

ประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นฝ้าเย็นที่ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก  
เป็นตัวทำความเย็น



นางสาววิรัชญา รัศมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Cooling Performance of passive cooled ceiling equipped with  
thermoelectric panels cooled by natural heat sinks

Miss Varittha Russamee



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นผ้าเย็นที่ใช้แผ่น เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวทำความเย็น
โดย	นางสาววิรัชญา รัศมี
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถนัย เศรษฐบุตุตร

---

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนะจฤดี)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถนัย เศรษฐบุตุตร)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. ณรงค์วิทย์ อารีมิตร)

วริษฐา รัศมี : ประสิทธิภาพการทำความเย็นของแผ่นฝ้าเย็นที่ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวทำความเย็น (Cooling Performance of passive cooled ceiling equipped with thermoelectric panels cooled by natural heat sinks) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อรรถจัน เศรษฐบุตร, 106 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับแผ่นฝ้าเย็นที่ทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก กับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยและการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นด้วย Heat sink ด้วยวิธีธรรมชาติทั้งสามรูปแบบได้แก่ Natural ventilation, Night time radiation และ Roof pond

จากการทดลองด้วยกล่องทดลองพบว่า การระบายความร้อนจาก Heat sink ด้วย Roof pond สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ thermoelectric รุ่น TEC 12706 ได้มากที่สุด ค่า COP ในการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกมากที่สุดก็คือ 1.46 และสามารถทำให้อุณหภูมิของกล่องทดลองมีค่าที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศปรกติได้มากถึง 3.73 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน และสามารถทำความเย็นให้กับกล่องทดลองได้มากที่สุด โดยค่าภาระการทำความเย็น (BTU/hr) มากกว่ากรณีอื่นๆ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพสมรรถนะ (EER) มีค่ามากกว่ากรณีอื่นๆ อีกด้วย จากนั้นจึงนำค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลเพื่อหาสมการเชิงเส้นเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทำการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถในการทำความเย็นให้กับอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งเครื่องปรับอากาศปรกติ พบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตพลังงานความร้อนได้มากกว่าความต้องการของอาคารที่ใช้ในการจำลองในโปรแกรม Visual DOE 4.1 ในทุกกรณีศึกษา ยกเว้นกรณี Night time radiation แต่เมื่อทำการจำลองการนำหลักการ Natural convection มาใช้ในการทำความเย็นให้กับอาคารสำนักงานในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics หรือ CFD ) พบว่าการพาความร้อนตามธรรมชาติยังทำความเย็นได้ไม่ดึนนักเนื่องจากอุณหภูมิในทุกๆกรณีอยู่ที่ 27.40-27.60 องศาเซลเซียส และเนื่องการพาความร้อนตามธรรมชาติ เป็นระบบที่ใช้การเคลื่อนที่ของอากาศแบบธรรมชาติทำให้ความเร็วลมภายในอาคารอยู่ที่ 0.005-0.065 m/s ทำให้ระบบนี้ไม่บรรลุความน่าสบายตามมาตรฐานของ ASHRAE และยังไม่เทียบเท่ากับระบบปรับอากาศแบบเครื่องกลแม้จะสามารถผลิตความร้อนได้มากและประหยัดพลังงานมากกว่าก็ตาม

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

# # 5773353625 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: THERMOELECTRIC / NATURAL CONVECTION / HEAT SINK

VARITTHA RUSSAMEE: Cooling Performance of passive cooled ceiling equipped with thermoelectric panels cooled by natural heat sinks. ADVISOR: ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 106 pp.

This article is about applying passive cooled ceiling cooled by thermoelectric with tropical climate in Thailand. By using passive heat sink method such as Natural ventilation, Night time radiation and roof pond to improve thermoelectric cooling performance.

The result shows that roof pond is the most efficient method for heat sink for thermoelectric. This method can increase the coefficient of performance for thermoelectric cooling up to 1.46 moreover decreased inside temperature 3.73 °C from outside temperature during day time. Roof pond also has a highest cooling power among other cases which result in highest EER.

In the simulation part, the cooling power from the experiment data will be compare with cooling usage in 40 sq.m. office building from Visual DOE 4.1. Passive cooled ceiling can reach cooling energy requirement in every cases except night time radiation but passive cooled ceiling can not satisfy human comfort by ASHRAE standard. According to Computational fluid dynamic (CFD) simulation, passive cooled ceiling can not cool the building well enough due to the characteristic of the wind. Natural convection causes a low wind speed which too slow to stir cool air above to cool the room affected the whole measure of human comfort.

Department: Architecture

Student's Signature .....

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของผู้มีอุปการะคุณดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. อรรถจน์ เศรษฐบุตตร ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำมาโดยตลอด ทั้งในส่วนของบททดลองและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และขอขอบคุณ ผศ.ดร. วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ และ รศ. พรรณชลัท สุริโยธิน ในฐานะผู้ที่ปูพื้นฐานการศึกษาในระดับปริญญาโทมาเป็นอย่างดี และเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมถึง ดร. ณรงค์วิทย์ อาริมิตร กรรมการจากภายนอกมหาวิทยาลัย ที่สละเวลาที่มีค่า มาร่วมเป็นคณะกรรมการ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	5
1.3 วิธีการศึกษา.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	7
2.1 ปรากฏการณ์ Thermolectric .....	7
2.2 การถ่ายเทความร้อน .....	13
2.3 การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติ.....	17
2.4 หลักการของ Chilled beam .....	18
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย .....	26
3.1 ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	26
3.2 การกำหนดตัวแปรในการทดลอง .....	27
3.3 ขั้นตอนการวิจัย .....	27

3.4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล.....	40
3.5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	43
3.6 แผนการวิจัย .....	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล.....	44
4.1 การทดลองด้วยกล่องทดลอง เพื่อทดสอบผลกระทบของตัวกลางในการนำความร้อนกับ การทำงานของ Thermoelectric .....	44
4.2 การทดลองด้วยกล่องทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีการ ระบายความร้อนแบบต่างๆ .....	53
4.3 การทดลองด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Simulation).....	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	99
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	99
5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางในการออกแบบ.....	102
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	103
รายการอ้างอิง .....	104
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	106



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยการดูดซับความร้อนในด้านเย็นของ Thermoelectric ในแต่ละกรณี (Watt).....	49
ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆ.....	50
ตารางที่ 3 แสดงค่า COP ในแต่ละกรณี .....	51
ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับความร้อนของด้านเย็น (Watt).....	57
ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็น ( $W m^{-1}K^{-1}$ ) .....	59
ตารางที่ 6 แสดงค่าประสิทธิภาพในการทำงานของ Thermoelectric couple .....	60
ตารางที่ 7 แสดงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในกล่องทดลองในแต่ละกรณีในเวลากลางวัน 6.00-18.00 น. ( $^{\circ}C$ ).....	62
ตารางที่ 8 แสดงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในกล่องทดลองในแต่ละกรณีในเวลากลางคืน 18.00-6.00 น. ( $^{\circ}C$ ).....	62
ตารางที่ 9 แสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกล่องทดลองกับอากาศภายนอกในเวลากลางวัน 6.00-18.00 น. ( $^{\circ}C$ ).....	63
ตารางที่ 10 แสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกล่องทดลองกับอากาศภายนอกในเวลากลางคืน 18.00-6.00 น. ( $^{\circ}C$ ).....	63
ตารางที่ 11 แสดงพลังงานความเย็นที่ผลิตได้ในทุกกรณี.....	64
ตารางที่ 12 แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการทำความเย็น .....	66
ตารางที่ 13 ผลการจำลองการไหลเวียนอากาศช่วงกลางวันในผังพื้นที่ระดับ 1.2 เมตร .....	73
ตารางที่ 14 ผลการจำลองการไหลเวียนอากาศช่วงกลางคืนในผังพื้นที่ระดับ 1.2 เมตร.....	75
ตารางที่ 15 ผลการจำลองการไหลเวียนอากาศช่วงกลางวันในรูปตัดที่ระดับ 1.2 เมตร .....	77
ตารางที่ 16 ผลการจำลองการไหลเวียนอากาศช่วงกลางคืนในรูปตัดที่ระดับ 1.2 เมตร.....	79
ตารางที่ 17 แสดงผลการจำลองอุณหภูมิในเวลากลางวันในรูปตัด .....	81

ตารางที่ 18 แสดงผลการจำลองอุณหภูมิในเวลากลางวันในรูปตัด.....	83
ตารางที่ 19 แสดงการจำลองความเร็วลมในผังพื้นในเวลากลางวัน.....	86
ตารางที่ 20 แสดงการจำลองความเร็วลมในผังพื้นในเวลากลางคืน.....	88
ตารางที่ 21 แสดงการไหลเวียนของอากาศในเวลากลางวัน.....	90
ตารางที่ 22 แสดงการไหลเวียนของอากาศในเวลากลางคืน.....	92
ตารางที่ 23 แสดงการไหลเวียนอากาศในรูปตัดในเวลากลางวัน.....	94
ตารางที่ 24 แสดงการไหลเวียนอากาศในรูปตัดในเวลากลางคืน.....	96
ตารางที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมกับผลของความรู้สึก.....	98
ตารางที่ 26 แสดงความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น กับความรู้สึกของอุณหภูมิที่ลดลง.....	98
ตารางที่ 27 แสดงค่า COP ในแต่ละกรณี.....	99
ตารางที่ 28 แสดงค่าประสิทธิภาพในการทำงานของ Thermoelectric couple.....	100
ตารางที่ 29 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นในกรณีต่างๆ.....	100
ตารางที่ 30 แสดงพลังงานความเย็นเปรียบเทียบกรณีต่างๆกับความต้องการของอาคาร.....	101

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงการติดตั้ง และการทำงานของ Active chilled beam.....	5
ภาพที่ 2 การเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอน และโฟนอนในแท่งโลหะ.....	8
ภาพที่ 3 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ซีเบคในวัสดุที่ต่างกันสองอย่าง.....	9
ภาพที่ 4 Single P type material และ Single N type material.....	9
ภาพที่ 5 แสดงวงจรที่รวมองค์ประกอบ P และ N เข้าด้วยกัน.....	10
ภาพที่ 6 หน่วยรวม P-N ในแกนกลางของ TEG.....	10
ภาพที่ 7 แสดงปรากฏการณ์เพลเทียร์ใน N type 1 ยูนิต และ ใน P type 1 ยูนิต.....	11
ภาพที่ 8 แสดงค่าประสิทธิภาพของ Thermolectric ที่ใช้วัสดุแตกต่างกัน.....	13
ภาพที่ 9 แสดงการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ.....	14
ภาพที่ 10 แสดงการนำความร้อนของสารที่สถานะแตกต่างกัน.....	15
ภาพที่ 11 แสดงช่วงสภาพของการนำความร้อนในสถานะต่างๆของสารที่อุณหภูมิและความดันปกติ.....	16
ภาพที่ 12 แสดงการติดตั้ง และการทำงานของ Active chilled beam.....	20
ภาพที่ 13 แสดงการทำงานของ Passive chilled beam.....	21
ภาพที่ 14 แสดงการทำงานของระบบ Passive radiant/convective chilled beam.....	22
ภาพที่ 15 การติดตั้ง TE และการตั้งกล่องทดลอง.....	23
ภาพที่ 16 แสดงการติดตั้งระบบ ATW ในการทดลอง.....	24
ภาพที่ 17 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในรูปตัด.....	25
ภาพที่ 18 แสดงการติดตั้งการทดลอง.....	25
ภาพที่ 19 แสดงภาพกล่องทดลองขณะประกอบ.....	28
ภาพที่ 20 แสดงภาพ Aluminum heat sink จากพัดลมการ์ดจอ.....	29
ภาพที่ 21 แสดงการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก กับแผ่นทองแดง และ Aluminum heat sink.....	29

ภาพที่ 22 การเรียงลำดับการวางเทอร์โมอิเล็กทริกและแผ่นทองแดง .....	30
ภาพที่ 23 รูปตัดขนาดของกล่องทดลองและตำแหน่งของแผ่นทองแดง .....	30
ภาพที่ 24 แสดงกล่องทดลองในกรณี Base case และ Diagram .....	31
ภาพที่ 25 แสดงกล่องทดลองในกรณี Natural ventilation และ Diagram .....	32
ภาพที่ 26 แสดงกล่องทดลองในกรณี Night time radiation และ Diagram .....	33
ภาพที่ 27 แสดงกล่องทดลองในกรณี Roof pond และ Diagram.....	34
ภาพที่ 28 แสดงการตั้งกล่องทดลองกลางแจ้ง.....	35
ภาพที่ 29แสดงตำแหน่งการวางเซนเซอร์ต่างๆ.....	36
ภาพที่ 30 แสดงการตั้งค่าอาคารในโปรแกรม Visual DOE.....	37
ภาพที่ 31 ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตเซลล์ในโปรแกรม HEATX .....	38
ภาพที่ 32 แสดงตัวอย่างการกำหนด Parameter ของโปรแกรม HEATX .....	38
ภาพที่ 33 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าอุณหภูมิผนังทั้งหกด้าน .....	39
ภาพที่ 34 แสดงตัวอย่างการกำหนดแหล่งความร้อนของโปรแกรม HEATX.....	40
ภาพที่ 35แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 1 .....	44
ภาพที่ 36 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 2 .....	45
ภาพที่ 37 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 3 .....	45
ภาพที่ 38 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 4 .....	46
ภาพที่ 39 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 1 .....	53
ภาพที่ 40 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 2 .....	53
ภาพที่ 41 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 3 โหมดกลางวันและกลางคืน .....	54
ภาพที่ 42 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 4 โหมดกลางวันและกลางคืน .....	55

## สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 1 เปรียบเทียบอุณหภูมิด้านเย็นของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆ.....	46
แผนภูมิที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆ.....	47
แผนภูมิที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองในกรณีต่างๆ .....	47
แผนภูมิที่ 4 แสดงการดูดซับความร้อนในด้านเย็นของ Thermoelectric ในช่วงเวลาต่างๆ.....	49
แผนภูมิที่ 5 แสดงการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นของ Thermoelectric ในช่วงเวลา ต่างๆ.....	50
แผนภูมิที่ 6 แสดงค่า COP ในแต่ละช่วงเวลา.....	51
แผนภูมิที่ 7 แสดงอุณหภูมิด้านเย็นของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆ .....	56
แผนภูมิที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆ .....	56
แผนภูมิที่ 9 แสดงค่าการดูดซับความร้อนในด้านเย็นในแต่ละช่วงเวลาในทุกกรณี .....	57
แผนภูมิที่ 10 แสดงค่าการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นในช่องเวลาต่างๆของทุกกรณี.....	59
แผนภูมิที่ 11 แสดง COP ในแต่ละช่วงเวลาของทุกกรณี.....	60
แผนภูมิที่ 12 แสดงค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดใน Thermoelectric module .....	61
แผนภูมิที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองในกรณีต่างๆ .....	62
แผนภูมิที่ 14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในช่องเวลาต่างๆในทุกกรณี.....	66
แผนภูมิที่ 15 แสดงค่า Solar radiation (วัตต์/ตารางเมตร) ของวันที่ 26 เมษายน 2558 ตั้งแต่ เวลา 13.00 นาฬิกา ถึง วันที่ 27 เมษายน 2558 เวลา 13.00 นาฬิกา.....	67
แผนภูมิที่ 16 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศ (°C) ของวันที่ 26 เมษายน 2558 ตั้งแต่เวลา 13.00 นาฬิกา ถึง วันที่ 27 เมษายน 2558 เวลา 13.00 นาฬิกา .....	68
แผนภูมิที่ 17 แสดงปริมาณความเย็นที่ใช้ในหนึ่งวันในวันที่สูงที่สุดของอาคารสำนักงาน .....	69
แผนภูมิที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความเย็นที่ผลิตได้ทั้ง 4 กรณีกับความต้องการใน หนึ่งวัน.....	70

แผนภูมิที่ 19 แสดงผลต่างของพลังงานความเย็นที่ต้องการกับที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ ..... 70



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

วิกฤติพลังงานถือเป็นปัญหาที่สังคมในปัจจุบันให้ความสนใจ พลังงานธรรมชาติที่มีอยู่ลดน้อยลงจนเกิดการคาดการณ์วิกฤติการณ์พลังงานที่จะเกิดในอนาคตอันใกล้ พลังงานทดแทนจึงเป็นสิ่งที่มนุษย์ให้ความสำคัญและพัฒนาเพื่อให้สามารถคิดค้นเทคโนโลยีในการผลิตพลังงานเพื่อสนองความต้องการของมนุษย์อย่างทันทางที่ โดยที่ปัจจุบันมีแนวคิดและเทคโนโลยีมากมายที่ถูกคิดค้นเพื่อช่วยแก้ปัญหาวิกฤติพลังงานยกตัวอย่างเช่น เทคโนโลยี Solar cells กังหันลมผลิตไฟฟ้า เครื่องปั่นไฟฟ้า พลังงานน้ำ เป็นต้น

นอกเหนือจากนวัตกรรมที่ช่วยสร้างพลังงานทดแทนแล้วนั้น ยังคำนึงถึงแนวคิดในการออกแบบเทคโนโลยีที่ประหยัดพลังงานถูกคิดค้นขึ้นมามากมาย โดยมีหลักแนวคิดที่สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพเท่าเดิมหรือมากกว่าแต่ใช้พลังงานน้อยลง ตัวอย่างที่เห็นได้อย่างชัดเจนก็คือ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ มีการรณรงค์ให้ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากที่ได้รับการรับรองในเรื่องของการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยเครื่องปรับอากาศเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่พยายามพัฒนาให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศให้กับอาคารให้มีสภาวะน่าสบายสำหรับผู้อยู่อาศัยในสภาพอากาศแบบต่างๆนั้นใช้พลังงานสูงมากคิดเป็นร้อยละ 40 สำหรับพลังงานที่ใช้ในอาคารหนึ่งหลัง ในปัจจุบันเครื่องปรับอากาศประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นแต่ยังไม่เพียงพอต่อวิกฤติพลังงานในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามก็ยังมีอีกนวัตกรรมหนึ่งที่สามารถทำความเย็นได้ถูกผลิตขึ้นมาเช่นเดียวกับเครื่องปรับอากาศแต่ยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายเนื่องจากถูกนำไปใช้ในการทำความเย็นให้กับอุปกรณ์อื่นๆเช่น CPU คอมพิวเตอร์ ตู้เย็นขนาดเล็ก หรือตู้แช่ไวน์ มากกว่าการทำความเย็นให้กับอาคาร นวัตกรรมนี้เป็นที่รู้จักในวงกว้างเรียกว่า เทอร์โมอิเล็กทริก (TE)

Thermoelectric เป็นอีกหนึ่งนวัตกรรมที่สำคัญที่เกิดขึ้นโดยถูกนำมาใช้ในการทำความเย็นในหลายระดับ เช่น CPU คอมพิวเตอร์ ตู้เย็นแช่ไวน์ หรือตู้เย็นขนาดเล็ก กระทั่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรม หรือทางการทหารซึ่งคุณสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ TE เป็นทางเลือกที่น่าสนใจคือ TE สามารถทำงานด้วยไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งใช้พลังงานน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศ

นอกจากนี้ในกระบวนการทำงานของ TE ยังไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อบรรยากาศเพราะกระบวนการทั้งหมดถูกควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้าเพียงเท่านั้น

ในระบบภายในของ TE มีปฏิกิริยาที่สำคัญทั้งหมด 4 ปฏิกิริยาดังนี้

1. Seebeck effect หรือกระบวนการที่เปลี่ยนความต่างของอุณหภูมิให้กลายเป็นไฟฟ้า
2. Peltier effect หรือกระบวนการที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เกิดการนำความร้อน
3. Thomson effect หรือกระบวนการที่ตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งระหว่างกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิไม่คงที่ส่งผลต่อ seebeck coefficient หรือค่าความสามารถในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีความต่างของอุณหภูมิที่ผิวสัมผัส
4. Joule heating หรือ Ohmic heating คือกระบวนการเกิดความร้อนจากการเดินทางของกระแสไฟฟ้า

โดยกระบวนการทั้ง 4 จะเกิดขึ้นพร้อมกันในระบบของ TE เมื่ออุปกรณ์ทำงานโดยปรากฏการณ์ Seebeck, Peltier และ Thomson สามารถย้อนกลับสมการได้ในขณะที่ Joule heating ไม่สามารถทำได้ โดยกระบวนการทั้งหมดเกิดขึ้นใน Semiconductor ซึ่งใช้ Beryllium (Be) เป็นองค์ประกอบหลัก และแผ่นเซรามิกที่เป็นสื่อนำความร้อน

การทำงานของ TE อธิบายได้ด้วยงานวิจัยของ Matthieu Cosnier et al. เรื่อง An experimental and numerical study of a thermoelectric air-cooling and air-heating system งานวิจัยนี้ได้อธิบายการทำงานของ TE ไว้ว่า เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปในหน่วย TE จะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าภายในตัว Semiconductor ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิว TE โดยด้านหนึ่งจะดูดความร้อนและไประบายออกอีกฝั่งหนึ่ง โดยด้านที่ดูดความร้อนจะเย็นกว่าด้านที่คายความร้อนโดยพบว่า TE ที่ระบายความร้อนได้ดีจะสามารถเก็บพลังงานความร้อนได้มากและเพิ่มสูงขึ้นเป็นสามเท่าในอีกฝั่ง โดยการทำงานของ TE ที่ดีจะต้องรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิให้น้อยที่สุดและใช้กระแสไฟฟ้าสูงที่สุดโดยขึ้นอยู่กับรุ่นของ TE ที่ใช้ในการทดลอง จากผลการวิจัยพบว่าค่า COP ของ TE สามารถเพิ่มได้มากกว่า 1.5 ในโหมดทำความเย็น ซึ่งจะต้องเดินเครื่องด้วยกระแสไฟฟ้าสูงสุดคือ 4-5 Amp และต้องคงความแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและเย็นให้ไม่ต่างกันมากกว่า 5-10 องศา และหากต้องการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบระบายอากาศในอาคารควรจะทำให้อากาศเย็นก่อนที่จะเข้าตัวอาคารเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการมากขึ้น

