้วัตถุเป็นสีดำ ถือว่าเป็นวิธีที่ประหยัดและได้ผลอย่างเป็นรูปธรรม การเพิ่มปริมาณความร้อนถือเป็นเรื่องง่ายแต่การลดความร้อนถือเป็นเรื่องสำคัญเช่นกัน ซึ่งผลการทดลอง การลดความร้อนในด้านเย็น นับเป็นข้อควรพิจารณาในงานวิจัยในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

การศึกษามุ่งเน้นศึกษาความเป็นไปได้ของหลังคาโลหะประกอบเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

ในการวางแผนการทดลองควรกำหนดระยะเวลาในช่วงเดือนที่ปราศจากฝนซึ่งในความเป็นจริงภูมิภาคได้เปลี่ยนแปลงทำให้ไม่สามารถคาดเดาเหตุการณ์ หรือปริมาณแสงอาทิตย์ซึ่งถือว่าเป็นตัวแปรสำคัญของงานวิจัยนี้ที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อน ในเรื่องของอุณหภูมิได้

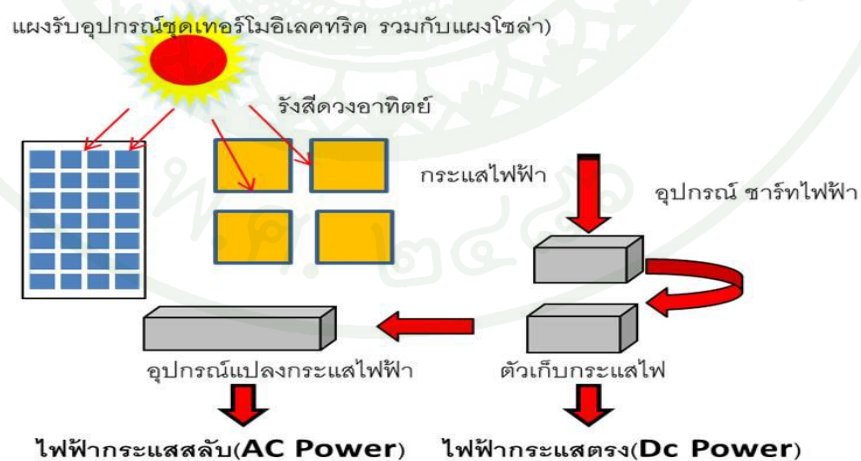
ในการเลือกใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ควรเลือกคุณภาพของผู้ผลิตที่ได้มาตรฐาน เช่น จากสหรัฐอเมริกา หรือยุโรป ซึ่งจะมีคุณสมบัติที่ดี เนื่องจากในงานวิจัยได้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งคุณภาพและคุณสมบัติลดลง อาจจะไม่ตรงกับรายละเอียดประกอบสินค้า เนื่องจาก ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย

การทำหลังคาโลหะควรเพิ่มพื้นที่ให้มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์มากขึ้น ก็จะเป็นวิธีที่ทำให้เพิ่มความร้อนส่วนรับและเก็บความร้อนได้

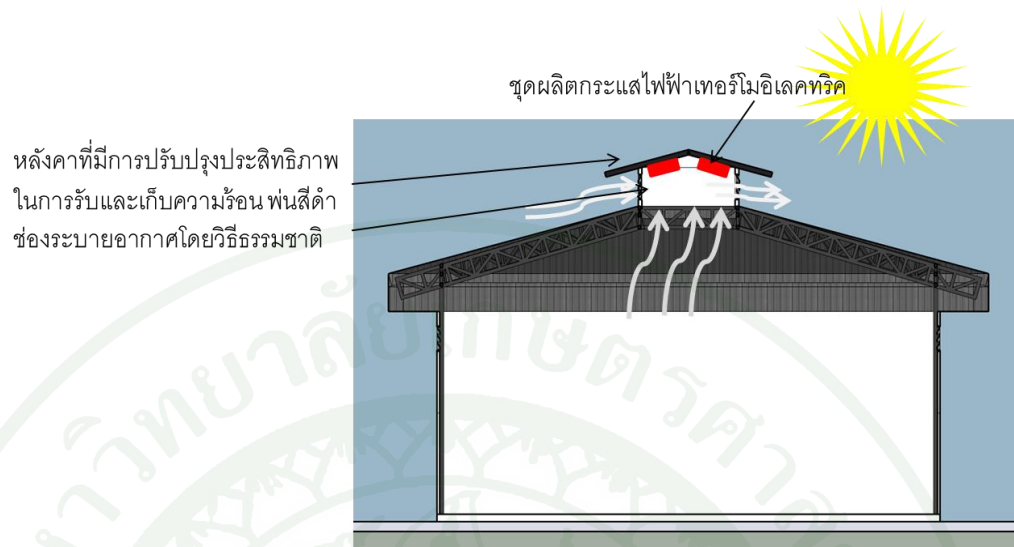
การเพิ่มจำนวน เทอร์โมอิเล็กทริก ให้มีชุดผลิตกระแสไฟที่มีขนาดใหญ่และจำนวน รวมถึงการเพิ่มขนาดพัดลม ระบายให้ใหญ่ขึ้น น่าจะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ แต่ควรเพิ่มศักยภาพในด้านร้อนด้วยเช่นกัน

การเพิ่มขนาดวัสดุ ตัวประกอบอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น ความหนา และขนาดพื้นที่ของแผ่นทองแดง ขนาดแฉงอลูมิเนียมช่วยระบาย การติดฉนวน ป้องกันความร้อน ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ ล้วนมีความสำคัญในการพัฒนาหลังคาโลหะประกอบเทอร์โมอิเล็กทริก ให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้า

ควรนำแนวความคิดไปปรับใช้อาทิ เช่น การใช้เทอร์โมอิเล็กทริกควบคู่กับแผงโซลาร์เซลล์ (ภาพที่ 44) โดยการทำงานเป็น 2 ระบบ เป็นการสะสมพลังงานไฟฟ้า ที่ได้ในช่วงกลางวัน ไว้ใช้เพื่อแสงสว่างในเวลากลางคืนในพื้นที่ห่างไกล ควรมีการศึกษา ค้นคว้า ในรายละเอียดต่อไป ซึ่งจะได้ผลดีกว่าการนำมาใช้โดยตรง อาทิเช่น การออกแบบหลังคา 2 ชั้น สำหรับ อาคารโรงงานที่มีพื้นที่หลังคาจำนวนมาก ส่วนบนใช้หลังคาเป็นสีดำ ติดตั้งชุดผลิตกระแสไฟฟ้าประกอบเทอร์โมอิเล็กทริก อาศัยการระบายโดยธรรมชาติ โดยออกแบบอุปกรณ์ประกอบผลิตกระแสไฟฟ้า และการเก็บกระแสไฟ การแปลงกระแสไฟ เพื่อนำมาใช้งาน (ภาพที่ 44)และ(ภาพที่ 45)



ภาพที่ 44 แนวทางการนำเทอร์โมอิเล็กทริกไปปรับปรุงเพื่อใช้งาน



ภาพที่ 45 แนวความคิดในการนำไปออกแบบประกอบอาคารโรงงานที่มี พื้นที่หลังคาจำนวนมาก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา, 2555. **ศูนย์ภูมิอากาศ**. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา
แหล่งที่มา: www.weather.go.th, 30 สิงหาคม 2555.

กระทรวงพลังงาน. 2554. **แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 2551-2565**.
แหล่งที่มา: www.energy.go.th, 2 สิงหาคม 2554.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2555. **พลังงานทดแทนโอกาสของประเทศไทย**.
แหล่งที่มา: http://www.bangkokbiznews.com/home/media/2012/07/23/attachfile/news_attach_462876_3.pdf. 2 กันยายน 2555.