จากคุณสมบัติข้างต้นทำให้เกิดความสนใจและวิจัยเกี่ยวกับการนำ TE ไปใช้ประโยชน์ทั้งรูปแบบของการทำความเย็นหรือ Thermoelectric cooling และ Thermoelectric generator แต่ค่า COP ของ TE ยังน้อยกว่าเครื่องปรับอากาศที่มีอยู่ในปัจจุบันอย่างมาก จึงมีการศึกษาที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ TE เพื่อให้สามารถทำความเย็นหรือความร้อนได้มากขึ้น จาก



งานวิจัยของ S. B. Riffat และ Xioali Ma เรื่อง Improving the coefficient of performance of thermoelectric cooling system: a review (Riffat & Ma, 2004)<sup>1</sup> กล่าวถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ TE ด้วยวิธีการต่างๆ โดยงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบของ TE และตัวแปรที่สำคัญที่จะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานหรือ COP ของ TE ด้วยการทดลองทำการระบายความร้อนทั้งหมด 3 รูปแบบได้แก่ 1. Natural air convection 2. Forced air convection 3. Water-cooled forced convection ซึ่งจากการวิจัยพบว่าการระบายความร้อนด้วยวิธี Water-cooled forced convection มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนมากที่สุด และยังมีปัจจัยภายในอื่นที่สำคัญอีกเช่นการเปลี่ยนตัว Semiconductor เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ TE ให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งหากสามารถเพิ่ม ZT หรือตัวแปรความดี (The figure of merit) ของ TE ให้มากขึ้นถึง 6 ได้จะสามารถทำให้ TE ทำความเย็นได้ถึงระดับ cryogenic temperature ซึ่งต่ำกว่า -100 องศาเซลเซียส

นอกจากการระบบ Thermoelectric cooling แล้วยังมีงานวิจัยที่ประยุกต์ TE เข้ากับ Solar cell ซึ่งเรียกว่า Active building envelopes (ABE) จากงานวิจัยของ Xu Xu และคณะ เรื่อง Study of the performance of Thermoelectric modules for use in active building envelopes (Xu, Dessel, & Messac, 2007)<sup>2</sup> การทดลองนี้ได้มีการทดลอง TE ในเรื่องของลักษณะการต่อวงจรของ TE 8 ตัวโดยมีการต่อแบบอนุกรม และการต่อแบบอนุกรม 4 ตัวแล้วนำมาต่อแบบขนานกับอีกอนุกรมหนึ่ง และการเปลี่ยนค่าการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 3 amp 5 amp และ 7 amp ที่ส่งผลต่อการทำความเย็นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับ Solar cell โดยการทดลองแบ่งออกเป็นสองช่วงคือการทดลองระยะสั้น 2 ชั่วโมงเพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลง และระยะยาว เพื่อศึกษาการทำงาน พบว่าการต่อวงจรแบบเชื่อม 4 หน่วยให้เป็นอนุกรม และต่อขนานกับอีกอนุกรมหนึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการทำงานของ TE ดีขึ้นกว่าการต่ออนุกรมทั้งหมด และการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 5 amp จะสามารถทำให้ TE ทำความเย็นได้ดีที่สุดโดยที่ความร้อนไม่ตีกลับ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Ritesh A. Khire และคณะเรื่อง Design of thermoelectric heat pump unit for active building envelop system<sup>3</sup>(Khire et al., 2005) ทำการวิจัยการประยุกต์ใช้ TE ร่วมกับ Solar cell ในระบบ ABE โดยกล่าวว่าความสามารถในการทำ Heat sink ให้กับระบบมีความจำเป็นต่อการทำความเย็นอย่างมาก ในทำนองเดียวกันกับงานวิจัยของ Jorge Vazquez เรื่อง An active thermal wall based on thermoelectricity และงานวิจัยของ Arenas Alonso A. และคณะเรื่อง Full-size prototype of active thermal windows based on thermoelectricity (Arenas Alonso A., Palacios R.,

<sup>1</sup> (Riffat & Ma, 2004)

<sup>2</sup> (Xu et al., 2007)

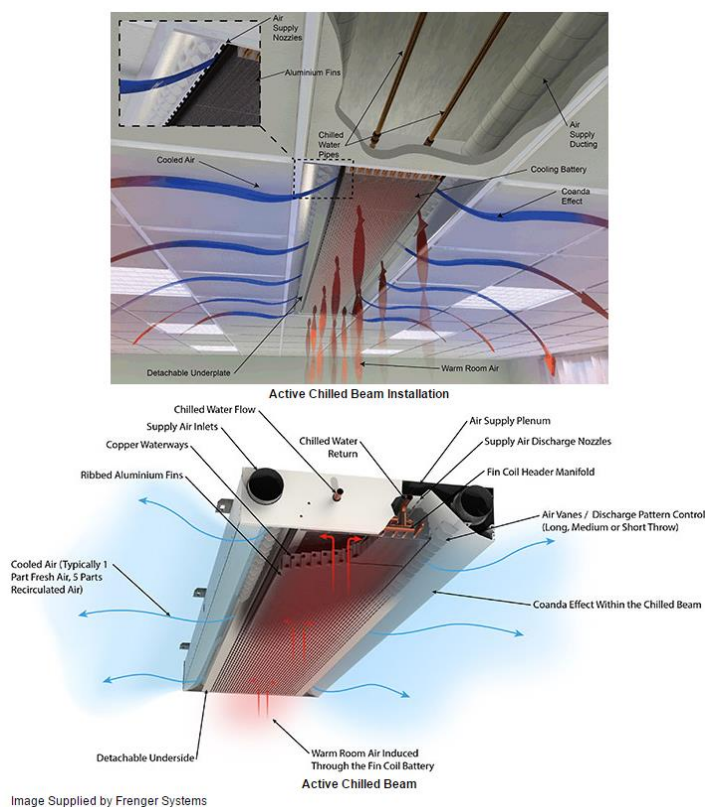
<sup>3</sup> (Khire, Messac, & Van Dessel, 2005)

Rodriguez-Pecharroman R., & L., 2008)<sup>4</sup> (Arenas Alonso A. et al., 2008) ซึ่งมีการทดลองที่คล้ายกันแต่นำไปประยุกต์ใช้กับหน้าต่างแทนผนังโดยงานวิจัยนี้ใช้กระแสไฟฟ้าที่ 3 amp พบว่าระบบ ATW หรือ Active thermal window สามารถทำความเย็นได้ 150 W และบดบังมุมมองแค่ 20 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

นอกเหนือจากงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วยังมีงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นและความร้อนให้กับ TE อีกมาก เพราะการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับระบบความเย็นอื่นๆ TE ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าระบบอื่นๆมาก เนื่องจากใช้เพียงแค่ไฟฟ้ากระแสตรงในการทำงานเท่านั้น TE สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการทำความเย็นได้เทียบเท่าหรืออาจจะมากกว่าหากมี Heat sink ที่ดี นอกจากนี้หากนำ TE ไปผนวกการใช้งานกับ Solar cell จะเป็นระบบการทำความเย็นที่ไม่สร้างมลภาวะให้กับบรรยากาศ ไม่ต้องใช้สารเคมีที่ทำลายสภาพแวดล้อมอย่างน้ำยาแอร์ และช่วยลดปัญหาโลกร้อนที่สำคัญยังประหยัดพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ไปกับระบบทำความเย็นในอาคารปัจจุบันคิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์จากพลังงานทั้งหมด จากค่าพลังงานที่มากนี้เองทำให้ในปัจจุบันมีระบบปรับอากาศที่ไม่ใช้น้ำยาแอร์และใช้การไหลเวียนของอากาศตามธรรมชาติ ( Natural convection ) ทำให้ระบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้พัดลมเพื่อเป่าลมเย็นในการทำ ความเย็นภายในอาคาร ระบบนี้คือระบบ Chilled beam

---

<sup>4</sup> (Arenas Alonso A. et al., 2008)



ภาพที่ 1 แสดงการติดตั้ง และการทำงานของ Active chilled beam  
(ที่มา : Lancaster Circus. Chilled beam technology.)

Chilled beam เป็นเหมือนระบบปรับอากาศแบบฝังฝ้ามีทั้งหมด 2 ประเภทแบ่งตามลักษณะการทำงานได้แก่ Active chilled beam ระบบนี้จะมีท่ออากาศตั้งลงมยื่นเข้ามาภายในห้องเพื่อช่วยในการหมุนเวียนของอากาศ และ Passive chilled beam ที่ใช้หลักการไหลเวียนของอากาศตามธรรมชาติในการทำความเย็นให้กับอากาศภายในห้องเท่านั้น หลักการทำงานคืออากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นสูงตามธรรมชาติไปผ่าน Cooling coil ในระบบ Chilled beam ทำให้อากาศเย็นตัวลงเมื่ออากาศเย็นตัวก็จะตกลงสู่พื้นห้องด้านล่างเพราะอากาศเย็นหนักกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ทำให้ระบบ Chilled beam เป็นระบบปรับอากาศที่ประหยัดพลังงานและน้ำยาแอร์ และเป็นที่น่าสนใจอย่างมาก เมื่อรวมความสามารถในการทำความเย็นของ Thermoelectric เข้ากับระบบ Chilled beam ได้จะทำให้ระบบ Chilled beam ประหยัดพลังงานเพิ่มมากขึ้นอีกมาก

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. ทำการทดลองและศึกษาประสิทธิภาพการในการนำเทอร์โมอิเล็กทริกผสมกับระบบ Passive cooled ceiling มาใช้ในการทำความเย็นให้กับสภาพอากาศของประเทศไทย

2. ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นของ Passive cooled ceiling ที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวทำความเย็นด้วยการทำ Heat sink ด้วยวิธีธรรมชาติ

### 1.3 วิธีการศึกษา

- 1.3.1 ทบทวนเกณฑ์ในการออกแบบ และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.2 ศึกษาการสร้างกล่องทดลองในการจำลองระบบการทำความเย็นแบบ Chilled beam และการระบายความร้อนออกด้วยวิธีธรรมชาติ
- 1.3.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และนำมาสรุปเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงาน

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 พัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ Passive cooled ceiling ที่ทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ด้วยวิธีการทำ Heat sink แบบธรรมชาติ
- 1.4.2 นำร่องการศึกษานำเทคโนโลยี Passive cooled ceiling ที่ทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อมาประยุกต์ใช้ในอาคารได้จริง
- 1.4.3 เป็นแนวทางสำหรับการศึกษานำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้ในการทำความเย็นต่อไป

### 1.5 ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา

- 1.5.1. ทำการทดลองด้วยอุปกรณ์ Thermoelectric รุ่น TEC1-12706 เท่านั้น
- 1.5.2. ทำการทดลองการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพียง 3 วิธีคือ Natural ventilation, Night time radiation, Roof pond
- 1.5.3. Aluminium heat sink จากพัดลมการ์ดจอเท่านั้น
- 1.5.4 เป็นการทดลองกลางแจ้งจึงไม่มีการควบคุมตัวแปรที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการทำงานทดลองเช่น Solar radiation และ อุณหภูมิภายนอกกล่องทดลอง

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความเย็นของ Thermoelectric ด้วย Heat sink มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

- 2.1 ปราบกฎการณ์ Thermoelectric
- 2.2 การถ่ายเทความร้อน
- 2.3 การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติ
- 2.4 หลักการของ Chilled beam

ซึ่งมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

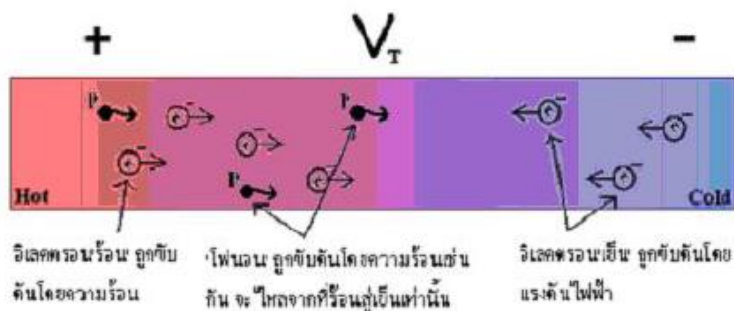
#### 2.1 ปราบกฎการณ์ Thermoelectric

พลังงานความร้อนในของแข็งจะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยการสั่นสะเทือนของโครงสร้างภายในของแข็งนั้น ในเชิงควอนตัมฟิสิกส์ ความสั่นสะเทือนดังกล่าวนี้เรียกว่า โฟนอน (phonon) โดยในวัสดุหลายชนิดความร้อนจะถ่ายเทโดยโฟนอน อย่างไรก็ตามในปี ค.ศ. 1821 โทมัส โยฮาน ซีเบค (Thomas Johaan Seebeck) ได้ค้นพบว่าในโลหะหลายชนิด ความร้อนส่วนหนึ่งสามารถถ่ายเทโดยประจุไฟฟ้า ได้แก่ อิเล็กตรอนอิสระ (free electrons)

ปรากฏการณ์ต่อมาเรียกว่าปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric effect หรือ TE)

กลไกการเกิดปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในโลหะดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.1 จะเห็นว่า โฟนอนเคลื่อนที่จากบริเวณที่ร้อนกว่าไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า แต่อิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้ในสองทิศทาง โดยอิเล็กตรอนกลุ่มแรก (เรียกว่า อิเล็กตรอน 'ร้อน') จะเคลื่อนที่จากบริเวณที่ร้อนกว่าสู่บริเวณที่เย็นกว่า เนื่องจากถูกขับเคลื่อนโดยพลังงานความร้อนที่ได้รับ ในทำนองเดียวกับอากาศที่ร้อนจะลอยตัวสูงกว่าอากาศที่เย็นกว่า

ต่อมากการสะสมของอิเล็กตรอนร้อนนี้จะทำให้อุณหภูมิในเขตเย็นสูงขึ้นและก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้า (V) ระหว่างเขตร้อนที่กลายเป็นขั้วไฟฟ้าบวกและเขตเย็นที่เป็นขั้วลบ แรงดันนี้ทำให้เกิดกระแสของอิเล็กตรอน 'เย็น' อีกกลุ่มที่ไหลเวียนกลับสู่เขตร้อน ในกรณีนี้จะเห็นได้ว่าความไม่สมดุลของอุณหภูมิเป็นเหตุให้เกิดแรงดันไฟฟ้า



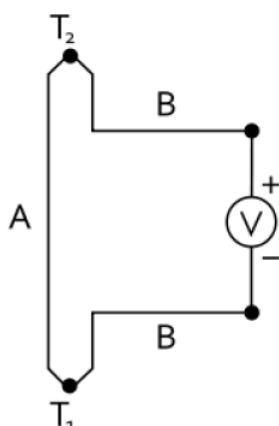
ภาพที่ 2 การเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอน และโฟนอนในแท่งโลหะ  
ที่มา : ผ่าเทพ พิษณุซากกร. เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก.ไทย:ฟิสิกส์ราชชมงคล

ในทางกลับกันแรงดันไฟฟ้าสามารถเป็นเหตุให้เกิดความไม่สมดุลของอุณหภูมิด้วยเช่นกัน โดยสามารถใช้แหล่งไฟฟ้าภายนอก เช่น แบตเตอรี่ไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าภายในแท่งโลหะ ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะนำพาความร้อนไปด้วย ทำให้อุณหภูมิที่ขั้วไฟฟ้าลบของแท่งโลหะลดลงในขณะที่ขั้วบวกนั้นกลับเพิ่มสูงขึ้นทำให้ thermoelectric ประกอบไปด้วยปรากฏการณ์ 3 ปรากฏการณ์หลักคือ ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) และ ปรากฏการณ์ทอมป์สัน (Thompson effect) โดยที่ปรากฏการณ์ซีเบค และ ปรากฏการณ์เพลเทียร์สามารถผันกลับหากันได้ (Bell, 2008)

### 2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

ปรากฏการณ์ซีเบคถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1821 โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน Thomas Johann Seebeck โดยประโยชน์หลักของปรากฏการณ์นี้ก็คือการสร้าง Thermoelectric generators

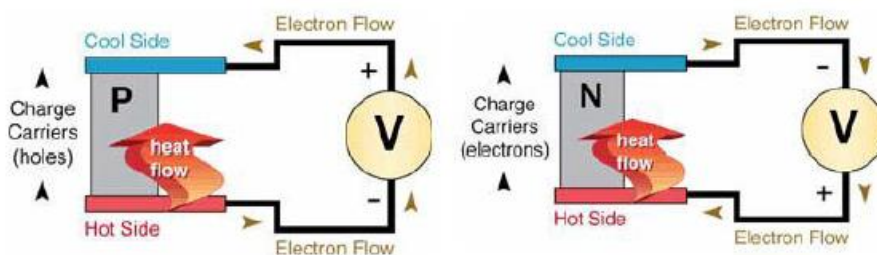
ปรากฏการณ์ซีเบคจะอธิบายได้ว่าทำไม Thermoelectric สามารถให้กำเนิดไฟฟ้าได้ เมื่อมีความต่างอุณหภูมิของอุณหภูมิในเซลล์ที่เปิด จะเกิดการสร้างประจุไฟฟ้าในเซลล์ที่ปิด โดยจะขยายความได้ว่า ความต่างศักย์ของอุณหภูมิสามารถเกิดขึ้นได้ในช่องว่างระหว่างวัสดุสองอย่าง ยกตัวอย่างเช่น วัสดุ A และ วัสดุ B วัสดุที่ต่างกันจะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) ที่ต่างกันและจะส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้า



ภาพที่ 3 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ซีเบคในวัสดุที่ต่างกันสองอย่าง

ที่มา : Yip Wai Nam. 2012. Thermoelectric materials and devices: City university of Hong Kong

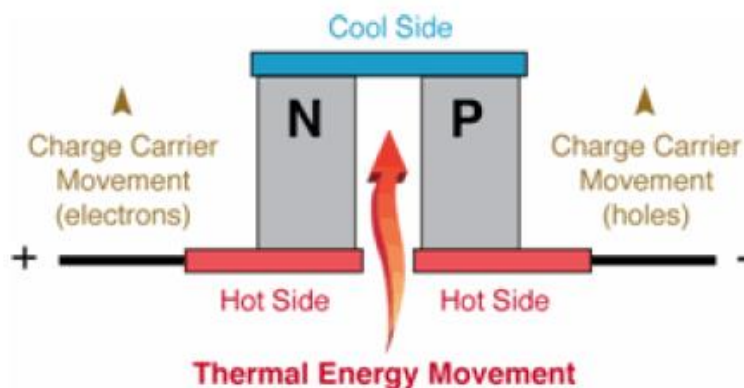
เมื่อความต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างตัวนำทั้งสองอย่างจะเกิดการส่งผ่านพลังงานความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านที่เย็นกว่า ซึ่งพลังงานความร้อนนี้จะเป็นตัวนำไฟฟ้าและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าโดยที่จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับการถ่ายความร้อน และจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้านี้เองทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในระบบหากว่าวงจรไฟฟ้าสมบูรณ์



ภาพที่ 4 Single P type material และ Single N type material

ที่มา : Yip Wai Nam. 2012. Thermoelectric materials and devices: City university of Hong Kong

จากภาพที่ 4 และ 5 จะเห็นได้ว่า ตัวนำใน thermoelectric generator (TEG) แบบ P-type จะเคลื่อนที่จากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นซึ่งการเคลื่อนที่นี้จะทำให้เกิดความต่างศักย์ซีเบค ส่วนแบบ N-type จะเหมือนกับ P-type แต่จะแตกต่างกันที่ทิศทางของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ไป



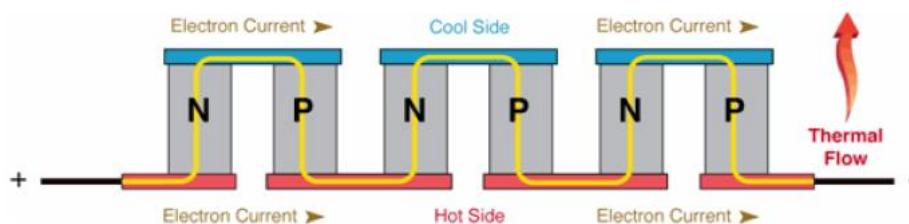
ภาพที่ 5 แสดงวงจรที่รวมองค์ประกอบ P และ N เข้าด้วยกัน

ที่มา : Yip Wai Nam. 2012. Thermoelectric materials and devices: City university of Hong Kong

อย่างไรก็ดี TEG มักจะรวมทั้ง P และ N ร่วมกันในส่วนแกนกลางของยูนิต ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะถูกกำหนดให้เคลื่อนที่เป็นโครงข่าย โดยที่การเคลื่อนที่จะเคลื่อนผ่านด้านร้อนด้านเย็น จากนั้นจึงกลายเป็นด้านเย็นไปด้านร้อน แล้วกลับมาที่ด้านร้อนไปด้านเย็นอีกทีจากการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนนั่นเอง

ในทางปฏิบัติ หากว่า TEG จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดนั้นจะต้องประกอบไปด้วยเซลล์ P-N เป็นคู่ๆจำนวนมาก ในหนึ่งหน่วยของ TEG ทั่วไปจะประกอบไปด้วย 127 หน่วย หรือมากกว่าสำหรับ P-N thermocouple เพื่อช่วยให้ความต่างศักย์ซีเบคมากพอที่จะสามารถนำไปใช้งานได้<sup>5</sup>

(Nam, 2012)



ภาพที่ 6 หน่วยรวม P-N ในแกนกลางของ TEG

ที่มา : Yip Wai Nam. 2012. Thermoelectric materials and devices: City university of Hong Kong