จักรพันธ์ วังพิกุล. 2552. **การศึกษาความเหมาะสมในการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ
สำหรับ ระบบหลังคาในประเทศไทย**. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท,
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2523. **พลังงานแสงอาทิตย์**. คณะวิศวกรรมศาสตร์,
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

เจริญพร เลิศสถิตธนกร และ ณัฐพล ภูมิสะอาด. 2554. **การวิเคราะห์สมรรถนะเชิง
ความเย็นของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพา**. คณะวิศวกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ณรงค์ วัชรเสถียร. 2548. **การผลิตกำลังไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับ
พลังงานแสงอาทิตย์**. วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต, คณะพลังงานและวัสดุ,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. บัณฑิตวิทยาลัย

ธนากร ชัยศิริวารินทร์. 2553. **การประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับคอมสสะท้อนแสงและพัฒนาระบายอากาศ**. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธาดา วรณโชติกุล, ประภัสสร ว่องชิงชัย และ พงษ์พันธ์ สุขसार. 2547. **พลังงานแสงอาทิตย์**. โครงการจัดทำระบบฐานข้อมูลพลังงานเพื่อการวิเคราะห์และวางแผนยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่

นิสิต ไชติวิทย์. 2539. **การปรับปรุงหลังคา เพื่อลดภาระการทำความเย็นกรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปัญญา ยอดโอวาท. 2543. **การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก**. วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. บัณฑิตวิทยาลัย.

วิทยา พวงสมบัติ, โจเซฟ เคดารี และ จงจิตร หิรัญลาม, 2545. **การระบายอากาศในห้องใต้หลังคาโดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์**. **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40**, 4-7 กุมภาพันธ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 233-240.

วีรัชย์ เลิศสถาพรสุข. 2543. **การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้สำหรับระบบตู้แช่วัคซีนพลังงานแสงอาทิตย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (LESA). 2003-2010. **ความร้อนและอุณหภูมิ**. แหล่งที่มา: http://portal.edu.chula.ac.th/lesa_cd/assets/ 15 กุมภาพันธ์ 2555.

สมชาย มณีวรรณ, โจเซฟ เคดารี, และจางจิตร หิรัญลาภ. 2545. การประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกพร้อมกับหลังคารับรังสีอาทิตย์. **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 40.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมพงษ์ ใจมา. 2540. **การวิเคราะห์สมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. บัณฑิตวิทยาลัย.

สหรัฐ อิงคะวณิช. 2542. **การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. บัณฑิตวิทยาลัย.

Duffie, J. A., and, W. A.Beckman. 1991. **Solar Engineering of Thermal Processes.** 3rd ed. John Wiley & Sons, New York.

Material science and Engineering. 2013. **Heat Sink Matching for Thermoelectric Generator.** Available Source: [//www.sciencetific.net/AMR.383-390.6122](http://www.sciencetific.net/AMR.383-390.6122), November, 2011.

Seebeck effect, (2012). **Thomas Johann Seebeck.**
Available Source:<http://searchnetworking.techtarget.com/definition/Seebeck-effect>.

Sophia and Stefan Behling, 1996. **Sol Power.** The Evolution of Solar Architecture: pp. 25 - 29.

Thomas Herzog, 1996. **Solar Energy in Architecture and Urban Planing.** Prestel. pp 28 - 30



ภาคผนวก



ตารางผนวกที่ ก1 การทดลองที่ 1 ค่าอุณหภูมิภายนอกผิวหลังคาโลหะ และแผ่น
ทองแดง เปรียบเทียบค่าความแตกต่างอุณหภูมิ ระหว่าง 2 วัสดุ
วันที่ 21-23 เมษายน 2555

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคาโลหะ	แผ่นทองแดง	ΔT	หมายเหตุ
21/4/2555	9:00	49.02	45.89	3.13	
	9:10	51.22	47.96	3.26	
	9:20	47.96	45.39	2.57	
	9:30	52.95	50.11	2.84	
	9:40	55.97	52.95	3.02	
	9:50	54.74	51.22	3.52	
	10:00	58.55	55.35	3.2	
	10:10	55.97	52.37	3.6	
	10:20	55.35	52.95	2.4	
	10:30	59.22	55.97	3.25	
	10:40	59.9	56.6	3.3	
	10:50	61.29	57.89	3.4	
	11:00	61.29	57.89	3.4	
	11:10	62.74	59.22	3.52	
	11:20	57.89	54.74	3.15	
	11:30	61.29	58.55	2.74	
	11:40	62.01	58.55	3.46	
	11:50	64.24	61.29	2.95	
	12:00	59.9	57.24	2.66	
	12:10	63.48	60.59	2.89	
12:20	47.43	46.4	1.03		

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคาโลหะ	แผ่นทองแดง	ΔT	หมายเหตุ
	12:30	62.01	59.22	2.79	
	12:40	58.55	55.97	2.58	
	12:50	64.24	61.29	2.95	
	13:00	63.48	59.9	3.58	
	13:10	57.24	55.35	1.89	
	13:20	57.89	55.97	1.92	
	13:30	62.01	59.9	2.11	
	13:40	62.74	59.9	2.84	
	13:50	59.9	57.89	2.01	
	14:00	60.59	58.55	2.04	
	14:10	55.97	54.74	1.23	
	14:20	54.74	52.95	1.79	
	14:30	55.35	53.53	1.82	
	14:40	54.13	52.37	1.76	
	14:50	53.53	51.79	1.74	
	15:00	48.49	46.91	1.58	
22/4/2555	9:00	46.91	44.4	2.51	
	9:10	50.11	47.43	2.68	
	9:20	52.37	49.56	2.81	
	9:30	51.79	49.56	2.23	
	9:40	53.53	51.22	2.31	
	9:50	58.55	55.35	3.2	
	10:00	55.97	53.53	2.44	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคาโลหะ	แผ่นทองแดง	ΔT	หมายเหตุ
	10:10	58.55	55.97	2.58	
	10:20	57.89	54.74	3.15	
	10:30	60.59	57.24	3.35	
	10:40	61.29	57.89	3.4	
	10:50	62.01	59.22	2.79	
	11:00	57.89	55.35	2.54	
	11:10	57.89	54.74	3.15	
	11:20	62.74	59.9	2.84	
	11:30	62.74	60.59	2.15	
	11:40	59.9	57.24	2.66	
	11:50	66.6	62.74	3.86	
	12:00	64.24	61.29	2.95	
	12:10	61.29	58.55	2.74	
	12:20	65.01	62.01	3	
	12:30	61.29	58.55	2.74	
	12:40	60.59	58.55	2.04	
	12:50	62.74	60.59	2.15	
	13:00	64.24	62.01	2.23	
	13:20	65.79	62.74	3.05	
	13:30	63.48	61.29	2.19	
	13:40	59.9	57.89	2.01	
	13:50	61.29	59.22	2.07	
	14:00	55.35	53.53	1.82	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคาโลหะ	แผ่นทองแดง	ΔT	หมายเหตุ
	11:00	59.22	57.24	1.98	
	14:20	56.6	54.74	1.86	
	14:30	55.97	54.74	1.23	
	14:40	56.6	54.74	1.86	
	14:50	53.53	51.79	1.74	
	15:00	53.53	51.79	1.74	
23/4/2012	9:00	39.67	36.13	3.54	
	9:10	43.91	39.22	4.69	
	9:20	46.4	41.52	4.88	
	9:30	43.91	39.67	4.24	
	9:40	46.4	42.94	3.46	
	9:50	46.91	45.39	1.52	
	10:00	48.49	46.4	2.09	
	10:10	55.35	52.95	2.4	
	10:20	55.35	53.53	1.82	
	10:30	54.13	51.79	2.34	
	10:40	55.35	52.95	2.4	
	10:50	63.48	60.59	2.89	
	11:00	62.01	59.9	2.11	
	11:10	52.37	50.11	2.26	
	11:20	61.29	58.55	2.74	
	11:30	61.29	57.89	3.4	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคาโลหะ	แผ่นทองแดง	ΔT	หมายเหตุ
	11:40	54.13	52.37	1.76	
	11:50	59.22	57.24	1.98	
	12:00	51.22	50.66	0.56	
	12:10	63.48	61.29	2.19	
	12:20	62.74	59.9	2.84	
	12:30	60.59	57.89	2.7	
	12:40	60.59	59.22	1.37	
	12:50	58.55	57.24	1.31	
	13:00	62.01	59.9	2.11	
	13:10	57.89	55.35	2.54	
	13:20	61.29	59.9	1.39	
	13:30	59.9	57.89	2.01	
	13:40	59.22	57.89	1.33	
	13:50	57.89	55.97	1.92	
	14:00	55.35	53.53	1.82	
	14:10	57.89	56.6	1.29	
	14:20	58.55	56.6	1.95	
	14:30	52.95	51.22	1.73	
	14:30	52.95	51.22	1.73	
	14:40	55.35	53.53	1.82	
	14:50	52.95	51.22	1.73	
	15:00	54.13	52.95	1.18	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคา โลหะ	แผ่น ทองแดง	ΔT	หมายเหตุ
ค่าเฉลี่ย(mean)		57.32748	54.8564	2.471081	
ค่าSD		5.345259	5.38157	0.773269	

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการทดลองที่ 2 ค่าอุณหภูมิของหลังคาโลหะ(สีออกซิงค์)และหลังคาโลหะ (พ่นสีดำ)แผ่นทองแดง เปรียบเทียบผลความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างวันที่ 12-16 สิงหาคม 2555

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคา โลหะ	หลังคาพ่น สีดำ	ΔT	หมายเหตุ
12 สิงหาคม 2555	09:00	37.88	44.89	7.01	
	09:30	47.43	56.6	9.17	
	10:00	44.4	50.66	6.26	
	10:30	47.43	55.35	7.92	
	11:00	46.4	54.13	7.73	
	11:30	47.96	55.97	8.01	
	12:00	46.91	55.97	9.06	
	12:30	49.02	56.6	7.58	
	13:00	42.46	50.66	8.2	
	13:30	45.89	54.13	8.24	
	14:00	42.46	50.66	8.2	
	14:30	44.89	52.95	8.06	
	15:00	47.43	55.35	7.92	
	13 สิงหาคม 2555	09:00	35.7	42.46	6.76
09:30		49.56	57.89	8.33	

ตารางผนวกที่ ก2

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคา โลหะ	หลังคาพ่น สีดำ	ΔT	หมายเหตุ
	10:30	55.35	62.74	7.39	
	11:00	53.53	60.59	7.06	
	11:30	56.6	64.24	7.64	
	12:00	52.95	60.59	7.64	
	12:30	49.02	57.24	8.22	
	13:00	47.96	55.97	8.01	
	13:30	46.91	55.35	8.44	
	14:00	44.89	52.95	8.06	
	14:30	39.22	47.96	8.74	
	15:00	36.57	45.89	9.32	
15สิงหาคม2555	09:00	34.43	40.13	5.7	
	09:30	37.88	44.4	6.52	
	10:00	41.52	49.56	8.04	
	10:30	43.91	51.79	7.88	
	11:00	46.4	53.53	7.13	
	11:30	50.11	57.24	7.13	
	12:00	53.53	60.59	7.06	
	12:30	49.56	57.24	7.68	
	13:00	52.95	60.59	7.64	
	13:30	51.79	59.22	7.43	
	14:00	46.91	54.74	7.83	
	14:30	43.42	51.79	8.37	
	15:00	42.94	51.22	8.28	
16สิงหาคม2555	09:00	41.99	50.11	8.12	

ตารางผนวกที่ ก2

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคา โลหะ	หลังคาพ่น สีดำ	ΔT	หมายเหตุ
	10:30	55.35	62.74	7.39	
	11:00	49.56	57.24	7.68	
	11:30	46.91	55.35	8.44	
	12:00	44.89	52.95	8.06	
	12:30	43.42	51.79	8.37	
	13:00	50.66	57.89	7.23	
	13:30	49.02	56.6	7.58	
	14:00	52.95	60.59	7.64	
	14:30	49.02	57.24	8.22	
	15:00	44.89	52.37	7.48	
ค่าเฉลี่ย		48.59	56.36	7.76	
ค่า SD		2.62	2.82	0.20	

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการทดลองที่ 2 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิ ของหลังคาโลหะ (สีอลูซิงค์)และการระบายอากาศของอุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็กทริก ด้านเย็นโดยวิธีธรรมชาติ พร้อมทั้งแสดงผล แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ใน เวลาต่างๆระหว่างวันที่ 12-15 สิงหาคม 2555

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคา โลหะ	หลังคาพ่น สีดำ	ΔT	หมายเหตุ
12 สิงหาคม 2555	09:00	37.88	33.17	4.71	
	09:30	47.43	37	10.43	
	10:00	44.4	38.77	5.63	

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคาโลหะ	หลังคาพ่นสีดำ	ΔT	หมายเหตุ	
13 สิงหาคม 2555	11:00:	46.4	39.67	6.73		
	11:30:	47.96	41.05	6.91		
	12:00:	46.91	40.13	6.78		
	12:30:	49.02	42.46	6.56		
	13:00:	42.46	38.77	3.69		
	13:30:	45.89	40.59	5.3		
	14:00:	42.46	39.22	3.24		
	14:30:	44.89	39.22	5.67		
	15:00:	47.43	39.22	8.21		
	09:00:	35.7	37	1.3		
	15 สิงหาคม 2555	09:30:	49.56	37.88	11.68	
		10:00:	51.79	41.52	10.27	
		10:30:	55.35	44.4	10.95	
		11:00:	53.53	44.89	8.64	
11:30:		56.6	45.39	11.21		
12:00:		52.95	43.91	9.04		
12:30:		49.02	42.94	6.08		
13:00:		47.96	41.52	6.44		
13:30:		46.91	41.52	5.39		
14:00:		44.89	40.13	4.76		
14:30:		39.22	36.57	2.65		
15:00:		36.57	35.27	1.3		
09:00:		34.43	29.5	4.93		
		09:30:	34.43	29.5	4.93	
	10:00:	37.88	31.12	6.76		

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เวลา	หลังคา โลหะ	หลังคาพ่น สีดำ	ΔT	หมายเหตุ
	11:00:	43.91	34.85	9.06	
	12:00	50.11	39.22	10.89	
	12:30	53.53	42.46	11.07	
	12:00	49.56	42.46	7.1	
	12:30	44.89	38.32	6.57	
	13:00	43.42	37.88	5.54	
	13:30	50.66	39.22	11.44	
	14:00	49.02	41.99	7.03	
	14:30	52.95	41.99	10.96	
	15:00	49.02	41.99	7.03	
	ค่าเฉลี่ย(mean)	46.8	39.53	7.34	
	ค่าSD	4.959	3.01	1.93	