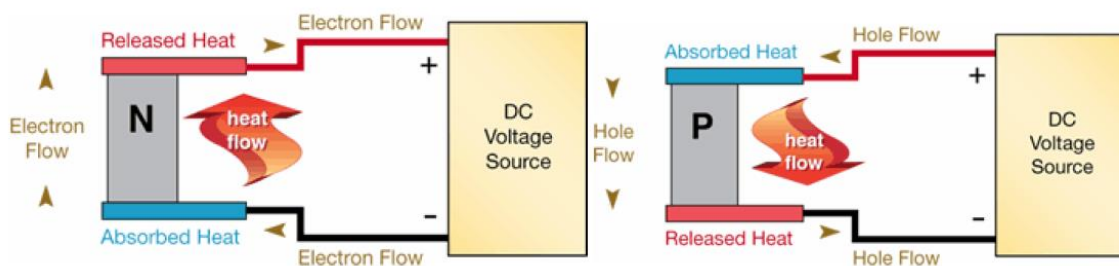
<sup>5</sup> (Nam, 2012)



### 2.1.2 ปฏิกิริยาเพลเทียร์ (Peltier effect)

ปรากฏการณ์เพลเทียร์ถูกเรียกตามชื่อของนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส Jean-Charles Peltier ที่ค้นพบปรากฏการณ์นี้ในปี ค.ศ. 1834 หลักการของปรากฏการณ์เพลเทียร์นี้ก็คือ เมื่อวงจรไฟฟ้าประกอบไปด้วยวัสดุสองชนิดที่มีความต่างศักย์และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ด้านตรงข้ามของวงจรไฟฟ้าหรือด้านที่ติดกับวัสดุทั้งสองชนิดจะเกิดการดูดซับและคายความร้อนขึ้น โดยสิ่งที่จะกำหนดว่าด้านใดจะเป็นด้านที่ดูดซับ แลด้านใดจะเป็นด้านที่ปลดปล่อยความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับศักย์ภาพของขั้วนั้นๆ หรือจะกล่าวในอีกนัยหนึ่งได้ว่า ความต่างศักย์ที่จะเป็นตัวกำหนดการดูดซับความร้อนนั่นเอง

ปรากฏการณ์เพลเทียร์และปรากฏการณ์ซีเบคมีความคล้ายคลึงกัน เนื่องจากปรากฏการณ์ทั้งสองอย่างมีค่าคงที่ที่สามารถระบุความแตกต่างของวัสดุได้ โดยที่ ผลลัพธ์ของปรากฏการณ์เพลเทียร์แสดงถึงความร้อนที่ถูกถ่ายเทไปต่อยูนิตในวัสดุที่ถ่ายออก โดยการถ่ายเทจะต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอระหว่างช่องว่างของวัสดุ และเมื่อความร้อนถ่ายเทมารวมกันแล้วจะเริ่มพัฒนาความไม่ต่อเนื่อง ถ้าค่าเพลเทียร์ในวัสดุ A และ B แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ดี ปริมาณความร้อนทั้งสองวัสดุจะไม่แตกต่างกันมากนักในปรากฏการณ์เพลเทียร์



ภาพที่ 7 แสดงปรากฏการณ์เพลเทียร์ใน N type 1 ยูนิต และ ใน P type 1 ยูนิต

ที่มา : Yip Wai Nam. 2012. Thermoelectric materials and devices: City university of Hong Kong

อย่างไรก็ดี การใช้งานหลักของปรากฏการณ์นี้คือสำหรับให้ทำความเย็น (thermoelectric cooling) เช่น ตู้เย็น ซึ่งระบบนี้จะมีประสิทธิภาพมากเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้ระบบอื่นๆเพื่อช่วยในการทำความเย็น (Nam, 2012)

### 2.1.3 ปรากฏการณ์ทอมป์สัน (Thompson effect)

ในวัสดุหลายๆอย่าง ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคนั้นจะไม่คงที่ อันเนื่องมาจากความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านการเปลี่ยนแปลง ณ จุดอย่าง

ต่อเนื่องจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เพลเทียร์ขึ้น ปรากฏการณ์ทอมป์สันนี้ถูกคาดการณ์และเฝ้าติดตามผลโดย William Thomson ในปี 1851 ซึ่งปรากฏการณ์นี้ได้อธิบายถึงการทำความร้อนและการทำความเย็นจากตัวนำไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

นอกเหนือจากปรากฏการณ์ทั้ง 3 ปรากฏการณ์แล้ว การทำงานของ Thermoelectric ยังถูกควบคุมด้วยตัวแปรสำคัญอีกตัวหนึ่งก็คือ ค่าตัวแปรความดี หรือ Figure of merit

#### 2.1.4 ตัวแปรความดี (Figure of merit)

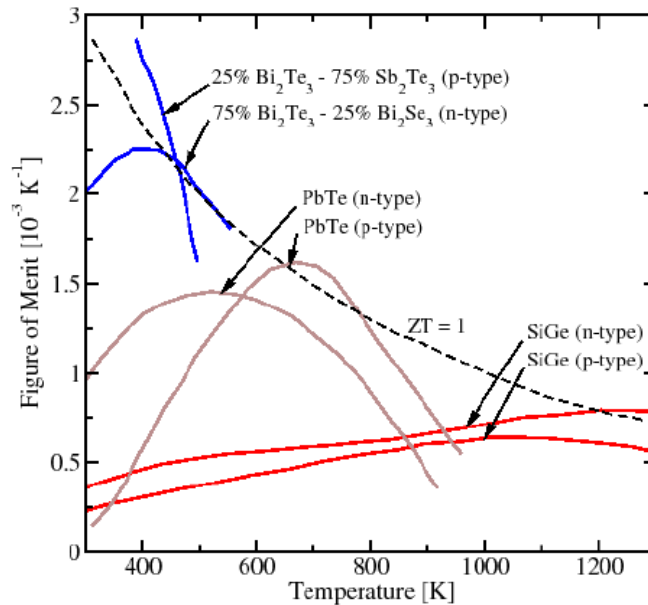
ค่าตัวแปรความดี (figure of merit หรือตัวแปร  $Z$ ) คือค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพตามหลักการเทอร์โมไดนามิกของเครื่อง Thermoelectric การที่วัสดุสองชนิดมีค่าตัวแปร  $Z$  เหมือนกันถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ค่าตัวแปรความดี 1 จะถือว่า Thermoelectric นั้นสามารถทำงานได้ แต่ค่าที่จะทำให้ Thermoelectric สามารถทำงานได้และมีประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วง 3-4 ขึ้นไป

ค่าตัวแปรความดีสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$Z = \frac{S^2 \sigma}{k}$$

โดยที่

- Z คือ ค่าตัวแปรความดี
- S คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค
- $\sigma$  คือ ค่าการนำไฟฟ้า



ภาพที่ 8 แสดงค่าประสิทธิภาพของ Thermoelectric ที่ใช้วัสดุแตกต่างกัน

Thermoelectric จะทำงานได้ดีที่สุดเมื่อค่า ZT ใกล้เคียงกับสาม อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการเพิ่มประสิทธิภาพในหน่วย thermoelectric ยังคงทำได้ยากในวัสดุบางประเภท(Nam, 2012)

## 2.2 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยเมื่อวัตถุสองชนิด หรือตัวกลางเกิดช่องว่างระหว่างอุณหภูมิขึ้นจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนมีรูปแบบที่ต่างกันโดยขึ้นอยู่กับตัวกลางหรือสื่อนำความร้อนนั้นๆ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้น ( Temperature gradient) ในตัวกลางที่อยู่นิ่ง เช่น ของแข็ง หรือของไหล การถ่ายเทความร้อนจะเป็นรูปแบบของการถ่ายเทความร้อนผ่านโมเลกุลของตัวกลางจากด้านที่ร้อนไปสู่ด้านที่เย็น เรียกกระบวนการนี้ว่า การนำความร้อน (Conduction) เมื่อการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวและของไหลที่เคลื่อนที่เมื่อมีอุณหภูมิต่างกันจะเรียกการถ่ายเทความร้อนนี้ว่า การพาความร้อน (Convection) และอย่างสุดท้าย สสารที่มีอุณหภูมิจะปล่อยพลังงานในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแผ่ออกไปรอบด้าน ทำให้เกิดพลังงานงานความร้อนแผ่กระจายออกจากสสารที่มีความร้อน สู่บริเวณโดยรอบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งการถ่ายเทความร้อนโดยปราศจากตัวกลางใดๆเรียกว่า การแผ่รังสี (Thermal radiation)



ภาพที่ 9 แสดงการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ

(ที่มา :

[http://www.tau.ac.il/~phchlab/experiments\\_new/heat\\_conductivity/theory.html](http://www.tau.ac.il/~phchlab/experiments_new/heat_conductivity/theory.html)  
 ,2558)

### 2.2.1 การนำความร้อน (Conduction)

การถ่ายเทความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลางที่บดแสง โดยสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการส่งถ่ายความร้อนผ่านโมเลกุลของตัวกลางนั้นๆ โดยทั่วไปแล้วการนำความร้อนจะเกิดขึ้นในตัวกลางที่เป็นของแข็งมากกว่าของเหลวและแก๊ส เนื่องจากในของเหลวและแสมมีการหมุนเวียนของโมเลกุลตลอดเวลา

การนำความร้อนสามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$\text{Rate of conduction } \alpha \frac{(\text{area})(\text{Temperature difference})}{\text{Thickness}}$$

$$q_{\text{cond}} \propto A \frac{dT}{dx} = -kA \frac{dT}{dx}$$

โดยที่

$q_{\text{cond}}$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (w)

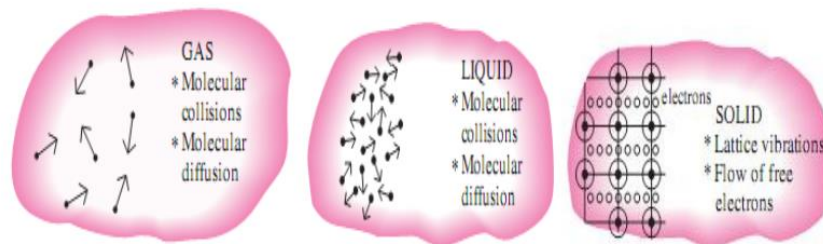
$A$  คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน ( $\text{m}^2$ )

$T$  คือ อุณหภูมิ (K)

$X$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (m)

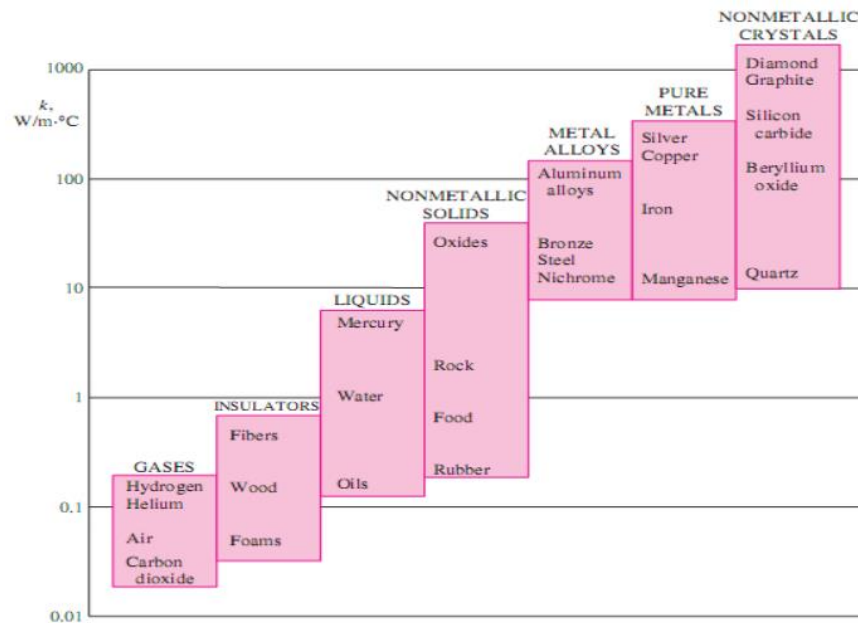
โดยที่ ค่า  $k$  ก็คือคุณสมบัติในการนำความร้อนของวัสดุใดๆ มีหน่วยเป็น  $W/mK$  ซึ่งสมการการคำนวณค่าการนำความร้อนมาจากกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's law of conduction) ซึ่งได้อธิบายถึงเครื่องหมายลบเอาไว้ในกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิก ซึ่งได้ระบุไว้ว่า ความร้อนจะเคลื่อนที่จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า แต่เนื่องจากความลาดชันของอุณหภูมิจะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นซึ่งหากต้องการให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไหลไปในทิศทางที่เป็นบวกจึงต้องเติมเครื่องหมายลบเข้าไปในสมการเพื่อหักล้างกัน

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น รูปทรง ความหนา และวัสดุที่ใช้ ในการทำตัวกลาง รวมทั้งความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลาง ค่าการนำความร้อนเองก็เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุ โดยที่วัสดุที่มีค่า  $k$  หรือค่าการนำความร้อนสูงเช่น โลหะ จะเรียกว่า สารตัวนำ (conductor) และสารที่มีค่า  $k$  ต่ำเช่น สารจำพวกอโลหะ จะเรียกว่า ฉนวน (insulator)



ภาพที่ 10 แสดงการนำความร้อนของสารที่สถานะแตกต่างกัน

(ที่มา : Momentum and heat transfer: 231-311)



ภาพที่ 11 แสดงช่วงสภาพของการนำความร้อนในสถานะต่างๆของสารที่อุณหภูมิและความดันปกติ  
(ที่มา : Momentum and heat transfer: 231-311)

## 2.2.2 การพาความร้อน (Convection)

การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนประกอบด้วยกลไกที่สำคัญสองอย่าง อย่างแรกก็คือ การเกิดพลังงานจากการถ่ายเทผ่านการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุล และอย่างที่สองคือการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิแบบปรกติ ก็คืออุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงเคลื่อนที่จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เพราะฉะนั้นกลไกที่สำคัญทั้งสองอย่างทำให้เกิดการพาความร้อนโดยลักษณะการพาแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะด้วยกัน

2.2.2.1 การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection) คือการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหล โดยที่โมเลกุลอิสระของของไหลถูกบังคับโดยภายนอกต่างๆเช่น พัดลม หรือ ปั๊มน้ำ บังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับของแข็งทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิซึ่งกันและกัน

2.2.2.2 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) หรือก็คือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนผ่านตัวกลางสองชนิดคือของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกหรือปัจจัยภายนอกมาบังคับการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนให้ถ่ายเท

ไป โดยการถ่ายเทที่เกิดขึ้น เกิดจากแรงลอยตัวของโมเลกุลของไหล โดยที่แรงลอยตัวนี้เกิดจากความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในชั้นของของไหลนั่นเอง

### 2.2.3 การแผ่รังสี (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน คือพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจากวัตถุที่มีอุณหภูมิแน่นอน โดยวัตถุนั้นจะอยู่ในสภาวะใดก็ได้ พลังงานที่ถูกถ่ายเทออกด้วยวิธีการแผ่รังสี จะถูกถ่ายเทผ่านตัวกลางที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า โฟนอน (Photons) ซึ่งแตกต่างจากการนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสีไม่จำเป็นต้องใช้ตัวกลางใดๆเพื่อช่วยในการพาความร้อนออกจากระบบ และการแผ่รังสีจะสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเกิดในสภาวะสุญญากาศ

## 2.3 การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติ

หนังสือ Passive and Low Energy Cooling of Building ของ Baruch Givoni ได้ให้คำอธิบายไว้ว่าเป็นเทคนิควิธีต่างๆ ที่ใช้พลังงานธรรมชาติเพื่อให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลง ซึ่งในบางกรณียังรวมถึงการใช้เครื่องกลเช่น พัดลม หรือปั๊ม เพื่อให้การทำความเย็นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

โดยทั่วไป การออกแบบการทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้มีความร้อนภายในอาคารน้อยที่สุด ซึ่งสามารถกระทำได้ 2 วิธี โดยที่จะทำเพียงวิธีใดวิธีหนึ่งหรือจะใช้ 2 วิธีร่วมกันก็ได้ ได้แก่ ลดการถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคาร และนำความร้อนออกจากอาคาร (heat sinks) โดยผ่านทางบรรยากาศ พื้นดิน หรือท้องฟ้า

การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติสามารถจำแนกออกได้ดังนี้

### 2.3.1 การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติด้วยการระบายอากาศ (Ventilative cooling)

แบ่งได้เป็น 2 วิธีได้แก่ การระบายอากาศภายในอาคาร โดยแทนที่ด้วยอากาศจากภายนอกที่เย็นกว่า หรือ สร้างการเคลื่อนที่ของอากาศให้ไหลผ่านผู้ใช้งาน เพื่อเพิ่มสภาวะน่าสบาย

### 2.3.2 การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติด้วยการแผ่รังสี (Radiative cooling)

ถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวที่ร้อนกว่า ไปยังพื้นผิวที่เย็นกว่า สามารถใช้ได้ทั้งการระบายความร้อนออกจากอาคาร และการระบายความร้อนออกจากผู้ใช้อาคารโดยตรง

### 2.3.3 การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติด้วยการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling)

ใช้การระเหยของน้ำเพื่อลดความเย็นให้แก่อาคาร เมื่อน้ำระเหย จะมีการใช้ความร้อนแฝงเพื่อเปลี่ยนสถานะ ความร้อนจึงถูกดึงออกไปจากอาคาร

### 2.3.4 การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติด้วยการลดความชื้นในอากาศ (Dehumidification)

เป็นการดึงความชื้นออกจากอากาศภายในอาคาร เพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดต่ำลง ส่งผลให้การระเหยของน้ำมากขึ้น และดึงความร้อนไปได้มากขึ้น

### 2.3.5 การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติโดยการใช้คุณสมบัติของมวลสาร (Mass-effect cooling)

ใช้มวลสารกักเก็บความร้อนในช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูง และปล่อยความร้อนออกมาในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งจะสามารถลดอุณหภูมิในช่วงเวลาที่มีความร้อนสูงสุดของวันได้

## 2.4 หลักการของ Chilled beam

Chilled beam มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการทำความเย็นและหมุนเวียนอากาศภายในที่ว่างเมื่อมีสภาวะภายในที่ดี (good indoor environment) และมีการควบคุมพื้นที่แยกเป็นส่วนๆ Chilled beam ใช้น้ำในการเคลื่อนย้ายความร้อนออกจากระบบและภายในห้อง โดยที่ระบบนี้จะถูกใช้ในห้องที่มีการควบคุมความชื้นอย่างดี

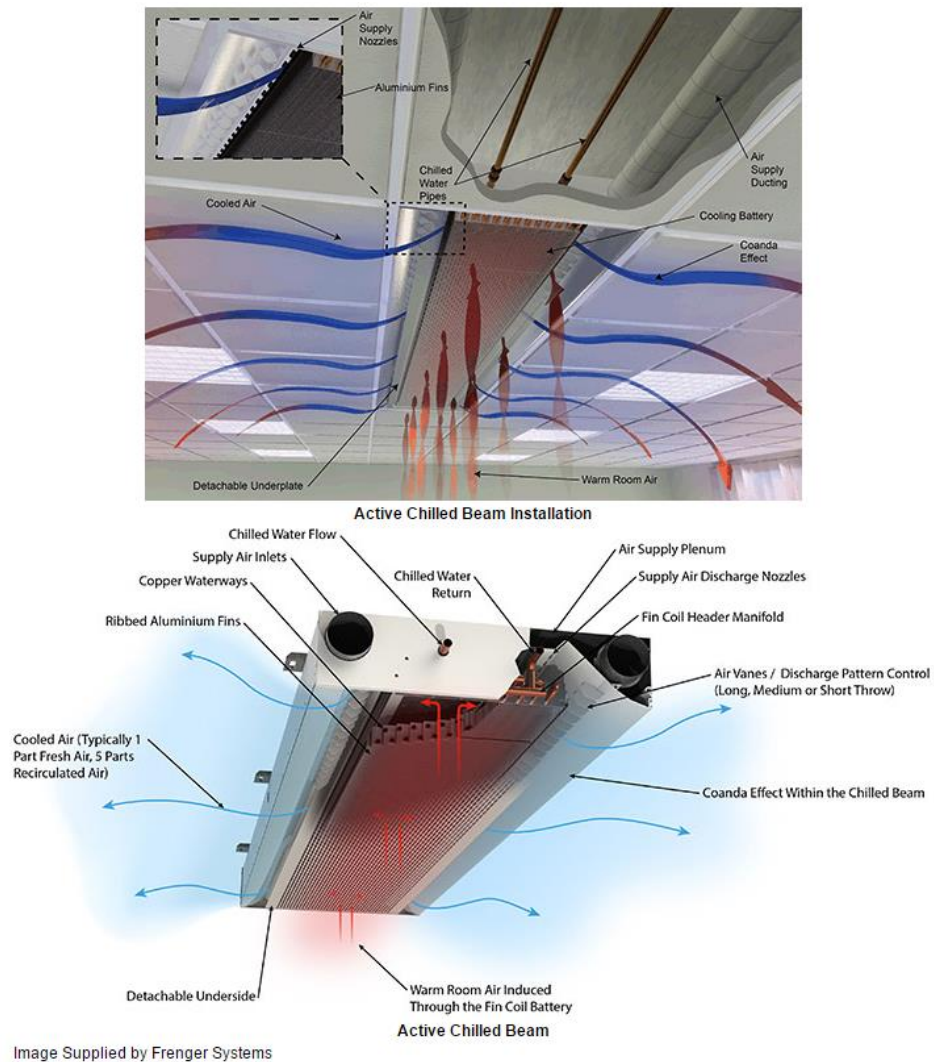
ระบบ Chilled beam มีความสามารถในการควบคุมสภาวะน้ำสลายที่เยือกเย็น และยังประหยัดพลังงานและใช้พื้นที่น้อยมากเนื่องจากน้ำเป็นตัวกลางในการดูดซับความร้อนที่ดี นอกจากนี้การทำงานของระบบยังเรียบง่ายและไม่ต้องการการดูแลรักษาเยอะ แต่การทำงานของระบบจะถูกกระทบจากปัจจัยภายนอก โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีการรั่วไหลของอากาศเกิดขึ้น เพราะฉะนั้นระบบนี้จึงต้องมีการควบคุมความชื้นอย่างเข้มงวด รวมถึงการป้องกันการรั่วไหลของอากาศทั้งจากภายในสู่ภายนอก และจากภายนอกสู่ภายใน