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการทดลองที่ 3 ค่าอุณหภูมิ ของหลังคาโลหะ(สีดำ)และการ แสดงผล ความแตกต่างอุณหภูมิที่ได้มีการพัฒนา การระบาย อากาศโดยใช้ พัดลมDC Fan พร้อมการวัดผล แรงดันไฟฟ้า ในช่วง เวลาที่สู่มวัด ในเวลาต่างๆ ระหว่างวันที่ 22-24 สิงหาคม 2555

วัน/เดือน/ปี/เวลา	หลังคา โลหะ (พ่นสีดำ)	หลังคา โลหะ(พ่น สีดำ)	อุณหภูมิ ภายใน กล้อง	T-Cool	ΔT	voltage
22สิงหาคม55						
09:00	50.11	51.79	46.91	32.76	17.35	0.118
09:30	53.53	54.74	50.11	34.01	19.52	
10:00	54.74	55.97	47.96	34.85	19.89	0.125

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี/เวลา	หลังคา โลหะ (พ่นสีดำ)	หลังคา โลหะ(พ่น สีดำ)	อุณหภูมิ ภายใน กล่อง	T-Cool	ΔT	voltage
11:00	65.79	62.74	56.6	38.32	27.47	
11:30	67.42	67.42	47.96	38.32	29.1	0.188
12:00	50.66	47.77	46.4	38.77	11.89	
12:30	51.79	45.45	45.89	36.57	15.22	
13:00	49.56	43.55	47.43	37.44	12.12	0.157
13:30	59.9	57.24	52.95	38.77	21.13	
14:00	47.43	53.53	57.24	37.88	9.55	0.119
14:30	46.91	52.95	54.13	38.32	8.59	
15:00	45.39	49.02	55.35	37	8.39	
23สิงหาคม55						
09:00	47.96	48.49	48.49	32.34	15.62	
09:30	44.89	44.4	48.49	32.76	12.13	0.123
10:00	55.35	54.74	51.79	35.27	20.08	0.146
10:30	51.79	51.22	51.79	35.7	16.09	
11:00	41.99	41.99	49.02	33.59	8.4	
11:30	54.74	56.6	50.66	34.01	20.73	
12:00	56.6	58.55	51.79	35.7	20.9	
12:30	63.48	61.29	53.53	37.88	25.6	
13:00	45.89	46.91	50.11	34.85	11.04	
13:30	47.43	45.89	50.66	35.7	11.73	
14:00	55.97	51.79	52.37	37.44	18.53	
14:30	51.79	51.22	51.22	35.7	16.09	
15:00	49.02	47.43	51.22	36.57	12.45	
24สิงหาคม55						

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี/เวลา	หลังคา โลหะ (พ่นสีดำ)	หลังคา โลหะ(พ่น สีดำ)	อุณหภูมิ ภายใน กล่อง	T-Cool	ΔT	voltage
09:00	44.89	41.99	49.02	32.76	12.13	0.116
09:30	55.97	51.79	52.37	36.13	19.84	
10:00	57.89	54.74	53.53	37	20.89	
10:30	62.01	55.35	54.13	38.77	23.24	0.145
11:00	43.91	43.42	50.66	35.7	8.21	
11:30	65.79	66.6	55.35	38.77	27.02	
12:00	46.4	46.4	51.79	36.13	10.27	
12:30	43.42	44.89	50.11	34.01	9.41	
13:00	39.67	39.67	50.11	35.27	4.4	
13:30	40.13	40.59	49.56	34.01	6.12	
14:00	41.05	40.13	50.11	35.27	5.78	
14:30	42.46	41.52	50.66	35.27	7.19	
15:00	47.43	43.91	50.66	35.7	11.73	0.038
ค่าเฉลี่ย(mean)	51.2915	50.50231	51.09923	35.94564		
ค่าSD	7.50933	7.210266	2.746158	1.869432		



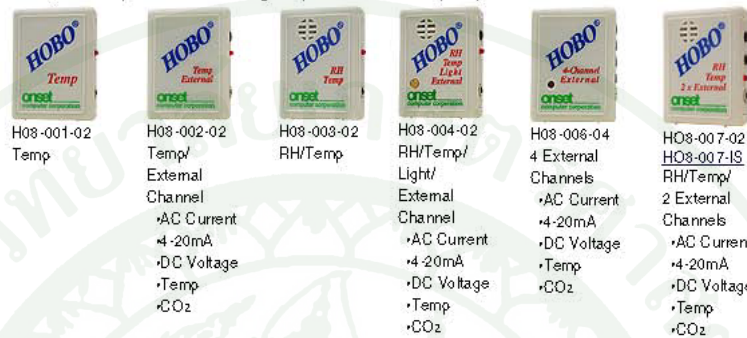
ภาคผนวก ข

ข้อมูลคุณสมบัติ เครื่องมือวัดผล และอุปกรณ์ที่นำมาทำชุดทดลอง

HOBO® H8 Family of Data Loggers

Single-, Two-, and Four-Channel Models

The HOBO H8 family of data loggers provide easy-to-use data collection at affordable prices. Based upon application, choose single-, two-, or four-channel models to measure temperature, relative humidity, light intensity or external inputs. External sensors or input cables allow H8 loggers to measure external temperature, AC current, or accept mA and voltage inputs from third-party sensors.



Family Features & Specifications

- 8-bit resolution
- Record 8K readings (4 channel external records 32K readings)
- Programmable start time/date
- Programmable sampling rate (0.5 second to 9 hours)
- Blinking LED confirms operation
- Memory modes: Stop when full, Wrap-around when full
- User-replaceable battery lasts 1 year (typical)
- Battery level indication at launch
- Non-volatile memory retains data even if battery fails
- NIST-Traceable temperature accuracy certification available
- Compliance certificate available
- Readout and relaunch with optional HOBO Shuttle
- Size/Weight: 6.0 x 4.8 x 1.9 cm (2.4 x 1.9 x 0.8")/approx. 29 gms (1 oz.)

HOBO H8 Temperature Data Logger

Part # H8-001-02

Single-channel logger with internal Temp sensor

Key Specifications

- Temperature Measurement Range: -20° to 70°C (-4° to 158°F)
- Temperature Accuracy: ±0.7° at 21°C (±1.27° at 70°F)

HOBO H8 Temp/External Channel Data Logger

Part # H8-002-02

Two-channel logger with internal Temp sensor and one External Channel to accept a wide range of external sensors and cables for Temp, CO₂, AC Current, 4-20mA, and DC Voltage

Key Specifications

- Temperature Measurement Range: -20° to 70°C (-4° to 158°F)
- Temperature Accuracy: ±0.7° at 21°C (±1.27° at 70°F)

ภาพผนวกที่ ข1 รายละเอียดค่า DATA Logger HOBO

- External Input Channel Measurement Range: 0-2.5 DC Volts
- External Input Channel Accuracy: ± 10 mV $\pm 3\%$ of reading

HOBO H8 RH/Temp Data Logger

Part # H08-003-02

Two-channel logger with internal Temp and user-replaceable RH sensors

Key Specifications

- Temperature Measurement Range: -20° to 70°C (-4° to 158°F)
- Temperature Accuracy: $\pm 0.7^{\circ}$ at 21°C ($\pm 1.27^{\circ}$ at 70°F)
- RH Measurement Range: 25% to 95% RH (user-replaceable RH sensor)
- RH Accuracy: $\pm 5\%$ RH

HOBO H8 RH/Temp/Light Intensity/External Channel Data Logger

Part #H08-004-02

Four-channel logger has internal Temp, Light Intensity, and user-replaceable RH sensors and one External Channel to accept a wide range of external sensors and cables for Temp, CO_2 , AC Current, 4-20mA, and DC Voltage

Key Specifications

- Temperature Measurement Range: -20° to 70°C (-4° to 158°F)
- Temperature Accuracy: $\pm 0.7^{\circ}$ at 21°C ($\pm 1.27^{\circ}$ at 70°F)
- RH Measurement Range: 25% to 95% RH (user-replaceable RH sensor)
- RH Accuracy: $\pm 5\%$ RH
- Light Intensity Measurement Range: 2 to 600 footcandles (lumens/ft²) typical; max. value varies from 300 to 900 footcandles

HOBO H8 4 External Channel Data Logger

Part # H08-006-04

Four-channel logger accepts a wide range of external sensors and cables for Temp, CO_2 , AC Current, 4-20mA, and DC Voltage.

Key Specifications

- 32K readings
- External Input Channel Measurement Range: 0-2.5 DC Volts
- External Input Channel Accuracy: ± 10 mV $\pm 3\%$ of reading

HOBO H8 RH/Temp/2 External Channels Data Logger

Part # H08-007-02

Part # H08-007-1S Intrinsically Safe Model****

Four-channel logger has internal Temp and user-replaceable RH sensors and 2 External Channels to accept a wide range of external sensors and cables for Temp, CO_2 , AC Current, 4-20mA, and DC Voltage.

Intrinsically safe model accepts external temp and DC voltage cable with passive sensors.

Key Specifications

- Temperature Measurement Range: -20° to 70°C (-4° to 158°F)
- Temperature Accuracy: $\pm 0.7^{\circ}$ at 21°C ($\pm 1.27^{\circ}$ at 70°F)
- RH Measurement Range: 25% to 95% RH (user-replaceable RH sensor)
- RH Accuracy: $\pm 5\%$ RH
- External Input Channel Measurement Range: 0-2.5 DC Volts (See External Sensors)
- External Input Channel Accuracy: ± 10 mV $\pm 3\%$ of reading

A software starter kit is required for operation

BoxCar Pro or BoxCar starter kits are available. Each starter kit includes software, computer interface cable and software manual. If you already have logger software, you can refer to the Logger Software Compatibility Chart. Upgrade to BoxCar Pro 4.3 or BoxCar 3.7.2 available.

ภาพผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ที่มา: http://www.thaiexlabs.com/product_296202_th

Digital Multimeter UN-902A

คุณสมบัติระบบการวัดหลากหลาย DCV, ACV, DCA, ACA, OHM, ทดสอบไดโอด, ความต่อเนื่องแบบมีเสียง, ความจุไฟฟ้า, ความถี่, อุณหภูมิ มีระบบป้องกันการเสียหายวัดผิดโดยอัตโนมัติ เลือกว่านวัดได้ง่าย เพราะแผงด้านหน้าจะมีการแสดงย่านการวัดไว้ทุกย่าน ค่าข้อมูลบนจอแสดงผลได้ มีการป้องกันโอเวอร์โวลต์ทุกย่านวัด มียางครอบป้องกันตัวเครื่อง เมื่อมีการตกกระแทก มีขาตั้งติดมากับตัวเครื่อง เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ปิดเครื่องเองอัตโนมัติ เพื่อประหยัดแบตเตอรี่ ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติทั่วไป			
จอแสดงผล	แบบ LCD 3 1/2 หลัก แสดงค่าได้สูงสุด 1999 counts		
อัตราการวัด	3 ครั้ง/วินาที		
อินพุตอิมพีแดนซ์	10 MOhm		
การแสดงผลเมื่อวัดเกินย่าน	แสดง 1 หรือ -1		
ไซไฟ	แบตเตอรี่ 9 V (NEDA1604/ 6F22 หรือเทียบเท่า) 1 ก้อน		
สภาพแวดล้อมขณะใช้งาน	0~40°C / ความชื้นน้อยกว่า 80%		
ขนาดเครื่อง	88 x 175 x 38 มม.(กว้าง x สูง x หนา)		
น้ำหนัก	ประมาณ 318 กรัม (รวมแบตเตอรี่)		
อุปกรณ์มาตรฐาน	สายวัด, คู่มือการใช้งาน, แบตเตอรี่ 9V, โพรบวัดอุณหภูมิ Type K (TP01) ที่มีปลั๊ก Banana		
คุณสมบัติทางไฟฟ้า (ความเที่ยงตรงที่แสดงเป็นความเที่ยงตรงที่อุณหภูมิ 23±5°C, ความชื้นสัมพัทธ์ <75%)			
ระบบการวัด	ขานการวัด	ความละเอียด	ความเที่ยงตรง
DCV	200mV, 2V, 20V, 200V	100μV, 1mV, 10mV, 100mV	±(0.5%rdg+3d)
	1000V	1V	±(0.8%rdg+10d)
ACV	2V, 20V, 200V	1mV, 10mV, 100mV	±(0.8%rdg+5d)
	750V	1V	±(1.2%rdg+10d)
DCA	2mA, 20mA	1μA, 10μA	±(0.8%rdg+10d)
	200mA	100μA	±(1.2%rdg+8d)
ACA	2mA	1μA	±(1.0%rdg+15d)
	200mA	100μA	±(2.0%rdg+5d)
ความต้านทาน	10A	10mA	±(3.0%rdg+10d)
	200Ω	0.1Ω	±(0.8%rdg+5d)
	2kΩ, 20kΩ, 200kΩ, 2MΩ	1Ω, 10Ω, 100Ω, 1kΩ	±(0.8%rdg+3d)
	20MΩ	10kΩ	±(1.0%rdg+25d)
ความจุไฟฟ้า	200MΩ	100kΩ	±[5%(reading-10)+30]
	20nF, 2μF	10pF, 1nF	±(2.5%rdg+20d)
ความถี่	200μF	100nF	±(5.0%rdg+10d)
	2kHz, 200kHz	1Hz, 100kHz	±(3.0%rdg+18d)
อุณหภูมิ	-20~+1000°C	1°C	±(1.0%rdg+5d) < 400°C ±(1.5% rdg+15d) ≥ 400°C
ไดโอด	ทดสอบแรงดันไฟตก (Forward) ของไดโอด		
ความต่อเนื่อง	จะมีเสียงดังขึ้น เมื่อความต้านทานต่ำกว่า 70 (±20)Ω		

ภาพผนวกที่ ข2 รายละเอียดเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า Digital Multimeter UN-902A

ที่มา: sa-southgroup.com(2012)

Thermoelectric Module TEC1-12710s

The 127 couples, 40mm x 40mm size module is a single stage module which is designed for cooling and heating up to 90°C applications.

Technical Specification:

Size 40x40x3.3mm (WxDxH)

I_{max} 10.5A/ U_{max} 15.4V/

Q_{max} ($\Delta T = 0$) 100.0W ΔT max. = 67°C



ภาพผนวกที่ ข3 เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล รุ่น TEC1-12710S

Top motor Df121225bh 120mm X 25mm Ball Bearing Fan

Model: DF121225BH,

Size: 120x120x25mm.

Bearing System: Double Ball Bearing. Rated Voltage: 12V. Noise Level: 41.39 d BA.

Input Power: 7.2W. Speed: 2600 +/- 10% RPM. High Speed IR Flow: 93.08 CFM. Static

Pressure: 4.38 mm-H₂O. Connector: 3pin and 4pin connector



ภาพผนวกที่ ข4 พัดลมระบายกระแสตรงDc Fan รุ่น DF121225BH

SILICONE HEAT TRANSFER Compound

DESCRIPTION:

Unick Silicone Heat Transfer Compound is a grease-like silicone material, heavily filled with heat-conductive metal oxides. This combination of base and fillers produces a material with higher thermal conductivity. The low bleed properties of this improved compound as sure lasting protection for heat sink coupling.