Chilled beam แบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามลักษณะการทำงานได้แก่

#### 2.4.1 Active chilled beams

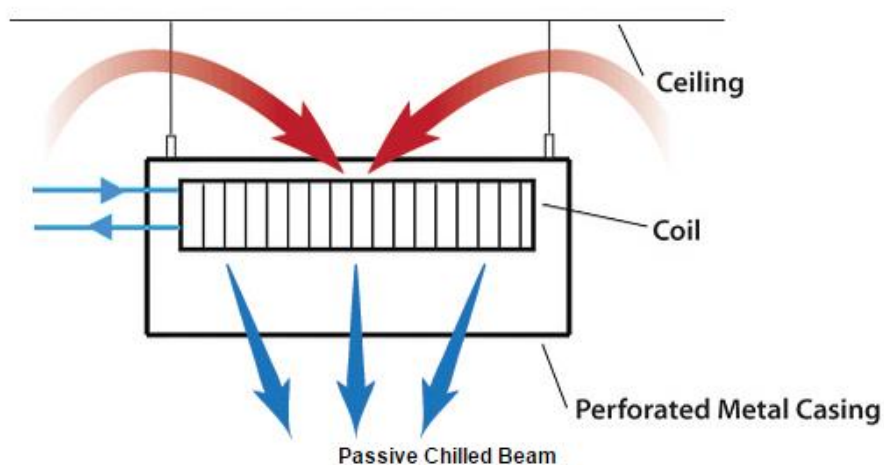
Active chilled beam จะเชื่อมต่อกับทั้งระบบระบายอากาศและท่ออากาศ และระบบกักเก็บน้ำเย็น ซึ่งหากต้องการใช้ Chilled beam ในการทำความร้อนให้อาคาร ระบบก็ต้องการเพียงน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ (Low temperature hot water หรือ LTHW) มาเพื่อใช้ทำความร้อนภายในอาคารได้ หลักการทำงานของระบบ Active chilled beam ก็คือ ตัวจ่ายลมเย็นตัวหลัก หรือ Air handling unit (AHU) จะจ่ายอากาศเข้าสู่ห้องต่างๆโดยผ่าน chilled beam ซึ่งระบบ Active จะใช้ตัว primary air supply ในการนำอากาศร้อนภายในห้องเข้าสู่ตัวเปลี่ยนถ่ายความร้อน (Heat exchanger) โดยที่หากต้องการจะทำความเย็น หรือทำความร้อน น้ำเย็นและน้ำร้อนจะไหลเข้าสู่ตัวเปลี่ยนถ่ายความร้อนเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้ามาในตัวแลกเปลี่ยนความร้อนให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ โดยที่ระบบ Active chilled beam สามารถนำอากาศและปรับอุณหภูมิได้ถึง 4-5 เท่าของปริมาณอากาศภายในห้อง อากาศที่ถูกเปลี่ยนอุณหภูมิแล้วจะถูกอัดฉีดเข้าสู่ภายในห้องด้วยหัวฉีดหรือช่องว่างรอบข้างของตัวเครื่อง โดยการทำงานที่ดีที่สุดของระบบนี้จะต้องมีเครื่อง Chilled beam ที่มีประสิทธิภาพที่สามารถผลิตความเย็นที่ต้องการได้ในวงจรความเย็นที่ด้านเย็นของตัวเครื่องเมื่ออากาศภายนอกถูกใช้เพื่อช่วยในการแบกรับค่าอุณหภูมิที่เกินไปเท่านั้น และยังสามารถถ่ายเทอากาศที่เพียงพอต่อการหายใจของมนุษย์นั้นก็คือ 12 lts/sec/person โดยที่หากว่าอาคารมีความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร 1 คน ในทุกๆ 8 ตารางเมตร อากาศที่เข้ามาภายในจะต้องเข้ามาประมาณ 1.5 lts/sec/m<sup>2</sup>



ภาพที่ 12 แสดงการติดตั้ง และการทำงานของ Active chilled beam  
(ที่มา : Lancaster Circus. Chilled beam technology.)

#### 2.4.2 Passive chilled beams

Passive chilled beam ประกอบด้วย ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อใช้ในการทำความเย็น Passive chilled beam โดยทั่วไปจะทำงานบนหลักการของการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) เมื่ออากาศร้อนลอยตัวขึ้นมาสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นของ Chilled beam จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อากาศร้อนกลายเป็นอากาศที่เย็นขึ้น จากนั้นจึงลอยตัวลงสู่ห้องด้านล่างตามเดิมทำให้เกิดการหมุนเวียนอากาศเป็นระบบ ในระบบนี้จะไม่มีการใช้ระบบระบายอากาศใดๆ Primary air จะถูกนำเข้ามาทางหัวจ่ายที่อาจจะติดบนผนัง ฝ้า หรือพื้นห้อง

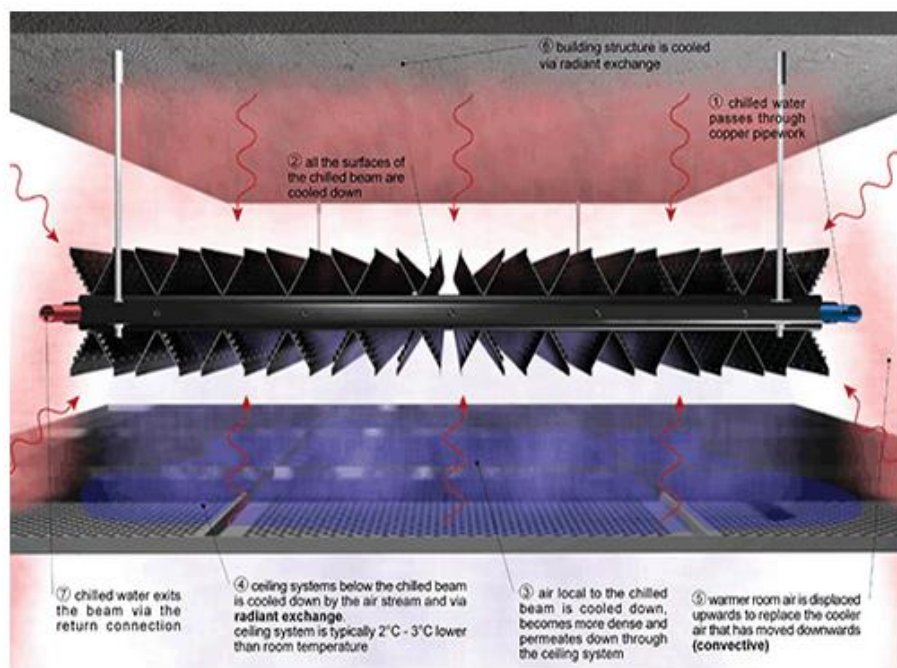


ภาพที่ 13 แสดงการทำงานของ Passive chilled beam  
(ที่มา : Lancaster Circus. Chilled beam technology.)

#### 2.4.3 Passive radiant/Convective chilled beams

ระบบ Chilled beam เป็นที่รู้จักมานาน แต่ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ระบบนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดกว้างมากกว่าทั่วไป

การพัฒนาล่าสุดสำหรับ Passive chilled beam ก็คือการผสมผสานการใช้การพาความร้อนแบบธรรมชาติและการแผ่รังสี ซึ่งถูกนำมาปรับใช้เพื่อส่งผ่านความเย็นโดยที่ใช้การเคลื่อนที่ของอากาศให้น้อยที่สุดภายในพื้นที่ๆที่ต้องการการปรับอากาศ โดยการแผ่รังสีจะทำความเย็นให้กับระบบร้อยละ 40 (อีกร้อยละ 60 ผ่านทางการพาความร้อน) ซึ่งทำให้ระบบนี้จะสามารถผลิตความเย็นได้มากกว่าระบบทั่วไปถึงร้อยละ 40 ซึ่งระบบนี้จะทำงานได้ดีในอาคารประเภทสำนักงานที่ต้องการการทำความเย็นที่เพิ่มมากขึ้นและเพิ่มสถานะน่าสบายในขณะเดียวกันก็ประหยัดพลังงานมากกว่าอีกด้วย



**Passive Radiant/Convective Chilled Beam**

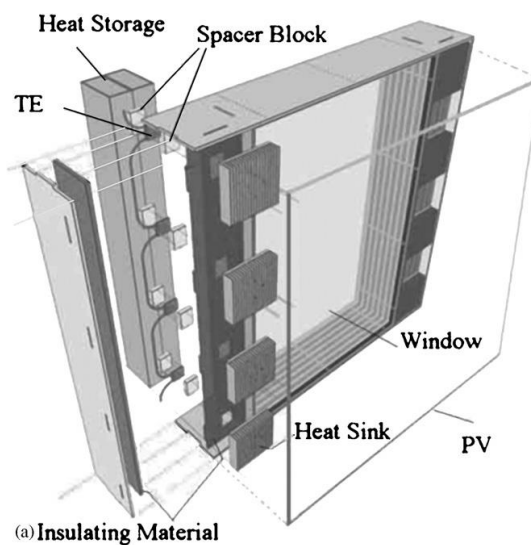
Image Supplied by Frenger Systems

ภาพที่ 14 แสดงการทำงานของระบบ Passive radiant/convective chilled beam  
(ที่มา : Lancaster Circus. Chilled beam technology.)

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.5.1 งานวิจัยของ Xu Xu, Steven Van Dessel และ Achille Messac

งานวิจัยชิ้นนี้เกี่ยวกับการนำแผ่น PV (Photovoltaic) มาใช้งานร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริกกับอาคาร โดยนำไปผสานกับระบบ Active building envelope (ABE) เพื่อนำมาใช้ในการทำความเย็นและความร้อนกับอาคาร โดยศึกษาเรื่องการต่อวงจร และปริมาณไฟฟ้าที่ทำให้ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด พบว่าการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ 3, 5, 7 โวลต์ ไม่ส่งผลในการทำความเย็นของ TE เท่าไรนัก แต่ส่งผลต่อการทำความร้อนโดยที่เมื่อเพิ่มปริมาณกระแสไฟเข้าไปทำให้การทำความร้อนเพิ่มขึ้น 5-10 องศาเซลเซียส และพบว่าการต่อเชื่อมวงจรแบบขนาด 8 เซลล์จะช่วยให้ TE ทำงานได้มีประสิทธิภาพที่สุด

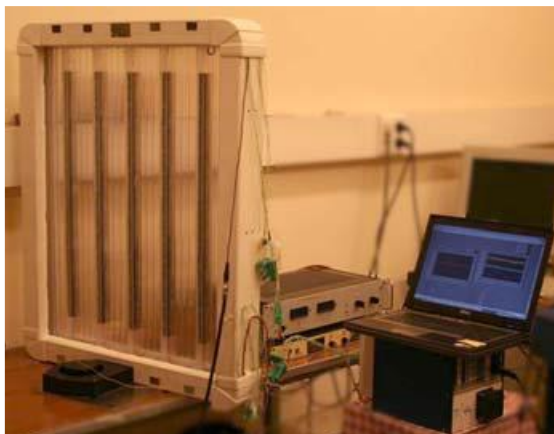


ภาพที่ 15 การติดตั้ง TE และการตั้งกล่องทดลอง

(ที่มา : Xu Xu et al. 2005. Study of the performance of thermoelectric modules for use in active building envelopes: School of Architecture)

2.5.2 งานวิจัยของ Arenas Alonso A., Palacios R., Rodriguez-Pecharroman R., Pagola L.

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการนำ TE มาใช้ในอาคารที่ไม่สามารถติดระบบปรับอากาศได้ ยกตัวอย่างเช่นอาคารทางประวัติศาสตร์ในบางแห่งที่ไม่อนุญาตให้ติดตั้งท่อระบบปรับอากาศ TE จึงมีส่วนสำคัญในการช่วยทำความเย็นให้กับอาคารแม้ว่าประสิทธิภาพจะยังไม่เทียบเท่าเครื่องปรับอากาศก็ตาม โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำ TE มาติดกับกระจกหน้าต่างซึ่งจะทำหน้าที่ในการทำความร้อนและทำความเย็นให้กับภายในอาคาร เรียกระบบนี้ว่า Active Thermal Window (ATW) พบว่าระบบนี้สามารถทำความเย็นได้ถึง 150 W โดยใช้พื้นที่หน้าต่างน้อยกว่าร้อยละ 20 ของพื้นที่หน้าต่างทั้งหมด

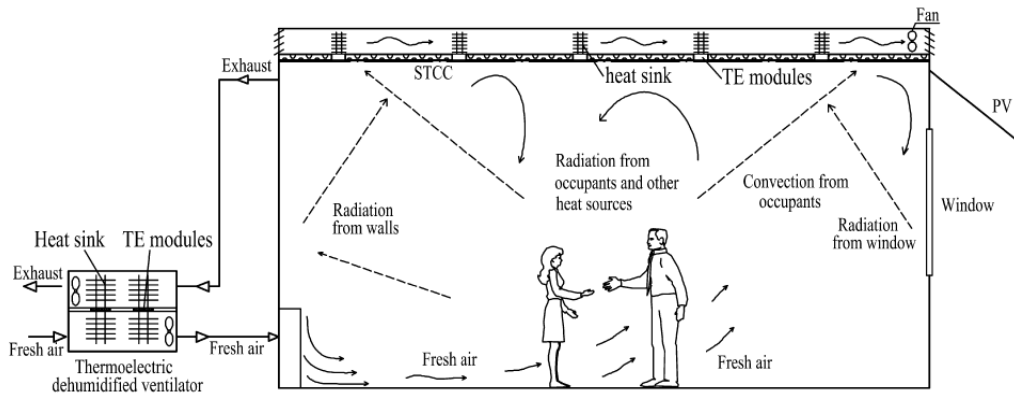


ภาพที่ 16 แสดงการติดตั้งระบบ ATW ในการทดลอง

( ที่มา : Arenas Alonso A., Palacios R., Rodriguez-Pecharroman R.,Pagola L. 2008. Full-size prototype of active thermal windows based on thermoelectricity: Universidad Pontificia Comillas )

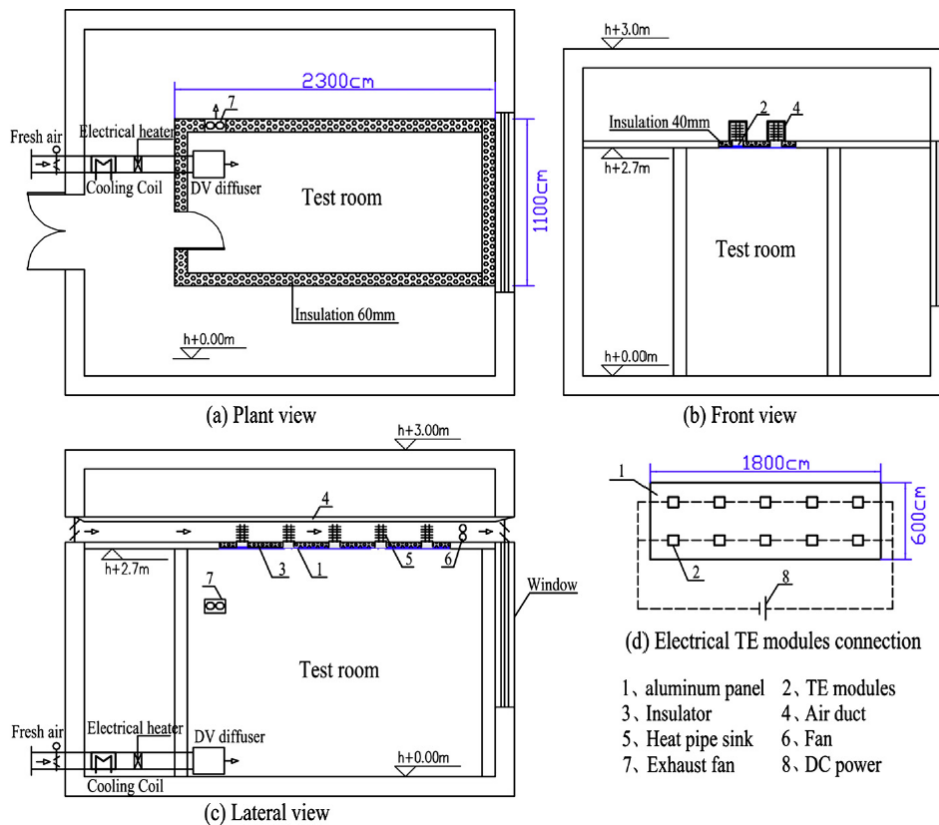
### 2.5.3 งานวิจัยของ ZhongBing Liu, Ling Zhang,GuangCai Gong

งานวิจัยชิ้นนี้ศึกษาการนำ TE มาประยุกต์ใช้กับระบบ Displacement ventilation system เพื่อใช้ในการทำความเย็นให้กับอาคาร โดยการทดลองได้สร้างห้องขนาด 2.53 ตารางเมตร กว้าง 1.1 เมตร ยาว 2.3 เมตร สูง 2.7 เมตร โดยห้องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจะควบคุมอุณหภูมิภายนอกด้วยการสร้างห้องทับอีกหนึ่งชั้น การตั้งค่าอุณหภูมิ จะตั้งค่า 25 องศาเซลเซียสเพื่อทดสอบการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก และ 18 องศาเซลเซียส เพื่อทดสอบการทำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าในการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับระบบ Displacement ventilation สามารถทำให้ค่า COP ในการทำความเย็นถึง 0.9 และ 1.9 ในการทำความร้อน ซึ่งมากกว่าระบบ Thermoelectric air conditioner ทั่วไป และจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้อีกหากใช้รุ่นเทอร์โมอิเล็กทริกอื่น ๆ ที่มีค่าความดีมากกว่านี้ (Liu, Zhang, & Gong, 2014)



ภาพที่ 17 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในรูปแบบตัด

(ที่มา : ZhongBing Liu, Ling Zhang,GuangCai Gong. 2014.Experimental evaluation of a solar thermoelectric cooled ceiling combined with displacement ventilation system: College of Civil Engineering, Human University, Changsha, Chhina )



ภาพที่ 18 แสดงการติดตั้งการทดลอง

(ที่มา : ZhongBing Liu, Ling Zhang,GuangCai Gong. 2014.Experimental evaluation of a solar thermoelectric cooled ceiling combined with displacement ventilation system: College of Civil Engineering, Human University, Changsha, Chhina )

### บทที่ 3

#### ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นของเทคโนโลยี Thermoelectric เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารได้จริง โดยการวิจัยในเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยทำการทดลองด้วยกล่องทดลอง เพื่อศึกษารูปแบบการระบายความร้อนออกจากระบบ Thermoelectric ด้วยกระบวนการทางธรรมชาติที่ช่วยส่งเสริมให้ Thermoelectric มีประสิทธิภาพในการทำความเย็นมากที่สุด โดยมีระเบียบการวิจัย แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

- 1.1. ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.2. การกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
  - 1.2.1. ส่วนการทดลองนำร่อง เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก
  - 1.2.2. ส่วนการทดลองด้วยกล่องทดลอง เพื่อทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก
- 1.3. ขั้นตอนการวิจัย
  - 1.3.1. การออกแบบกล่องทดลอง
- 1.4. ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล
- 1.5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

#### 3.1 ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาเกี่ยวกับหลักการการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก และหลักการระบายความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติรวมถึงวิธีการทดลองเพื่อกำหนดแนวทางการศึกษา และกำหนดตัวแปรในการวิจัยได้แก่

- 3.1.1 ศึกษาปฏิกิริยาภายในเทอร์โมอิเล็กทริก และหลักการทำความเย็น
- 3.1.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นแบบธรรมชาติหรือ Natural convection
- 3.1.3 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติ
- 3.1.4 ศึกษาการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในวิธีต่างๆ



### 3.2 การกำหนดตัวแปรในการทดลอง

งานวิจัยนี้ ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นของ Thermoelectric ด้วยการระบายความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติ โดยศึกษาความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ Thermoelectric เป็นสำคัญ จากการกำหนดตัวแปรดังนี้

#### 3.2.1 ส่วนการทดลองด้วยกล่องทดลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการระบายความร้อน

กระบวนการทางธรรมชาติที่ใช้ในการทดสอบได้แก่

- การทำ Heat sink
- การทำ Heat sink ร่วมกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ
- การทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation
- การทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond
- 

### 3.3 ขั้นตอนการวิจัย

#### 3.3.1 การออกแบบกล่องทดลอง

สร้างกล่องทดลองด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศภายนอก โดยรอบที่จะส่งผลกระทบต่อทดลอง โดยผู้วิจัยได้เลือกโฟมโพลีสไตรีน หนา 5 cm มาใช้ในการทดลอง เนื่องจากราคาไม่แพงและประกอบง่าย โดยนำมาสร้างกล่องขนาด 60x60x60 cm ติดตั้งพัดลมที่มีค่าการไหลเวียนอากาศเท่ากับ 20 CFM และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายในตามจุดที่กำหนด

การทดลองช่วงที่ 1 ศึกษาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้านร้อนและเย็นของ Thermoelectric โดยการกำหนดปัจจัยภายนอกต่างๆดังนี้