USES:

Unick Silicone Heat Transfer Compound is applied to the base and mounting studs of transistors and diodes. It is also an effective thermal coupler for any heat sink device where efficient cooling is required. This silicone compound will not dry out, harden, or melt even after long term exposure to temperatures up to 200°C. It maintains a positive heat sink seal that improves heat transfer from the device to the heat sink or chassis, thereby increasing overall efficiency of the device.

TYPICAL PROPERTIES

Color White Opaque

Consistency Penetration, worked (60) and measured within one minute after working (ASTM D 217) 260

Bleed, percent after 24 hours at 200°C 1.0

Evaporation, percent after 24 hours at 200°C 1.0

Specific Gravity at 25°C -2.3

Thermal Conductivity, K Factor, cal / cm² / °C / sec / cm 0.0015

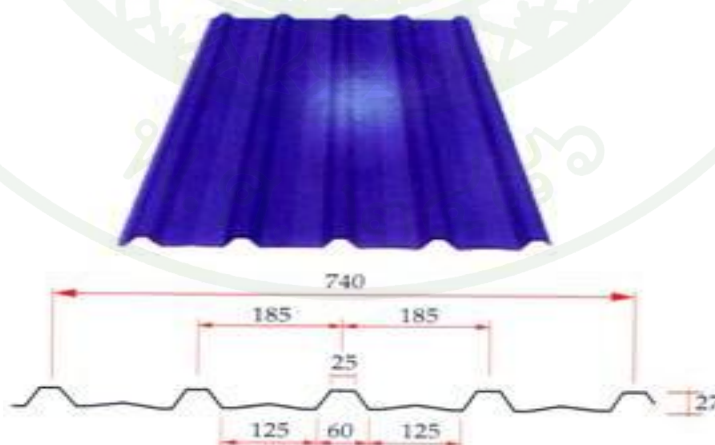


ภาพผนวกที่ ข5 ซิลิโคนช่วยในการแผ่ความร้อนSilicone Heat Transfer Compound

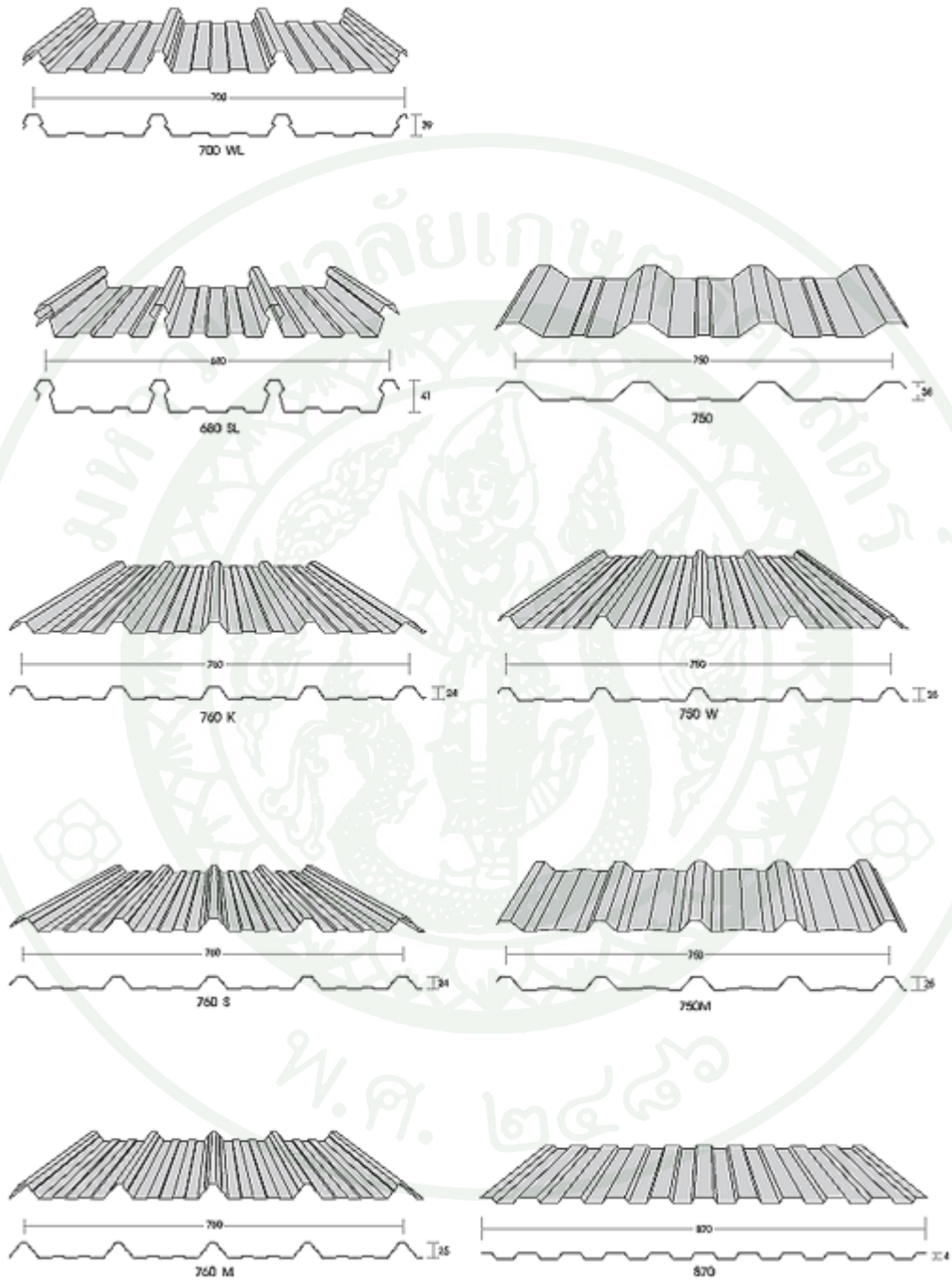
METAL SHEET STANDARD SPECIFICATION

แผ่นเหล็กเคลือบ ที่ใช้ผลิตหลังคา Metal Sheet มีด้วยกัน ดังนี้ Aluzice, Zincalume, Galvalume

ผลิตขึ้นจากแผ่นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง(Hi-Tensile Steel) มีค่า Minimum Yield Strength สูงถึง 550 Mpa ผ่านกระบวนการชุบร้อนแบบต่อเนื่อง โดยเคลือบผิวเหล็กด้วย Zincalume โลหะผสมซึ่งประกอบด้วย อลูมิเนียม (Al) 55% สังกะสี (Zn) 43.5% และซิลิกอน (Si) 1.5% โดยมีปริมาณการเคลือบต่ำสุดคือ 150 กรัม/ตรม. เป็นไปตามมาตรฐานออสเตรเลีย AS-1397 ชั้นเคลือบเหล็กเคลือบโลหะผสม ZINCALUME Steel Layer Aluminium / Zinc Alloy Coating เคลือบด้วยโลหะผสมอลูมิเนียม กับสังกะสี Steel Substrate เหล็กกล้า Aluminium / Zinc Alloy Coating เคลือบด้วยโลหะผสมอลูมิเนียมกับสังกะสีหลังจากที่ทำการเคลือบ Zincalume AZ-150 โลหะผสมระหว่างสังกะสีและอลูมิเนียม จากนั้นนำไปเคลือบสารรองพื้นชั้นแรก(Conversion Coating) ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมี เพื่อให้ผิวเคลือบต่อไป ติดแน่นขึ้นแล้วจึงเคลือบสีรองพื้น(Primer Coating) ชั้นสุดท้ายจึงเคลือบสีที่มีคุณภาพและความทนทานสูงบนตัวแผ่น ตามมาตรฐาน AS-2728



ภาพผนวกที่ ข6 หลังคาเหล็ก Metal Sheet



ภาพผนวกที่ ข6 (ต่อ)

ที่มา: <http://steel-roof.marketlist.in.th/>

PU-PE FORM INSULATED

ความหนาแน่นของ PU FOAM มีผลต่อสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity Coefficient : k) ฉนวนที่ดีจะต้องมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ ความหนาของ PU FOAM มีผลต่อค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance : R-Value) ฉนวนโฟมโพลียูรีเทนต้องมีความหนาที่เหมาะสม เพื่อหน่วงความร้อนที่ไหลผ่านจากผิวฉนวนด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งความหนาของแผ่นหลังคาเหล็กมีผลต่อความแข็งแรงของ INSULATED METAL ROOF ความหนาที่มากจะมีความแข็งแรงสูง สามารถออกแบบระยะห่างระหว่างช่วงแปได้มากขึ้นฉนวนกันความร้อน PU FOAM สามารถพันติดกับหลังคาเหล็ก Metal Sheet พร้อมฟอยด์ 1 ด้าน รีดติดกับหลังคาเหล็ก Metal Sheet



ภาพผนวกที่ ข7 แผ่นฉนวนกันความร้อน PU และ PE FORM



ภาคผนวก ค

ข้อมูลสภาวะอากาศในช่วงเวลาที่ทำกรทดลอง เดือนเมษายน
และเดือนสิงหาคม, 2555

สภาวะอากาศ กรุงเทพมหานครและพื้นที่ใกล้เคียง เดือนเมษายน 2555

สภาวะอากาศเดือนเมษายนปีนี้ หย่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อนปกคลุมบริเวณประเทศไทยในช่วงกลางและปลายเดือน ส่วนในช่วงต้นเดือนคลื่นกระแสลมตะวันตกเคลื่อนเข้าปกคลุมภาคเหนือ โดยเฉพาะในช่วงวันที่ 4-7 ประกอบกับลมที่พัดปกคลุมประเทศไทยตอนบนส่วนใหญ่เป็นลมใต้และลมตะวันออกเฉียงใต้ส่วนภาคใต้ลมตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุม และเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของเดือน ลักษณะดังกล่าวทำให้บริเวณประเทศไทยตอนบนมีอากาศร้อนทั่วไป กับมีอากาศร้อนจัดบางพื้นที่ในช่วงกลางและปลายเดือน โดยเฉพาะในภาคเหนือมีอากาศร้อนจัดหลายพื้นที่ อย่างไรก็ตามบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนได้แผ่ลงมาปะทะกับมวลอากาศร้อนที่ปกคลุมประเทศไทยตอนบนเป็นระยะๆ ทำให้ประเทศไทยมีฝนฟ้าคะนองและลมกระโชกแรงในบางพื้นที่และอุณหภูมิลดลงโดยเฉพาะในช่วงต้นเดือนส่งผลให้ปริมาณฝนโดยรวมของประเทศสูงกว่าค่าปกติ โดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันตกมีปริมาณฝนสูงกว่าค่าปกติถึง 81 เปอร์เซ็นต์ สำหรับรายละเอียดต่างๆ มีดังนี้

วันที่ 1-10 เมษายน คลื่นกระแสลมตะวันตกเคลื่อนเข้าปกคลุมภาคเหนือในระยะต้นและกลางช่วงประกอบกับบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนได้แผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทยตอนบนเกือบตลอดช่วงทำให้บริเวณประเทศไทยตอนบนมีฝนเพิ่มขึ้นในระยะกลางและปลายช่วง แต่ยังคงมีอากาศร้อนหลายพื้นที่ส่วนมากบริเวณภาคเหนือและภาคกลาง อุณหภูมิสูงสุดวัดได้ 38.7 องศาเซลเซียส ที่อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี และอำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ เมื่อวันที่ 3 สำหรับฝนในช่วงนี้บริเวณประเทศไทยตอนบนมีฝนกระจายถึงเกือบทั่วทั้งกับมีฝนหนักถึงหนักมากบางพื้นที่ในระยะกลางและปลายช่วง ปริมาณฝนมากที่สุด 130.0 มิลลิเมตร ที่อำเภอกุสุมาลย์ จังหวัดสกลนคร เมื่อวันที่ 7 และมีรายงานพายุฝนฟ้าคะนองและลมกระโชกแรงบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ พะเยา แพร่ กำแพงเพชร เลย ขอนแก่น ศรีสะเกษ กาฬสินธุ์ อุทัยธานี พระนครศรีอยุธยา และตราด ส่วนภาคใต้มีฝนเป็นแห่งๆ ถึงกระจายกับมีฝนหนักบางพื้นที่ ปริมาณฝนมากที่สุด 71.6 มิลลิเมตร ที่อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี เมื่อวันที่ 5

วันที่ 11-20 เมษายน หย่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อนปกคลุมบริเวณประเทศไทยตอนบนเกือบตลอดช่วง ประกอบกับลมที่พัดปกคลุมประเทศไทยเป็นลมใต้และลมตะวันออกเฉียงใต้ และในช่วงวันที่ 13-15 มีคลื่นกระแสลมตะวันตกเคลื่อนเข้าปกคลุมภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ภาคตะวันออก ภาคกลางและภาคใต้ ลักษณะดังกล่าวทำให้บริเวณประเทศไทยตอนบนมีอากาศร้อนทั่วไป โดยมีอากาศร้อนจัดบางพื้นที่บริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อุณหภูมิสูงสุด 41.2 องศาเซลเซียส ที่อำเภอเมือง จังหวัดตาก เมื่อวันที่ 14 สำหรับฝนในระยะนี้ประเทศไทยตอนบนมีฝนบางพื้นที่ถึงเป็นแห่งๆเกือบตลอดช่วงกับมีฝนหนักบางพื้นที่ ปริมาณฝนมากที่สุด 80.0 มิลลิเมตร ที่ศูนย์บริการวิชาการด้านพืชและปัจจัยการผลิต จังหวัดเลย เมื่อวันที่ 15 และมีรายงานพายุฝนฟ้าคะนองและลมกระโชกแรงบริเวณจังหวัดแพร่ เลย สุรินทร์ ศรีสะเกษ พระนครศรีอยุธยา อุทัยธานีและราชบุรี ส่วนภาคใต้มีฝนกระจายถึงเกือบทั่วไปกับมีฝนหนักถึงหนักมากบางพื้นที่ส่วนมากทางฝั่งตะวันตกของภาค ปริมาณฝนมากที่สุดวัดได้ 145.0 มิลลิเมตร ที่อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา เมื่อวันที่ 20