- การใช้เพียง Aluminum ในการทำ Heat sink ให้กับ Thermoelectric
- การเปิดพัดลมดูดอากาศภายใน
- การเปิดพัดลมใส่ด้านร้อนของ Thermoelectric
- การเพิ่มจำนวนแผ่น Aluminum heat sink

การทดลองช่วงที่ 2 การนำ Thermoelectric มาประยุกต์ใช้กับการระบายความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติ

- การใช้ Heat sink
- การใช้ Heat sink ร่วมกับ Natural ventilation

- การใช้ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation
- การใช้ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

### 3.3.1.1 การสร้างกล่องทดลอง

กล่องทดลองมีขนาด 60 x 60 x 60 cm. เนื่องจากเป็นขนาดของวัสดุที่นำมาใช้ในการประกอบและกล่องทดลองต้องมีขนาดไม่เล็กและไม่ใหญ่จนเกินไปเพื่อให้เครื่องวัดอุณหภูมิสามารถวัดไอน้ำที่ตกลงมาภายใน และไม่ทำให้เกิดรอยต่อ ที่อาจส่งผลกระทบต่อ การทดลองได้ โดยกล่องทดลองเจาะรูขนาด 8 x 8 cm. เพื่อติดตั้งพัดลมจำนวน 2 ตำแหน่ง ได้แก่ด้านหน้าและด้านหลังกล่อง เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายใน ด้านบนของกล่องแผ่นโฟมจะเจาะรูขนาด 30 x 30 cm. เพื่อเป็นช่องให้วางแผ่นทองแดงที่ด้านหนึ่งมีแผง Thermoelectric ที่เชื่อมต่อกันทั้งหมด 9 เซลล์ โดยหันด้านร้อนเข้าสู่แผ่นทองแดง และหัน ด้านเย็นเข้าภายในกล่อง เชื่อมต่อด้วยสายไฟแบบขนาดจากนั้นจึงเชื่อมสายเมนเพื่อเข้าสู่ตัว Power supply เพื่อเป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบ อีกด้านหนึ่งจะมีตัว Aluminum heat sink ที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับ thermoelectric เพื่อทำการระบายความร้อนออกจาก ระบบ และตัว Aluminum heat sink จะเชื่อมติดกับกรณีศึกษาต่างๆทั้งหมด 4 รูปแบบ



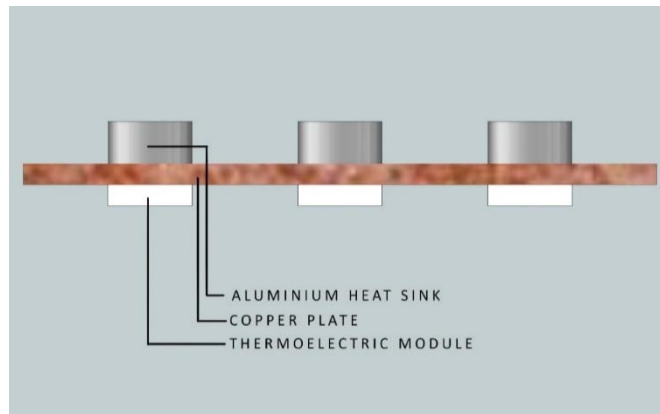
ภาพที่ 19 แสดงภาพกล่องทดลองขณะประกอบ



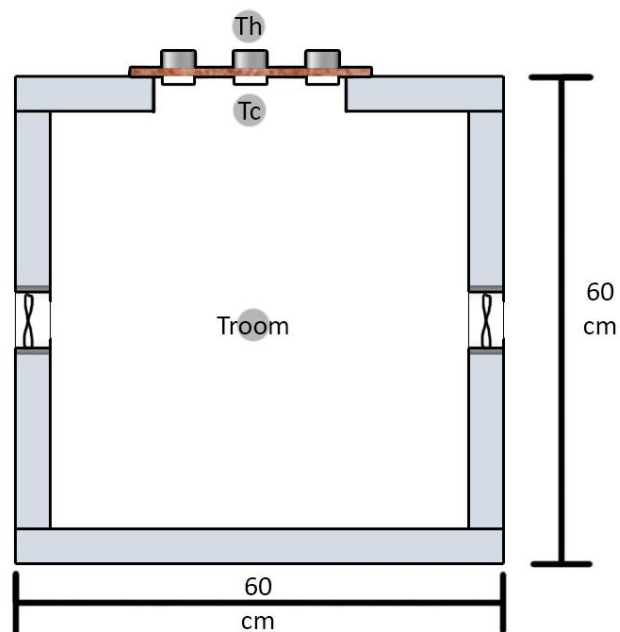
ภาพที่ 20 แสดงภาพ Aluminum heat sink จากพัดลมการ์ดจอ



ภาพที่ 21 แสดงการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก กับแผ่นทองแดง และAluminum heat sink



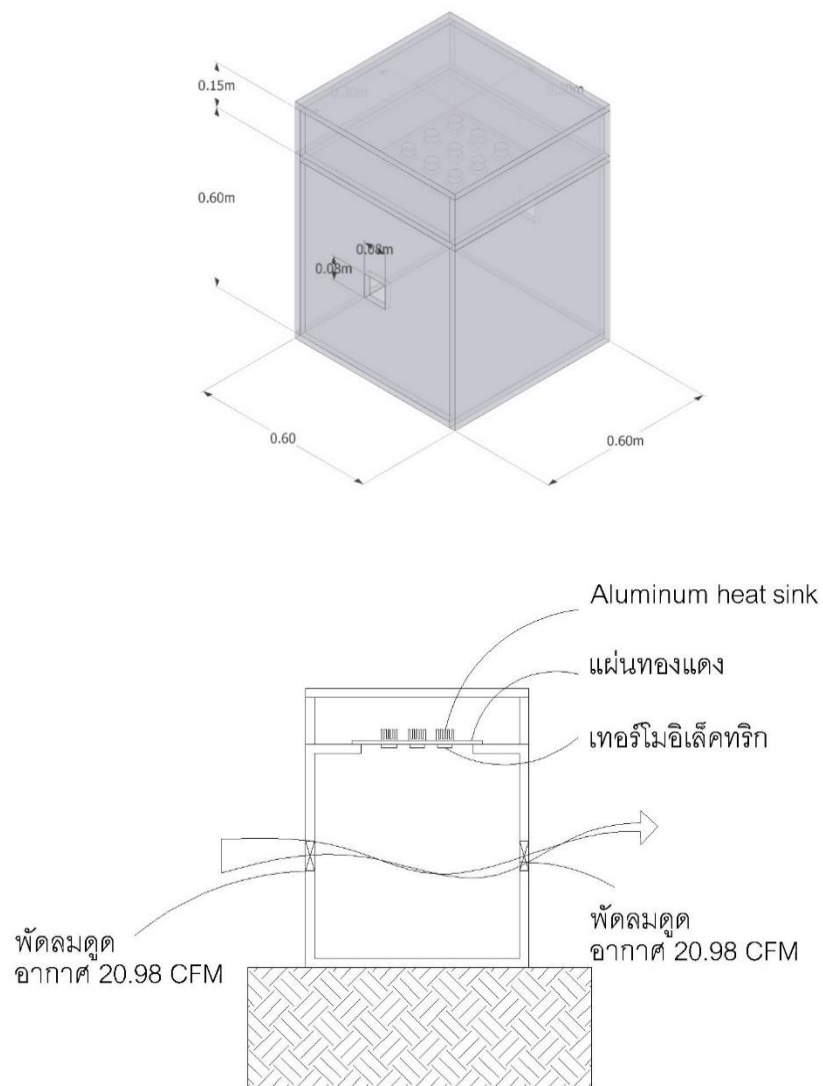
ภาพที่ 22 การเรียงลำดับการวางเทอร์โมอิเล็กทริกและแผ่นทองแดง



ภาพที่ 23 รูปตัดขนาดของกล่องทดลองและตำแหน่งของแผ่นทองแดง

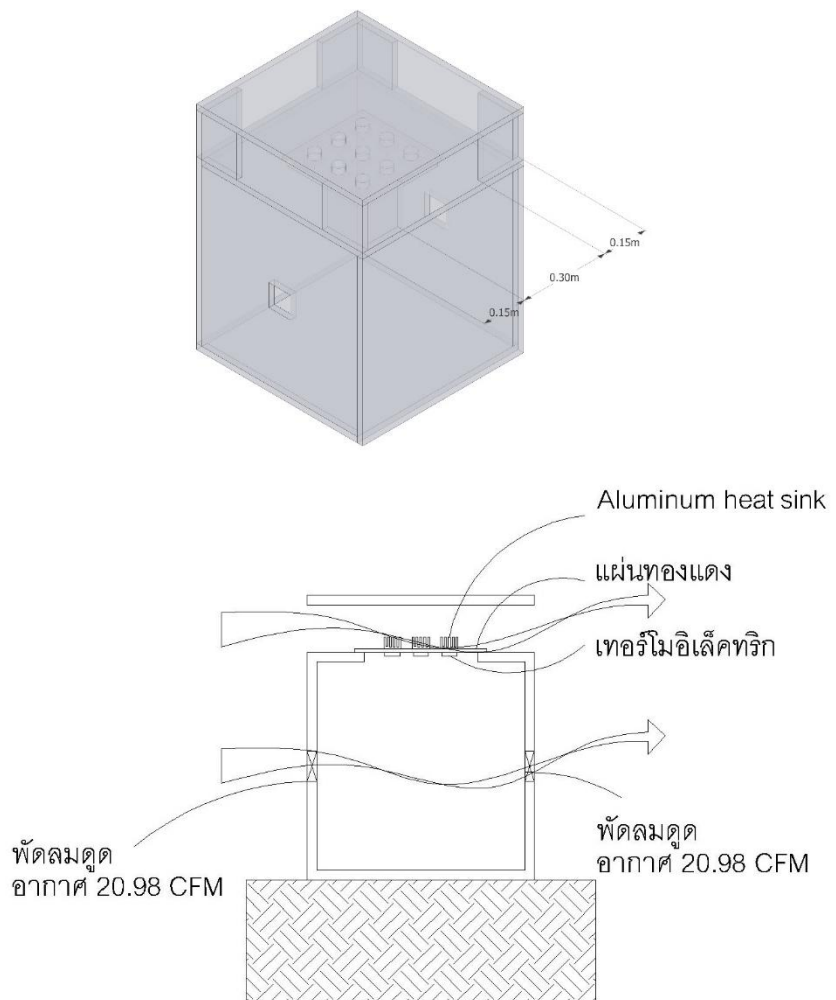
การติดตั้งกล่องทดลองมีความแตกต่างกัน 4 รูปแบบตามหลักการการระบายความร้อนที่แตกต่างกันดังนี้

กล่องที่ 1 การทำ Heat sink ในการระบายอากาศจะมีฝาครอบขนาด 60 x 60 x 15 cm. เพื่อควบคุมการเปลี่ยนถ่ายความร้อนให้มีเฉพาะใน Aluminium heat sink เท่านั้น และเพื่อป้องกันการสัมผัสกับรังสีความร้อนจากพระอาทิตย์โดยตรง



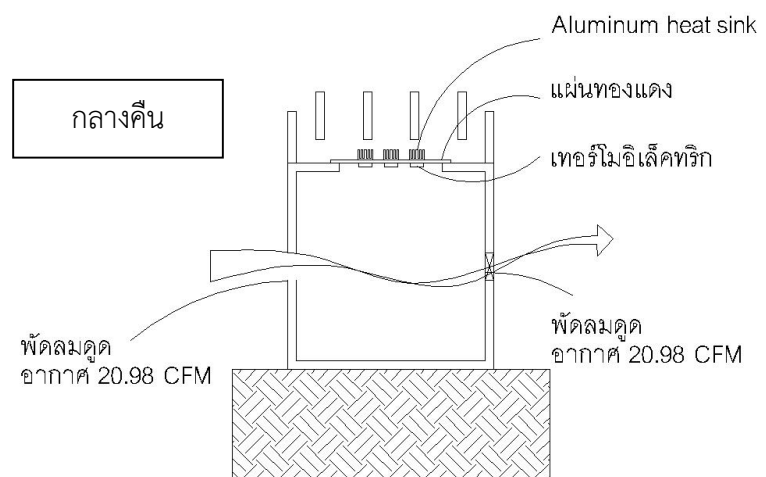
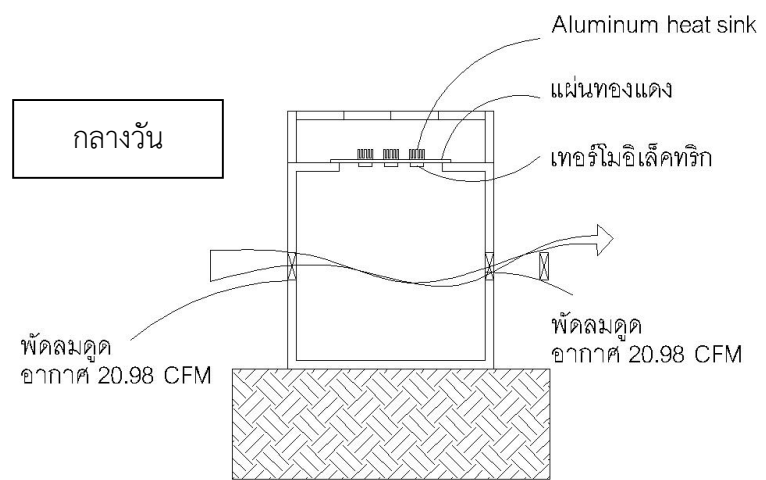
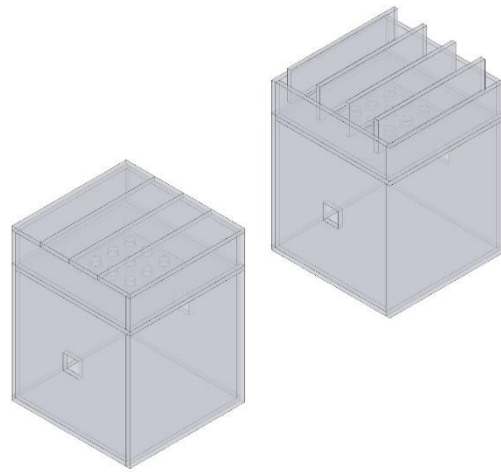
ภาพที่ 24 แสดงกล่องทดลองในกรณี Base case และ Diagram

กล่องที่ 2 การทำ Heat sink ร่วมกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติตัวฝาครอบจะเปลี่ยนเป็นขาตั้ง 4 ด้าน แต่ละด้านจะมีความหนา 15 cm. เพื่อให้เกิดช่องระบายอากาศเพื่อทำความเย็นให้กับระบบ Thermoelectric โดยตัวแผ่นฝาครอบจะช่วยในการป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์เข้ามากระทบกับแผ่น Aluminium heat sink โดยตรงซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของ Thermoelectric ได้



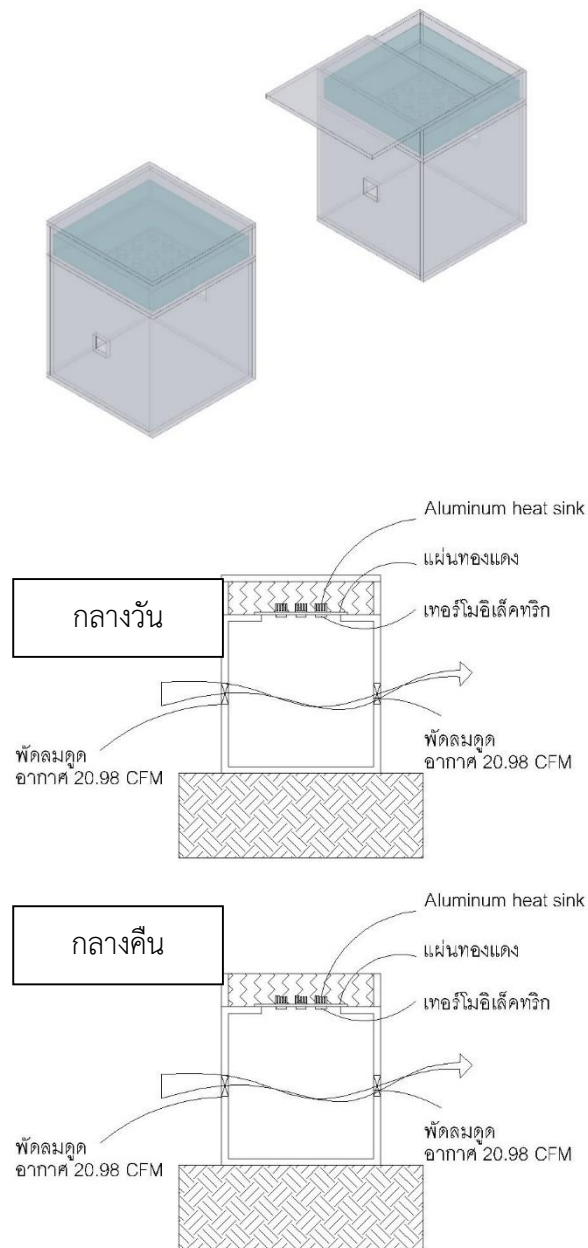
ภาพที่ 25 แสดงกล่องทดลองในกรณี Natural ventilation และ Diagram

กล่องที่ 3 การทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation ความสูงของฝาครอบ จากตัวกล่องจะเท่ากับ 15 cm. เช่นเดียวกับกรณีอื่นๆแต่ตัวฝาจะแบ่งออกเป็นสี่ส่วนเท่าๆกัน และเสียบไม้เสียบลูกชิ้นตรงกลางเพื่อเป็นจุดหมุนโดยในตอนกลางวันแผ่นทั้งสี่จะปิดสนิทเพื่อ ป้องกันการถูกรังสีความร้อนโดยตรงจากพระอาทิตย์และเพื่อกักความร้อนเอาไว้ภายในฝากล่อง และแผ่นทั้งสี่จะหมุนเปิดในตอนกลางคืนเพื่อระบายความร้อนไปสู่ห้องฟ้าตอนกลางคืนตามหลักการระบายอากาศด้วยวิธี night time radiation



ภาพที่ 26 แสดงกล่องทดลองในกรณี Night time radiation และ Diagram

กล่องที่ 4 การทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond เป็นแนวคิดหลักในการออกแบบกล่องทดลอง โดยการทำอ่างน้ำขนาด 60 x 60 x 15 cm. และมีฝาปิดตามหลัก Roof pond โดยในตอนกลางวันความร้อนจากระบบ Thermoelectric จะสะสมในน้ำที่เป็นตัวกักเก็บความร้อนที่ดีที่สุดชนิดหนึ่งและทำการปิดฝาด้านบนไว้เพื่อกันรังสีความร้อนเข้ามาทำการรบกวนกระบวนการถ่ายเทความร้อนและในตอนกลางคืนจะเปิดฝาดอกเพื่อให้น้ำคายความร้อนออกจากระบบขึ้นไปสู่ท้องฟ้า



ภาพที่ 27 แสดงกล่องทดลองในกรณี Roof pond และ Diagram





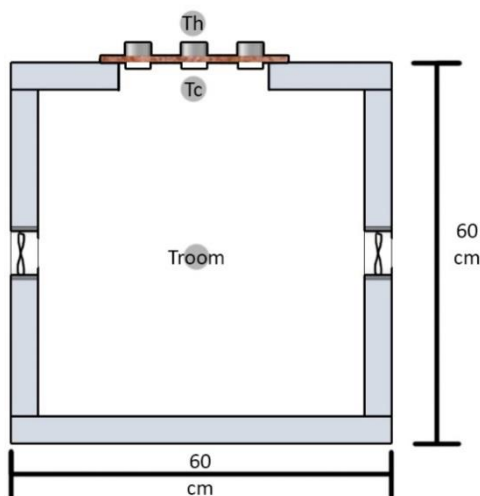
ภาพที่ 28 แสดงการตั้งกล่องทดลองกลางแจ้ง

### 3.3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดผลการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้คือ 12 Channel Temperature Data Logger เพื่อบันทึกเก็บข้อมูลอุณหภูมิของตำแหน่งต่างๆของกล่องทดลอง ในแต่ละกล่องทดลองโดยมีตำแหน่งการเก็บข้อมูลดังนี้

- อุณหภูมิผิวด้านร้อนของ Thermoelectric
- อุณหภูมิผิวด้านเย็นของ Thermoelectric
- อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

โดยตำแหน่งการติดตั้งดังที่แสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 แสดงตำแหน่งการวางเซนเซอร์ต่างๆ

### 3.3.2 การออกแบบกล่องทดลองด้วยการจำลองคอมพิวเตอร์ (Simulation)

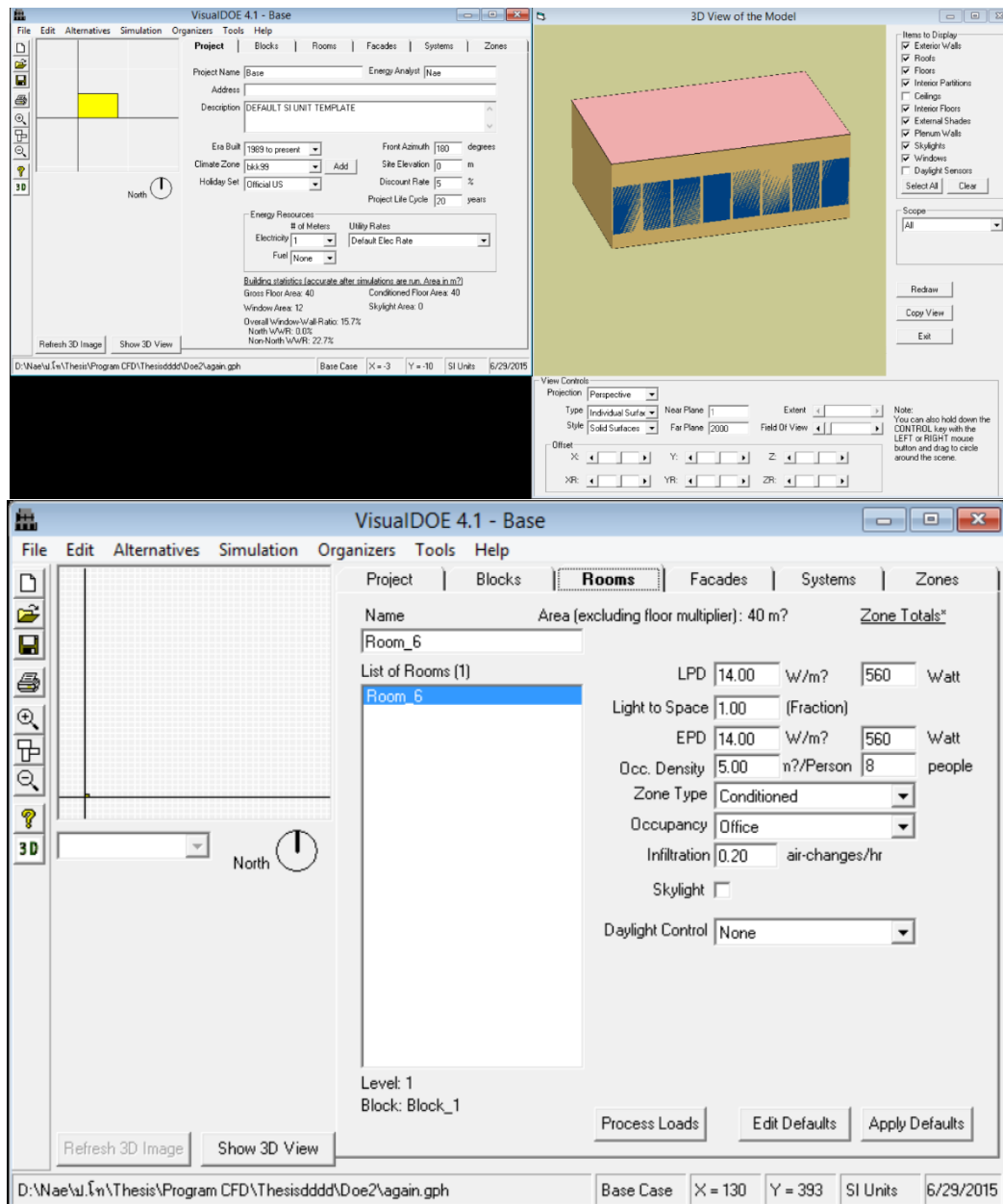
เมื่อได้ค่าการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ค่าอุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก จากกล่องทดลอง จึงนำไปแทนที่ที่ใช้ในการจำลองเพื่อเป็นค่าอุณหภูมิเสมือนที่ได้จากการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก ทั้งนี้ค่าดังกล่าวที่ได้เป็นค่าที่ได้ต่อ 1 ตารางฟุตของผ้า ความแตกต่างของปริมาณกล่องทดลองและอาคารจริงจึงไม่ส่งผลแต่อย่างใด

ตัวแปรอื่นๆในการทดลองด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.2.1 โปรแกรม Visual DOE

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกในอาคารจริง เพื่อศึกษาปฏิกิริยาและความเปลี่ยนแปลงภายในห้องที่เกิดขึ้นหากติดตั้ง Passive chilled beam ที่ทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก จึงเลือกอาคารประเภทอาคารสำนักงานที่มีการควบคุมอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันและมีการควบคุมการรั่วไหลของอากาศที่ดี เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการทำความเย็น โดยห้องสำนักงานตัวอย่างมีลักษณะดังนี้

ขนาดของห้อง	กว้าง 5 เมตร ยาว 8 เมตร ระยะจากพื้นถึงฝ้า 2.4 เมตร
พื้นที่โดยรวมของห้อง	40 ตารางเมตร
ลักษณะรอบอาคาร	มีช่องเปิดแค่เพียงทิศใต้ ผนังด้านอื่นๆเป็นผนังทึบทั้งหมด
ลักษณะหน้าต่าง	กระจก Single green 6 มิลลิเมตร
ลักษณะผนัง	เป็นผนัง Adiabatic
ลักษณะหลังคา	เป็นหลังคา Adiabatic



ภาพที่ 30 แสดงการตั้งค่าอาคารในโปรแกรม Visual DOE

### 3.3.2.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

จากอาคารต้นแบบในข้อ 3.3.2.1 ใช้อาคารลักษณะเดียวกันมาจำลองแบบ 3 มิติโดยกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- 1) ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการและรายละเอียดทั่วไป
- 2) กำหนดขอบเขตด้วยขนาดและจำนวนเซลล์ตามแกน x, y และ z

```

nx=25; ny=40; nz=15
xlast=5;ylast=8;zlast=3.0

```

ภาพที่ 31 ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตเซลล์ในโปรแกรม HEATX

- กำหนดจำนวนเซลล์ทั้งหมดที่ใช้จำลองมีพื้นที่เท่ากับ 25 เซลล์ทางแกน x 40 เซลล์ทางแกน y และ 12 เซลล์ทางแกน z

- กำหนดขอบเขตความกว้างของเซลล์ โดยที่ 25 เซลล์ในแกน x เท่ากับระยะ 5 เมตรในระยะจริง 40 เซลล์ทางแกน y เท่ากับ 8 เมตร ในระยะจริง 15 เซลล์ทางแกน z เท่ากับ 3 เมตรในระยะจริง

3) ค่า Parameter เพื่อการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และจำนวนครั้งในการประมวลผลจะมีผลต่อความละเอียดและระยะในการคำนวณ

```

# RELAXATION
relaxln(p)=0.5
relaxdt(u,v,w)=5.0e-4

# ITERATION COUNTS
nitphi(p)=10; nitphi(u,v,w)=1
nitphi(h,ht1)=1
nitall=5000

```

ภาพที่ 32 แสดงตัวอย่างการกำหนด Parameter ของโปรแกรม HEATX

4) ค่าอุณหภูมิผิวของผนัง โดยการจำลองสามมิติจะจำลองห้องหนึ่งห้องประกอบด้วยผนัง 4 ด้าน พื้นและฝ้า ทั้งหมด 6 ด้าน

```

bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,2,2,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,4,4,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,6,6,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,8,8,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,10,10,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,12,12,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,14,14,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,16,16,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,18,18,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,20,20,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,22,22,38,38,15,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,bot,0.0,31700.0,24,24,38,38,15,15,1,1)

bdyc(0,h,wall,top,0.0,27000.0,1,25,1,40,1,1,1,1)
bdyc(0,h,wall,south,0.0,29600.0,1,25,1,1,1,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,north,0.0,27000.0,1,25,40,40,1,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,east,0.0,27000.0,25,25,1,40,1,15,1,1)
bdyc(0,h,wall,west,0.0,27000.0,1,1,1,40,1,15,1,1)

```

ภาพที่ 33 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าอุณหภูมิผนังทั้งหกด้าน

- รายละเอียดของตัวแปรสำหรับกำหนดค่าได้แก่

**Bot**    อุณหภูมิผิวผ้า (ในที่นี้คืออุณหภูมิด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้จากการทดลองด้วยกล่องทดลอง โดยในการจำลองนี้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกทั้งหมด 220 แผ่น)

**Top**    คืออุณหภูมิผิวบนพื้นห้อง

**South**    คืออุณหภูมิผนังที่ทิศใต้

North คืออุณหภูมิผิวผนังที่ทิศเหนือ

East คืออุณหภูมิผิวผนังที่ทิศตะวันออก

West คืออุณหภูมิผิวผนังที่ทิศตะวันตก

#### 5) กำหนดค่าอุณหภูมิของแหล่งความร้อนในห้อง

```
bdyc(0,h,source,vol,1.0,35000.0,7,9,5,5.5,1,7,1,1)
bdyc(0,h,source,vol,1.0,35000.0,15,16,5,5.5,1,7,1,1)
bdyc(0,h,source,vol,1.0,35000.0,7,8,12,12.5,1,7,1,1)
bdyc(0,h,source,vol,1.0,35000.0,15,16,12,12.5,1,7,1,1)
bdyc(0,h,source,vol,1.0,35000.0,7,8,22,22.5,1,7,1,1)
bdyc(0,h,source,vol,1.0,35000.0,15,16,22,22.5,1,7,1,1)
bdyc(0,h,source,vol,1.0,35000.0,6,7,36,36.5,1,7,1,1)
bdyc(0,h,source,vol,1.0,35000.0,21,22,37,37.5,1,7,1,1)
```

ภาพที่ 34 แสดงตัวอย่างการกำหนดแหล่งความร้อนของโปรแกรม HEATX

### 3.4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

#### 3.4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการทดลอง

3.4.1.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนของการทดลองแต่ละแบบ

3.4.1.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิด้านเย็นของการทดลองแต่ละแบบ

3.4.1.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องของการทดลองแต่ละแบบ

3.4.1.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความเย็นของ Thermoelectric ที่มีการระบายความร้อนด้วยวิธีที่ต่างกันโดยพิจารณาจากตัวแปรดังนี้

คำนวณหาค่าการดูดซับความร้อนในด้านเย็นของ TE หาได้จากสมการ(Riffat & Ma, 2004)<sup>6</sup>

$$Q_{ab} = \alpha IT_c \quad (1)$$

<sup>6</sup> (Riffat & Ma, 2004)

โดยที่

- $Q_{ab}$  คือค่าการดูดซับความร้อนในด้านเย็น  
 $\alpha$  Seebeck coefficient (เป็นค่าคงที่ โดยใน TEC 12706 = 0.0119 )  
 $I$  กระแสไฟฟ้า (ในการทดลองนี้ใช้กระแสไฟฟ้าที่ 6 amp)  
 $T_c$  อุณหภูมิด้านเย็นของ thermoelectric module ( °C )

พิจารณาการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นหาได้จากสมการ(Riffat & Ma, 2004) (Riffat & Ma, 2004)

$$Q_{cd} = k(T_h - T_c) = k\Delta T \quad (3)$$

โดยที่

- $Q_{cd}$  การนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็น (W m-K<sup>-1</sup>)  
 $k$  ค่าการนำความร้อนของ Thermo couple (สำหรับ TEC 12706 ใช้ค่าการนำความร้อนของแผ่นอะลูมินา Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 18W m-K<sup>-1</sup>)  
 $T_c$  อุณหภูมิด้านเย็นของ thermoelectric module ( °C )  
 $T_h$  อุณหภูมิด้านร้อนของ thermoelectric module ( °C )

นำผลการวัดอุณหภูมิที่ได้ไปคำนวณค่า COP หรือ Coefficient of performance ในการทำความเย็นในระบบ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานต่างๆโดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้(Riffat & Ma, 2004)

$$\mu = Q_C/Q_E = \frac{\alpha IT_c - k\Delta T - 0.5I^2R}{I^2R + \alpha I\Delta T}$$

โดยที่

- $Q_c$  ค่าพลังงานความร้อนที่ด้านเย็น (W)  
 $Q_e$  ค่าพลังงานไฟฟ้า (W)  
 $\alpha$  Seebeck coefficient (เป็นค่าคงที่ โดยใน TEC 12706 = 0.0119 )  
 $I$  กระแสไฟฟ้า (amp)  
 $T$  อุณหภูมิ ( C )

- Tc อุณหภูมิด้านเย็นของ thermoelectric module ( C )  
 k ค่าการนำความร้อนของ Thermo couple (สำหรับ TEC 12706 ใช้ค่าการนำความร้อนของแผ่นอะลูมินา  $Al_2O_3 = 18W m-K^{-1}$ )  
 R Thermal resistance of the Thermoelectric (สำหรับ TEC 12706 = 1.98 โอห์ม )

และเมื่อพิจารณาค่าความสามารถของ Heat sink ที่มีผลต่อการทำงานในระบบ Thermoelectric แล้วจากนั้นจึงนำผลการทดลองเพื่อพิจารณาความสามารถในการทำความเย็นให้กับกล่องทดลองโดยคำนวณจากสมการดังนี้

$$Q = 1.08 \times CFM \times \Delta T_1$$

โดยที่

- Qc คือ พลังงานความเย็นที่ระบบทำได้ (BTU/hr)  
 1.08 คือ ค่าคงที่ ที่มาจากการแปลงหน่วยในสมการ  
 CFM คือ ปริมาณอากาศที่ไหลออกจากกล่อง (ft<sup>3</sup>/min) ซึ่งจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีค่า 20.89 ft<sup>3</sup>/min  
 $\Delta T_1$  คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากกล่องทดลอง

เมื่อได้ค่าพลังงานความเย็นที่ Thermoelectric ทำได้จะนำมาใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพในการทำความเย็นของ Thermoelectric โดยใช้สมการดังนี้

$$COP = \frac{Qc \text{ (BTU/hr)}}{W \text{ (watt)}}$$

โดยที่

- COP คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะ  
 Qc คือ พลังงานความเย็นที่ระบบทำได้ (BTU/hr)  
 W คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (ในการทดลองนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 72 watt ในกรณี)





## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

ในส่วนของการทดลองนี้ แบ่งได้เป็นหัวข้อย่อย ดังนี้

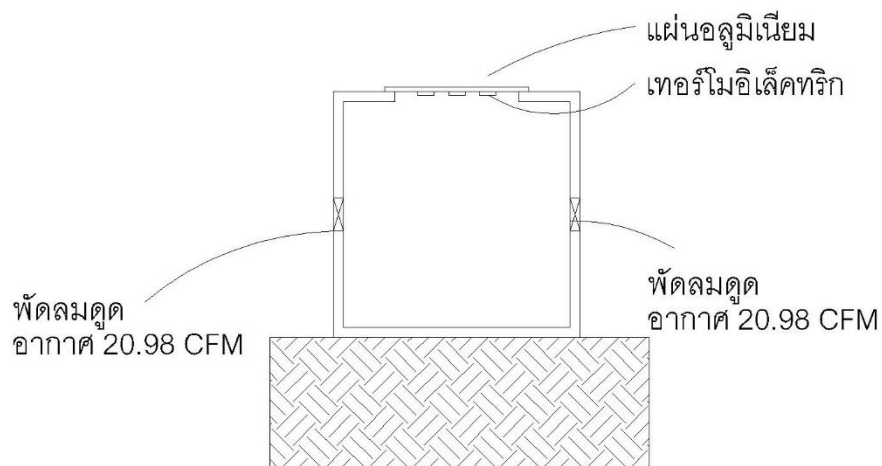
4.1 การทดลองด้วยกล่องทดลอง เพื่อทดสอบผลกระทบของตัวกลางในการนำความร้อนกับการทำงานของ Thermoelectric

4.2 การทดลองด้วยกล่องทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีการระบายความร้อนแบบต่างๆ

#### 4.1 การทดลองด้วยกล่องทดลอง เพื่อทดสอบผลกระทบของตัวกลางในการนำความร้อนกับการทำงานของ Thermoelectric

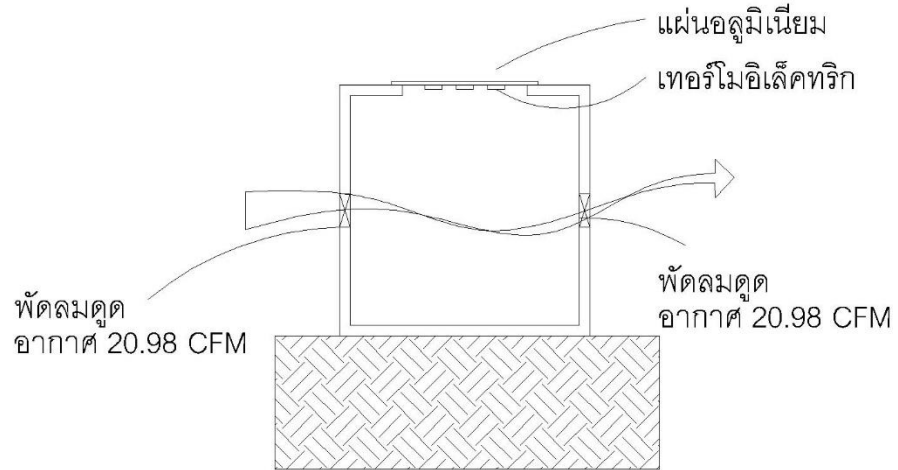
จากการเปลี่ยนปัจจัยทั้งหมด 4 ปัจจัยได้แก่

- การระบายความร้อนด้วย Aluminium heat sink



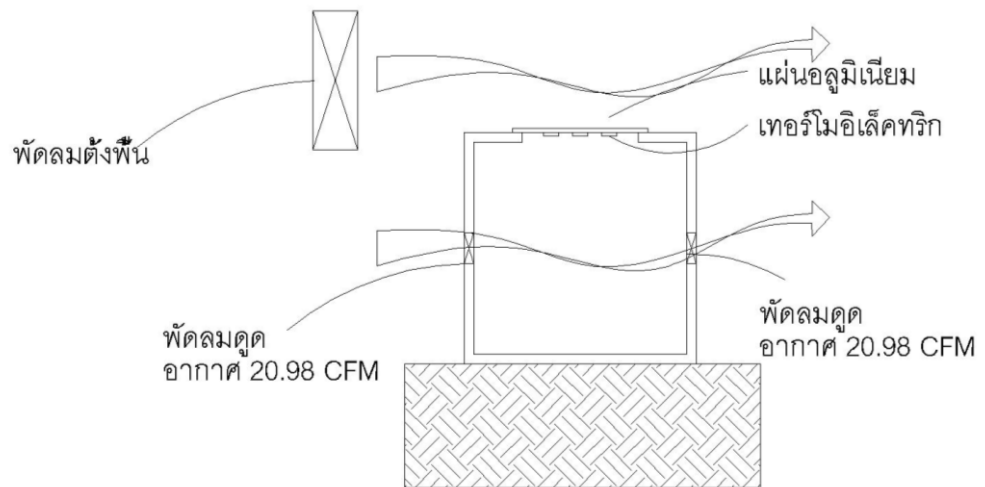
ภาพที่ 35 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 1

- เปิดพัดลมระบายอากาศ



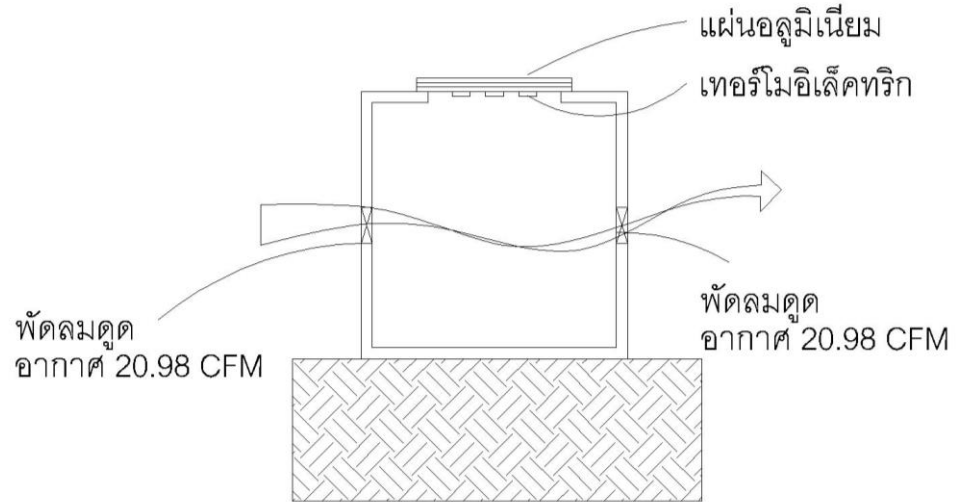
ภาพที่ 36 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 2

- เปิดพัดลมเป่า Aluminium heat sink



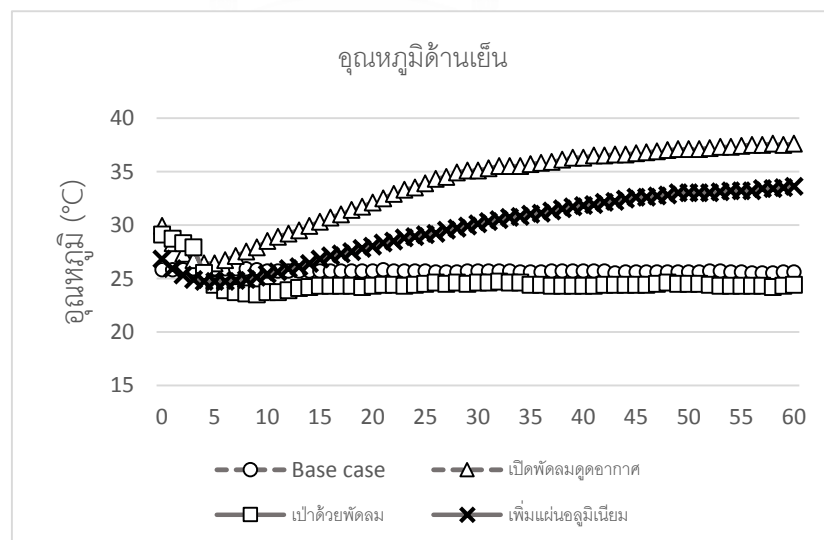
ภาพที่ 37 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 3