วันที่ 21-30 เมษายน หย่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อนปกคลุมบริเวณประเทศไทยตอนบนเกือบตลอดช่วง ทำให้ประเทศไทยตอนบนมีอากาศร้อนทั่วไปกับมีอากาศร้อนจัดหลายพื้นที่ส่วนมากในภาคเหนือและภาคกลาง อุณหภูมิสูงสุด 41.7 องศาเซลเซียส ที่อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ และอำเภอเมือง จังหวัดตาก เมื่อวันที่ 26 นอกจากนี้ในบริเวณกรุงเทพมหานคร วัดอุณหภูมิสูงสุดเมื่อวันที่ 30 ได้ 40.0 องศาเซลเซียส ที่ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ซึ่งสูงเท่ากับสถิติเดิมในรอบ 60 ปีที่เคยวัดได้สำหรับฝนในระยะนี้อยู่ในเกณฑ์บางพื้นที่ถึงเป็นแห่งๆเกือบตลอดช่วงกับมีฝนหนักถึงหนักมากบางพื้นที่เว้นแต่ภาคเหนือมีฝนกระจายกับมีฝนหนักบางพื้นที่ในระยะครึ่งหลังของช่วง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนเกือบทั่วไปกับมีฝนหนักถึงหนักมากบางพื้นที่ เมื่อวันที่ 27 จากอิทธิพลของบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนที่แผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทยตอนบนในระยะครึ่งหลังของช่วง ปริมาณฝนมากที่สุด 141.5 มิลลิเมตร ที่อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร เมื่อวันที่ 22 และมีรายงานพายุฝนฟ้าคะนอง ลมกระโชกแรงบริเวณจังหวัดน่าน พะเยา สุโขทัย แพร่ เพชรบูรณ์ และบุรีรัมย์ ส่วนภาคใต้มีฝนกระจายถึงเกือบทั่วไปเกือบตลอดช่วงกับมีฝนหนักถึงหนักมากบางพื้นที่ ปริมาณฝนที่สุดในภาคใต้ วัดได้ 110.0 มิลลิเมตร ที่อำเภอเวียงจังหวัดนราธิวาส เมื่อวันที่ 28 อุณหภูมิเฉลี่ยเดือนนี้ส่วนใหญ่สูงกว่าค่าปกติ เว้นแต่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ฝั่งตะวันตกต่ำกว่าค่าปกติ โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 41.7 องศาเซลเซียส ที่อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง อำเภอเมืองจังหวัดแพร่ และอำเภอเมือง จังหวัดตาก เมื่อวันที่ 26 สำหรับอุณหภูมิต่ำที่สุด 18.0 องศาเซลเซียส ที่อำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก เมื่อวันที่ 2 ปริมาณฝนเดือนนี้สูงกว่าค่าปกติในภาคเหนือ 8.3 มิลลิเมตร(12%) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 27.3 มิลลิเมตร(32%) ภาคใต้ฝั่งตะวันออก 32.6 มิลลิเมตร(45%) และ

ภาคใต้ฝั่งตะวันตก 130.9 มิลลิเมตร(81%) ส่วนภาคกลาง และภาคตะวันออกมีปริมาณฝนต่ำกว่าค่าปกติ ดังนี้ 22.7 มิลลิเมตร(30%) และ 53.6 มิลลิเมตร(56%) ตามลำดับ

ที่มา: ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา, ข้อมูลอากาศประจำเดือน

การคาดหมายลักษณะอากาศของประเทศไทยราย 3 เดือน

เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2555

ออกประกาศ วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ.2555

ลักษณะอากาศทั่วไป

ประเทศไทยตอนบน เดือนมิถุนายน มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ยังคงพัดปกคลุมประเทศไทย ซึ่งจะมีกำลังค่อนข้างแรงเป็นระยะๆ โดยเฉพาะในช่วงต้นและกลางเดือน ประกอบกับจะมีร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือในบางช่วง ส่งผลให้มีฝนตกชุกเกือบตลอดช่วง กับจะมีฝนตกหนักถึงหนักมากบางพื้นที่ส่วนมากบริเวณภาคตะวันออก และด้านตะวันตกของภาคเหนือและภาคกลาง จากนั้นในช่วงปลายเดือนมิถุนายนถึงกลางเดือนกรกฎาคม มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมจะมีกำลังอ่อนลง และร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนขึ้นไปพาดผ่านบริเวณประเทศจีนตอนใต้ ทำให้ปริมาณและการกระจายของฝนลดลง ซึ่งอาจก่อให้เกิดสภาวะฝนทิ้งช่วงในบางพื้นที่ ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำในด้านการเกษตร โดยเฉพาะพื้นที่ที่แล้งซ้ำซากนอกเขตชลประทาน สำหรับในช่วงครึ่งหลังของเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมประเทศไทยจะกลับมามีกำลังแรงขึ้น โดยจะมีกำลังแรงเป็นระยะๆ กับร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนกลับมาพาดผ่านบริเวณประเทศไทยตอนบน ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีฝนตกชุกเพิ่มมากขึ้น โดยจะมีฝนตกหนักถึงหนักมากในหลายพื้นที่ อาจก่อให้เกิดสภาวะน้ำท่วมฉับพลัน น้ำป่าไหลหลากรวมทั้งน้ำล้นตลิ่งในบางพื้นที่ปริมาณฝนรวมและอุณหภูมิเฉลี่ยจะใกล้เคียงค่าปกติภาคใต้ ในช่วงต้นและกลางเดือนมิถุนายน มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ยังคงพัดปกคลุมทะเลอันดามันและภาคใต้ และจะมีกำลังค่อนข้างแรงเป็นระยะๆ ทำให้บริเวณภาคใต้มีฝนตกชุก โดยเฉพาะฝั่งตะวันตกซึ่งเป็นด้านรับมรสุมโดยตรง กับจะมีฝนตกหนักหลายพื้นที่และหนักมากบางพื้นที่ รวมทั้งคลื่นลมในทะเลจะมีกำลังค่อนข้างแรง โดยทะเลอันดามันจะมีคลื่นสูงประมาณ 2 เมตร และในช่วงที่มรสุมมีกำลังแรงจะมีคลื่นสูง 2 - 4 เมตร ส่วนทะเลอ่าวไทยจะมีคลื่นสูงประมาณ 1 - 2 เมตร จากนั้นในช่วงปลายเดือนมิถุนายนถึงกลางเดือนกรกฎาคม

มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมจะมีกำลังอ่อนลง ทำให้บริเวณภาคใต้มีฝนลดลง สำหรับในช่วงครึ่งหลังของเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมบริเวณภาคใต้จะมีกำลังแรงขึ้น โดยจะมีกำลังแรงเป็นระยะๆ ส่งผลให้บริเวณภาคใต้มีฝนตกชุกเพิ่มมากขึ้นปริมาณฝนรวมจะต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยจะสูงกว่าค่าปกติเล็กน้อย

ข้อควรระวัง

เดือนมิถุนายนและกรกฎาคม อาจมีพายุหมุนเขตร้อนก่อตัวในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือด้านตะวันตก และอาจเคลื่อนตัวผ่านประเทศฟิลิปปินส์ลงสู่ทะเลจีนใต้ได้ ซึ่งจะทำให้มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมประเทศไทยและอ่าวไทยมีกำลังแรงขึ้น เป็นผลให้บริเวณประเทศไทยมีฝนตกเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออกและภาคใต้ฝั่งตะวันตกจึงขอให้ประชาชนติดตามข่าวพยากรณ์อากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาไว้ด้วยเดือนสิงหาคม มีโอกาสสูงที่พายุหมุนเขตร้อนก่อตัวในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือด้านตะวันตก จะเคลื่อนเข้ามาใกล้หรือเคลื่อนผ่านภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือภาคเหนือของประเทศไทย จึงขอให้ประชาชนติดตามข่าวพยากรณ์อากาศและคำเตือนเรื่องพายุหมุนเขตร้อนจากกรมอุตุนิยมวิทยาไว้ด้วยกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารกรมอุตุนิยมวิทยา

ที่มา: www.weather.go.th ศูนย์ภูมิภาค สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา
กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายสมมาตร ละไข้อยู่ไซ้ะ
เกิดวันที่	21 สิงหาคม 2510
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี(ศ.บ) คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ตำแหน่งปัจจุบัน	กรรมการผู้จัดการบริษัท มินิมอลลิส จำกัด อาจารย์พิเศษ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท มินิมอลลิส จำกัด
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	ชนะการประกวดออกแบบตกแต่งอาคาร สำนักงาน สภาสถาปนิก พระราม 9