- เพิ่มจำนวนแผ่น Aluminium heat sink

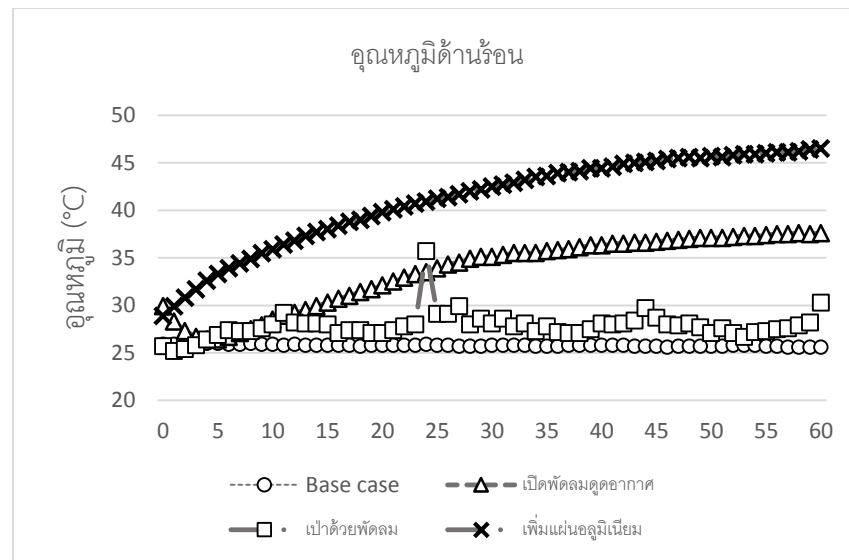


ภาพที่ 38 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 4

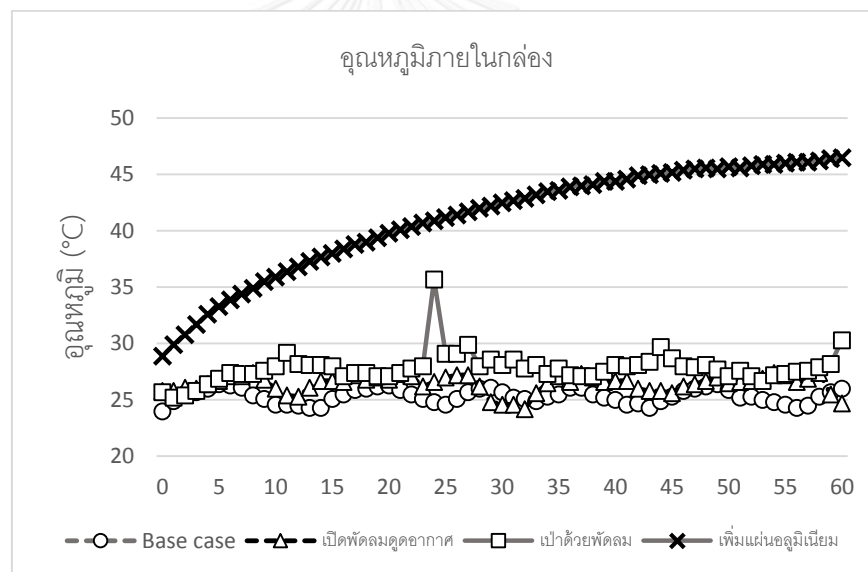
ทำการทดลองภายในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ณ วันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ. 2557 โดยทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 2 ชั่วโมงในแต่ละกรณีเพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของ Thermoelectric และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเขียนแผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิ จะได้ผลการทดลองดังนี้



แผนภูมิที่ 1 เปรียบเทียบอุณหภูมิด้านเย็นของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆ



แผนภูมิที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆ



แผนภูมิที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องทดลองในกรณีต่างๆ

จากแผนภูมิที่ 1 และ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆจะเห็นได้ว่า การถ่ายเทความร้อนออกจากระบบของ Thermoelectric ที่ต่างกันส่งผลต่อการทำงานของ Thermoelectric โดยพิจารณาอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของ Thermoelectric จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันทั้งหมด 2 รูปแบบ

รูปแบบที่ 1 คืออุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อนเปลี่ยนแปลงตามกันคือเมื่ออุณหภูมิด้านร้อนสูงขึ้น อุณหภูมิด้านเย็นก็สูงขึ้นเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนอย่างรวดเร็วจากด้านร้อนมาสู่ด้านเย็นเพราะตัวกลางที่พาความร้อนออกจากด้านร้อนไม่สามารถนำความร้อนออกได้

อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ ในกรณีของการเพิ่มแผ่นอลูมิเนียมและการเปิดพัดลมดูดอากาศ ภายในกล่องทดลอง แต่ในกรณีของการเพิ่มจำนวนแผ่นอลูมิเนียมในการนำความร้อนออกจากระบบจะสามารถนำความร้อนออกได้มากกว่าการเปิดพัดลมดูดอากาศภายในกล่องเนื่องจากความร้อนจากด้านร้อนของ Thermoelectric กระจายตัวเข้าสู่ด้านเย็นน้อยกว่าทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอุณหภูมิของด้านร้อนและด้านเย็นมากกว่า

รูปแบบที่ 2 อุณหภูมิด้านร้อนเพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิด้านเย็นคงที่หรือลดลง ในกรณีที่เปิดพัดลมเป่าแผ่น Aluminium heat sink จากแผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น ในขณะที่อุณหภูมิด้านร้อนมีการเพิ่มอย่างต่อเนื่องเป็นจังหวะแต่อุณหภูมิด้านเย็นกลับคงที่ไม่ได้ขยับขึ้นลงตามอุณหภูมิด้านร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องมาจากการเปิดพัดลมเพื่อเป่าลมเย็น นอกจากลมปรกติที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสแล้วความเร็วลมจากพัดลมยังช่วยพาความร้อนและลดอุณหภูมิของแผ่นอลูมิเนียมทำให้แผ่นอลูมิเนียมที่ดูดซับความร้อนเย็นลงและสามารถดูดซับความร้อนได้มากขึ้น ส่งผลให้ความร้อนจากด้านร้อนไม่กระจายเข้าสู่ด้านเย็นของ Thermoelectric ทำให้ Thermoelectric สามารถรักษาความเย็นของด้านเย็นเอาไว้ได้อย่างคงที่และน้อยกว่ากรณี Base case อีกด้วย

เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นและความเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิต่างๆจึงจำแนกการคำนวณออกเป็นหัวข้อดังนี้

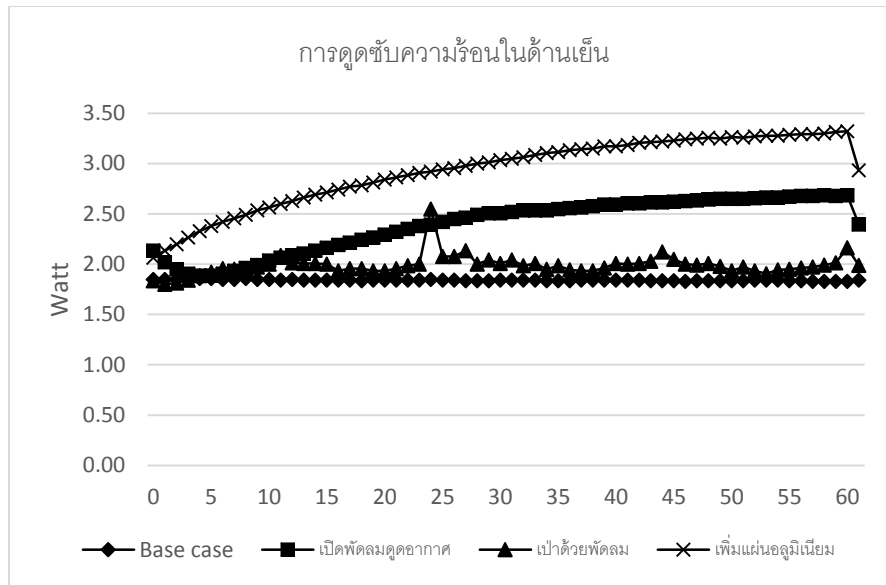
พิจารณาการดูดซับความร้อนในด้านเย็นสามารถหาได้จากสมการ

$$Q_{ab} = \alpha I T_c \quad (1)$$

โดยที่

- $Q_{ab}$  คือค่าการดูดซับความร้อนในด้านเย็น (W)
- $\alpha$  Seebeck coefficient (เป็นค่าคงที่ โดยใน TEC 12706 = 0.0119 )
- $I$  กระแสไฟฟ้า (ในการทดลองนี้ใช้กระแสไฟฟ้าที่ 6 amp)
- $T_c$  อุณหภูมิด้านเย็นของ thermoelectric module ( °C )

เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ค่าต่างๆดังนี้



แผนภูมิที่ 4 แสดงการดูดซับความร้อนในด้านเย็นของ Thermoelectric ในช่วงเวลาต่างๆ

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยการดูดซับความร้อนในด้านเย็นของ Thermoelectric ในแต่ละกรณี (Watt)

Base case (Watt)	เปิดพัดลมดูดอากาศ (Watt)	เป่าด้วยพัดลม (Watt)	เพิ่มแผ่นอลูมิเนียม (Watt)
1.84	2.40	1.99	2.93

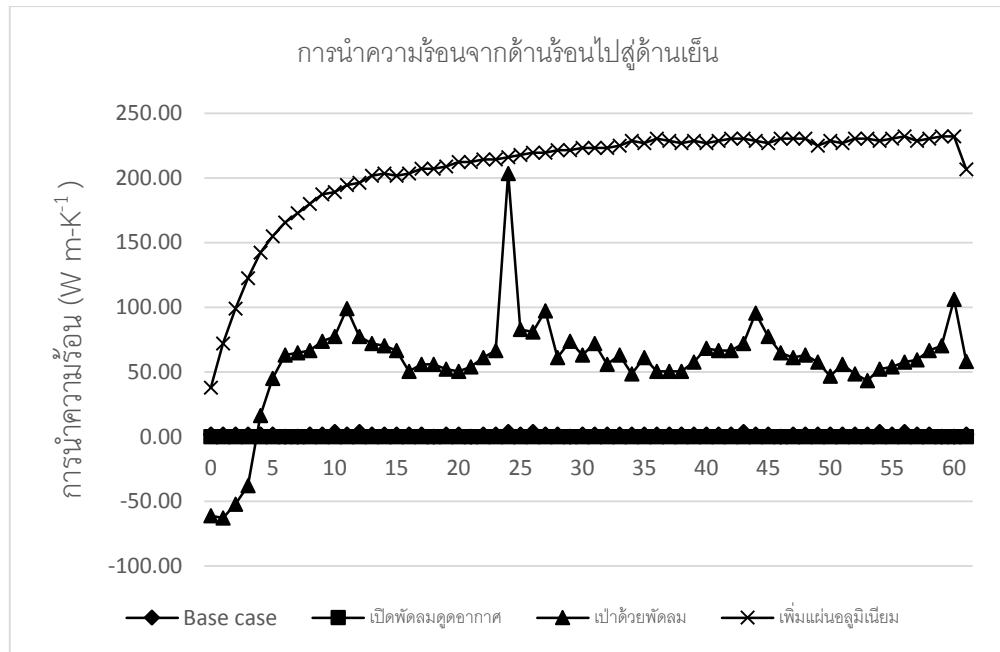
พิจารณาการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นหาได้จากสมการ<sup>1</sup>

$$Q_{cd} = k(T_h - T_c) = k\Delta T \quad (3)$$

โดยที่

- $Q_{cd}$  การนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็น ( $W \cdot m^{-K^{-1}}$ )
- $k$  ค่าการนำความร้อนของ Thermo couple (สำหรับ TEC 12706 ใช้ค่าการนำความร้อนของแผ่นอะลูมินา  $Al_2O_3 = 18W \cdot m^{-K^{-1}}$ )
- $T_c$  อุณหภูมิด้านเย็นของ thermoelectric module ( $^{\circ}C$ )
- $T_h$  อุณหภูมิด้านร้อนของ thermoelectric module ( $^{\circ}C$ )

เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ค่าต่างๆดังนี้



แผนภูมิที่ 5 แสดงการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นของ Thermoelectric ในช่วงเวลาต่างๆ

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆ

Base case (W m-K <sup>-1</sup> )	เปิดพัดลมดูดอากาศ (W m-K <sup>-1</sup> )	เป่าด้วยพัดลม (W m-K <sup>-1</sup> )	เพิ่มแผ่นอลูมิเนียม (W m-K <sup>-1</sup> )
1.77	0.00	58.19	206.53

ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นหรือ COP หาได้จากสมการ<sup>1</sup>

$$\mu = Q_C/Q_E = \frac{\alpha I T_c - k\Delta T - 0.5I^2 R}{I^2 R + \alpha I \Delta T}$$

โดยที่

$Q_C$  ค่าพลังงานความร้อนที่ด้านเย็น (W)

$Q_E$  ค่าพลังงานไฟฟ้า (W)

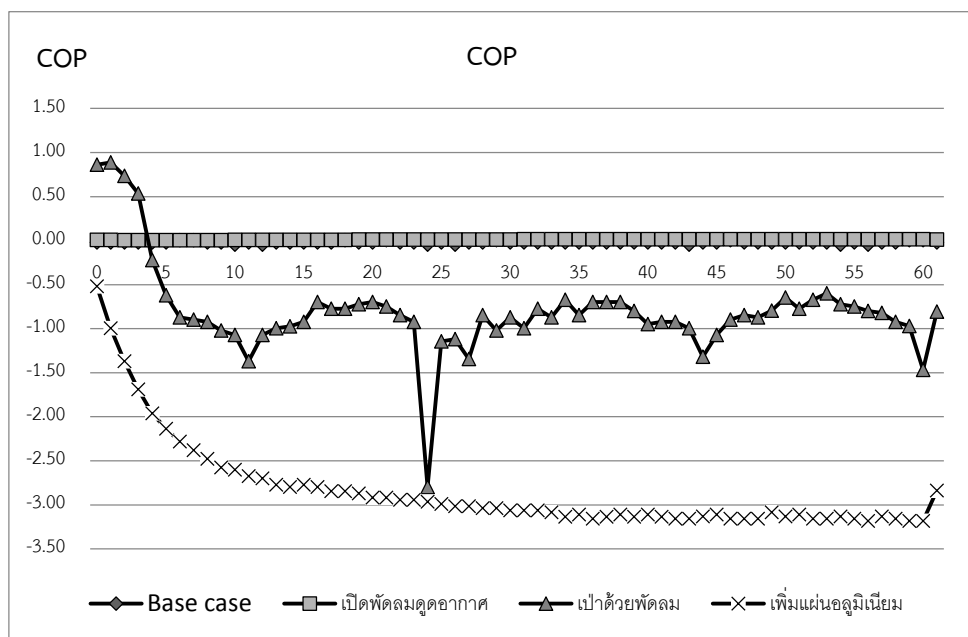
$\alpha$  Seebeck coefficient (เป็นค่าคงที่ โดยใน TEC 12706 = 0.0119 )

$I$  กระแสไฟฟ้า (amp)



- T อุณหภูมิ ( C )  
 Tc อุณหภูมิด้านเย็นของ thermoelectric module ( C )  
 k ค่าการนำความร้อนของ Thermo couple (สำหรับ TEC 12706 ใช้ค่าการนำความร้อนของแผ่นอะลูมินา  $Al_2O_3 = 18W m-K^{-1}$ )  
 R Thermal resistance of the Thermoelectric (สำหรับ TEC 12706 = 1.98 โอห์ม )

เมื่อแทนค่าต่างๆลงไปจะได้ค่า COP ในแต่ละช่วงเวลา ดังนี้



แผนภูมิที่ 6 แสดงค่า COP ในแต่ละช่วงเวลา

ตารางที่ 3 แสดงค่า COP ในแต่ละกรณี

Base case	เปิดพัดลมดูดอากาศ	เป่าด้วยพัดลม	เพิ่มแผ่นอลูมิเนียม
-0.02	0.01	-0.80	-2.84

จากแผนภูมิที่ 4 พบว่าการเพิ่มแผ่นอะลูมิเนียมทำให้ด้านเย็นดูดซับความร้อนจากด้านร้อนมากที่สุด และการนำความร้อนจะด้านร้อนไปที่ด้านเย็นมากที่สุดถึง  $206.53 W m-K^{-1}$  ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่ำที่สุดในทุกกรณี หมายความว่ากรณีนี้สามารถนำความร้อนออกจากระบบได้น้อยและช้าที่สุดโดยที่แนวโน้มของกราฟเพิ่มสูงขึ้นก่อนกรณีอื่นๆ และวิธีที่ดีที่สุดในการนำความร้อนออกจากระบบ และช่วยให้ความร้อนแผ่จากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นได้ช้าที่สุดก็คือการ

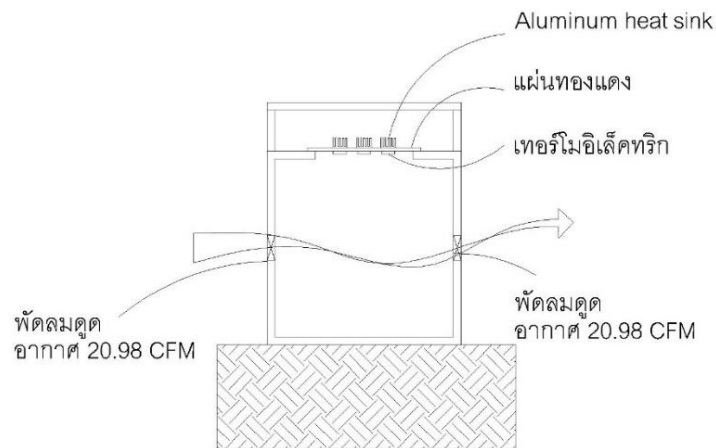
เปิดพัดลมดูดอากาศที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่ากรณีอื่นๆก็คือ 0.01 แต่สิ่งที่น่าสนใจที่เกิดขึ้นภายในระบบของ Thermoelectric นั่นก็คือแม้ว่าการเปิดพัดลมดูดอากาศจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงที่สุดแต่การดูดซับความร้อนในด้านเย็นของ Thermoelectric สูงเป็นอันดับที่ 2 รองจากการเพิ่มจำนวนแผ่นอลูมิเนียม ซึ่งจากการสันนิษฐานในเบื้องต้นเป็นไปได้ว่าการเปิดพัดลมดูดอากาศภายในกล่องทดลองจะช่วยให้การนำความเย็นไปใช้ภายในได้ดีขึ้นแต่เพราะปฏิกิริยาไม่ได้ยุ่งเกี่ยวกับด้านร้อนของ Thermoelectric ทำให้ความร้อนในด้านร้อนไม่ถูกดูดซับออกไปอย่างรวดเร็วทำให้ความร้อนแผ่เข้ามาในด้านเย็นเร็วกว่าการปล่อยให้ Thermoelectric ทำงาน แต่การกระจายความเย็นในด้านเย็นก็ช่วยให้ความร้อนจากด้านร้อนที่เข้ามาสู่ด้านเย็นกระจายออกทางปลายด้านเย็นนั่นเอง



#### 4.2 การทดลองด้วยกล่องทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีการระบายความร้อนแบบต่างๆ

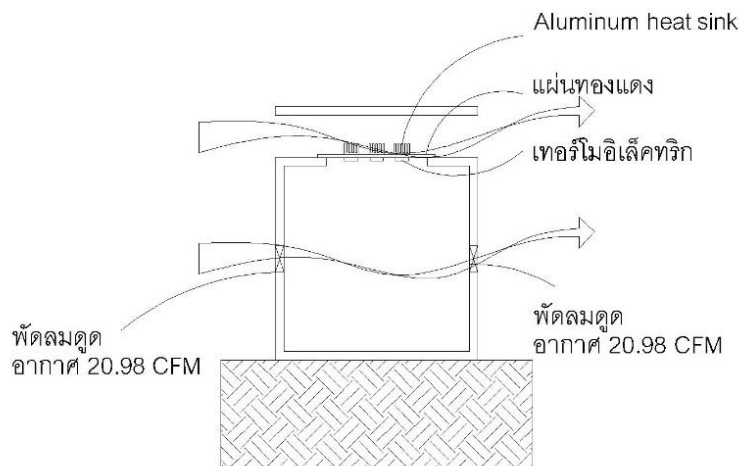
จากการทดลองโดยใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่

- การทำ Heat sink ด้วย Aluminum heat sink



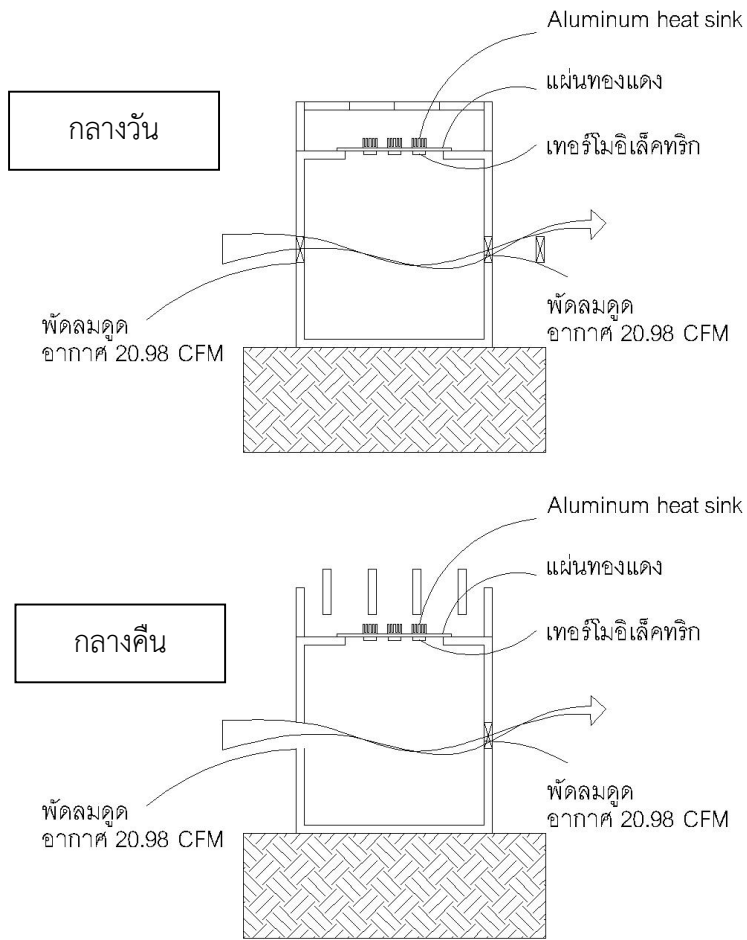
ภาพที่ 39 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 1

- การทำ Heat sink ร่วมกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ



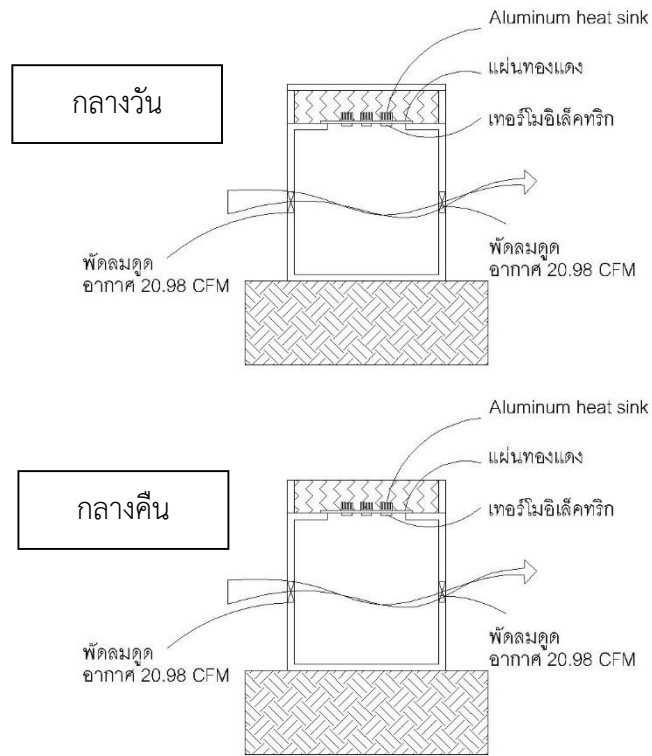
ภาพที่ 40 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 2

- การทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation



ภาพที่ 41 แสดงกล่องทดลองกรณี 3 โหมตกลางวันและกลางคืน

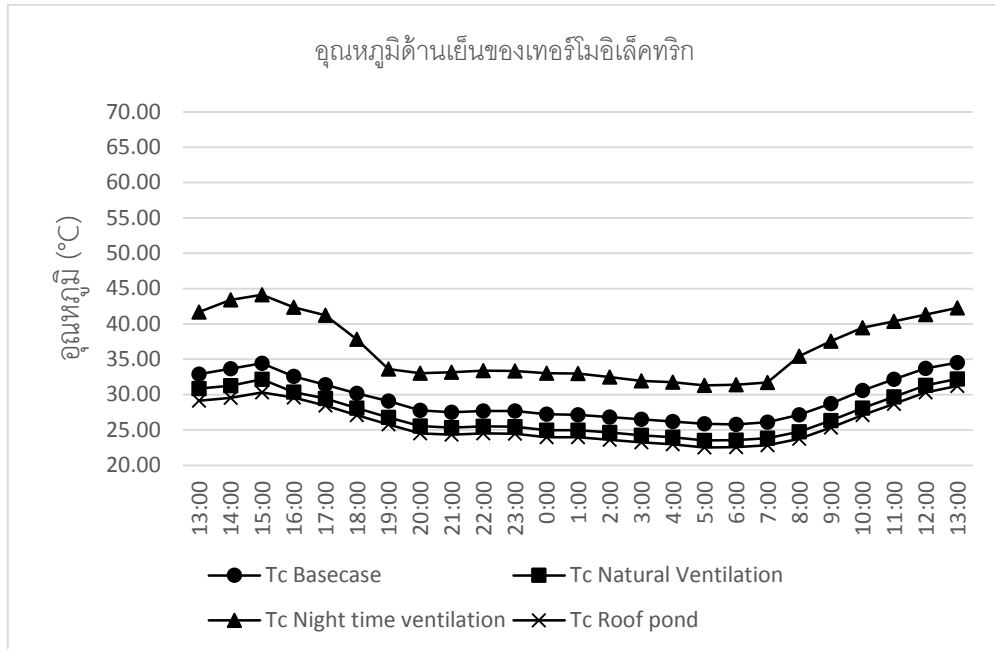
○ การทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond



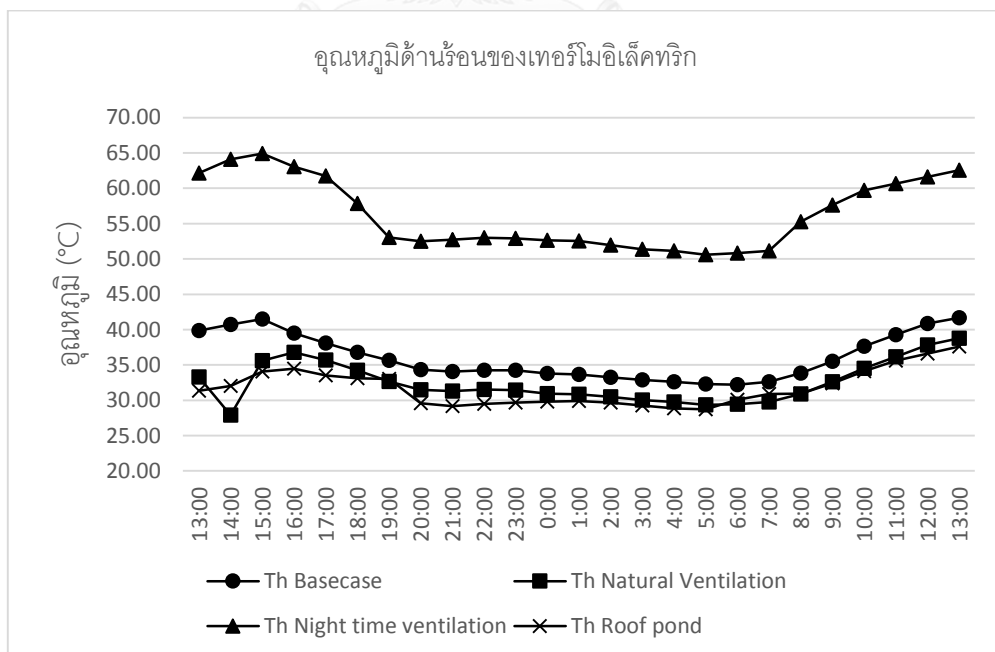
ภาพที่ 42 แสดงกล่องทดลองกรณีที่ 4 โหมดกลางวันและกลางคืน

ทำการทดลองบริเวณพื้นที่เปิดโล่ง ณ วันที่ 26 – 27 มีนาคม พ.ศ. 2558 โดยทำการเปลี่ยนกล่องทดลองเป็นรูปแบบกลางคืนในช่วงเวลา 18.00-18.30 น. และรูปแบบกลางวันในช่วงเวลา 6.00-6.30 น. เป็นเวลาหนึ่งวันหนึ่งคืน และเมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของกล่องทดลอง จะได้ผลการทดลองดังนี้

#### 4.2.1 การถ่ายเทความร้อนภายในเทอร์โมอิเล็กทริก



แผนภูมิที่ 7 แสดงอุณหภูมิด้านเย็นของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆ



แผนภูมิที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิด้านร้อนของ Thermoelectric ในกรณีต่างๆ

สูตรคำนวณหาค่าการดูดซับความร้อนในด้านเย็นของ TE หาได้จากสมการ<sup>1</sup>

$$Q_{ab} = \alpha I T_c \quad (1)$$

โดยที่

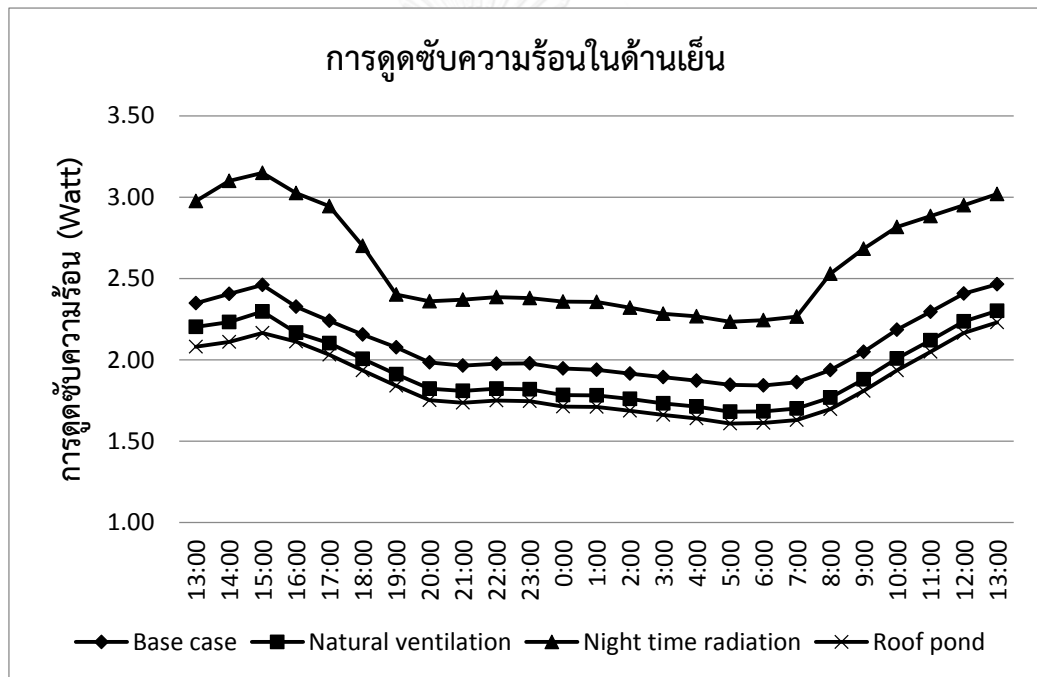
$Q_{ab}$  คือค่าการดูดซับความร้อนในด้านเย็น (Watt)

$\alpha$  Seebeck coefficient (เป็นค่าคงที่ โดยใน TEC 12706 = 0.0119 )

$I$  กระแสไฟฟ้า (ในการทดลองนี้ใช้กระแสไฟฟ้าที่ 6 amp)

$T_c$  อุณหภูมิด้านเย็นของ thermoelectric module ( °C )

เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ค่าต่างๆดังนี้



แผนภูมิที่ 9 แสดงค่าการดูดซับความร้อนในด้านเย็นในแต่ละช่วงเวลาในทุกกรณี

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับความร้อนของด้านเย็น (Watt)

Base case (Watt)	Natural ventilation (Watt)	Night time radiation (Watt)	Roof pond (Watt)
2.09	1.93	2.60	1.86

จากแผนภูมิที่ 7 และ 8 เปรียบเทียบอุณหภูมิด้านเย็นและด้านร้อนของ TE พบว่าการใช้ Natural ventilation เพื่อนำความร้อนออกจาก Heat sink สามารถทำให้อุณหภูมิด้านเย็นต่ำที่สุด 24.63 องศาเซลเซียส ในเวลากลางวัน และ 23.53 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน วิธีที่สามารถทำให้อุณหภูมิต่ำได้รองลงมาคือกรณี Base case ที่ทำได้ 26.50 องศาเซลเซียส และ 25.78 องศาเซลเซียส ในเวลากลางวันและกลางคืนตามลำดับ ลำดับที่สามคือกรณีของหารใช้ Roof pond คือ 27.55 องศาเซลเซียส และ 26.23 องศาเซลเซียส ในกลางวันและกลางคืนตามลำดับ สุดท้ายคือวิธี Night time radiation 32.50 องศาเซลเซียส และ 31.28 องศาเซลเซียส ในกลางวันและกลางคืนตามลำดับ เมื่อพิจารณาการดูดซับความร้อนในด้านเย็นของ Thermoelectric เองก็พบว่าการใช้ Natural ventilation จะทำให้อุณหภูมิด้านเย็นของ TE ดูดซับความร้อนได้มากกว่ากรณีอื่นๆ โดยที่ Natural ventilation ด้านเย็นจะดูดซับความร้อนเพียง 1.93 Watt ตามด้วยวิธี Base case 2.09 Watt Roof pond 1.86 และ Night time radiation ที่ 2.60 Watt ตามลำดับ

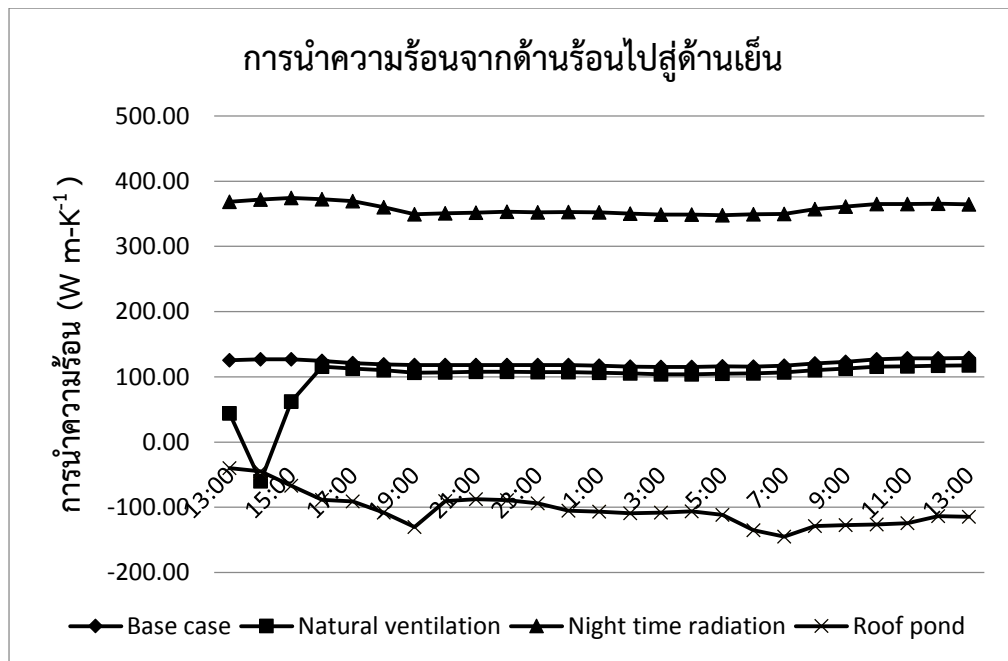
พิจารณาการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นหาได้จากสมการ<sup>1</sup>

$$Q_{cd} = k(T_h - T_c) = k\Delta T \quad (2)$$

โดยที่

- $Q_{cd}$  การนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็น ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ )
  - $k$  ค่าการนำความร้อนของ Thermo couple (สำหรับ TEC 12706 ใช้ค่าการนำความร้อนของแผ่นอะลูมินา  $Al_2O_3 = 18W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ )
  - $T_c$  อุณหภูมิด้านเย็นของ thermoelectric module ( $^{\circ}C$ )
  - $T_h$  อุณหภูมิด้านร้อนของ thermoelectric module ( $^{\circ}C$ )
- เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ค่าต่างๆดังนี้





แผนภูมิที่ 10 แสดงค่าการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นในช่วงเวลาต่างๆของทุกกรณี

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็น (W m-K<sup>-1</sup>)

Base case (W m-K <sup>-1</sup> )	Natural ventilation (W m-K <sup>-1</sup> )	Night time radiation (W m-K <sup>-1</sup> )	Roof pond (W m-K <sup>-1</sup> )
120.85	98.24	358.09	-37.72

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิภายในกล่องทดลองในแผนภูมิที่ 12 พบว่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นของ Thermoelectric นั้นไม่ได้มาจากความต่างของอุณหภูมิในด้านร้อนและด้านเย็นแต่หากเป็นการรักษาความต่างของอุณหภูมิที่คงที่เพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะการหยุดทำงานของการเปลี่ยนถ่ายอุณหภูมิใน Thermoelectric อาจกล่าวได้ว่าการรักษาค่าความต่างของอุณหภูมิให้คงที่เป็นสิ่งที่สำคัญที่ทำให้ Thermoelectric สามารถคงสภาพการทำงานที่คงที่ไว้ได้

เมื่อพิจารณาการส่งผ่านความร้อนในหน่วยย่อยของ Thermoelectric จะสามารถคำนวณค่าของประสิทธิภาพในการทำงานของ Thermoelectric ได้ดังนี้

ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นหรือ COP หาได้จากสมการ<sup>1</sup>

$$\mu = Q_C/Q_E = \frac{\alpha IT_c - k\Delta T - 0.51^2 R}{I^2 R + \alpha I \Delta T} \quad (3)$$

โดยที่

$Q_c$  ค่าพลังงานเย็น (W)

$Q_e$  ค่าพลังงานไฟฟ้า (W)

$\alpha$  Seebeck coefficient (เป็นค่าคงที่ โดยใน TEC 12706 = 0.0119 )

$I$  กระแสไฟฟ้า (amp)

$T$  อุณหภูมิ ( C )

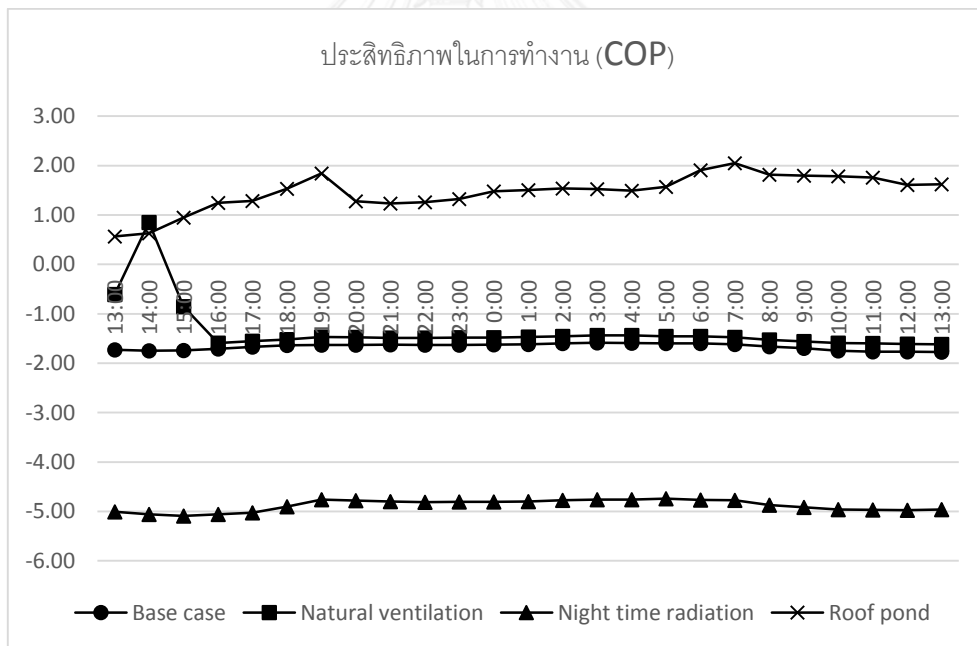
$T_c$  อุณหภูมิด้านเย็นของ thermoelectric module ( C )

$k$  ค่าการนำความร้อนของ Thermo couple (สำหรับ TEC 12706 ใช้ค่าการนำความร้อนของแผ่นอะลูมินา  $Al_2O_3 = 18W m\cdot K^{-1}$ )

$R$  Thermal resistance of the Thermoelectric (สำหรับ TEC 12706 = 1.98

โอห์ม )

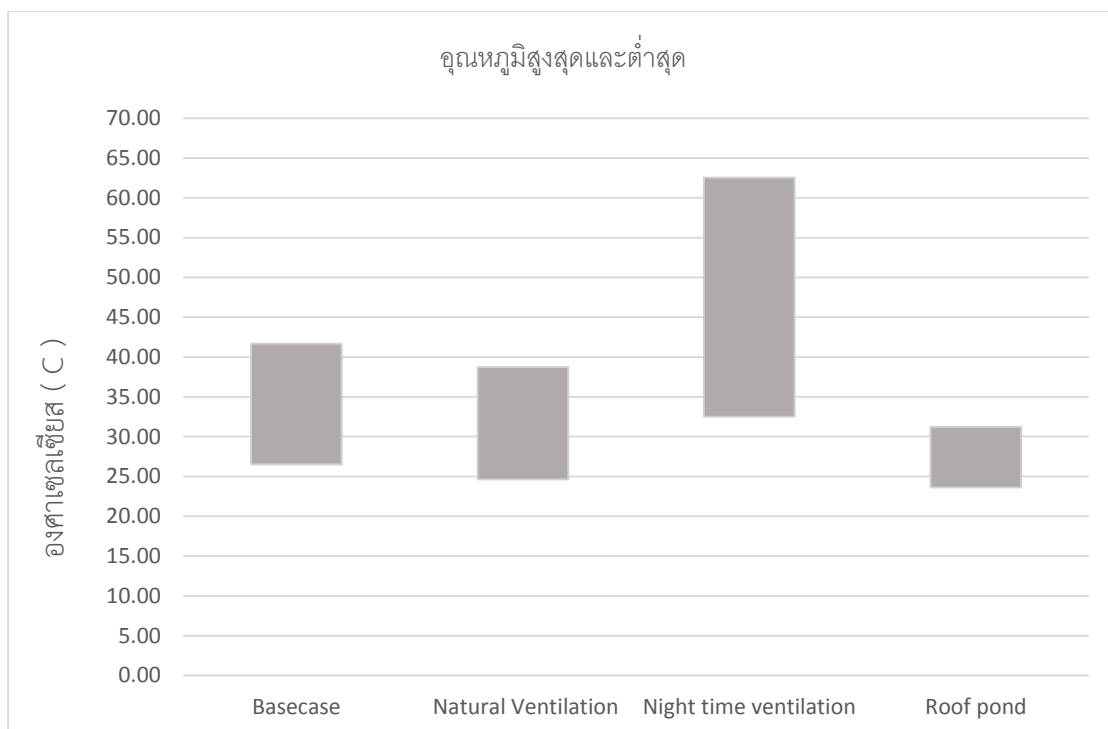
โดยที่จะได้ประสิทธิภาพในการทำงานของ Thermoelectric ในแต่ละกรณีดังนี้



แผนภูมิที่ 11 แสดง COP ในแต่ละช่วงเวลาของทุกกรณี

ตารางที่ 6 แสดงค่าประสิทธิภาพในการทำงานของ Thermoelectric couple

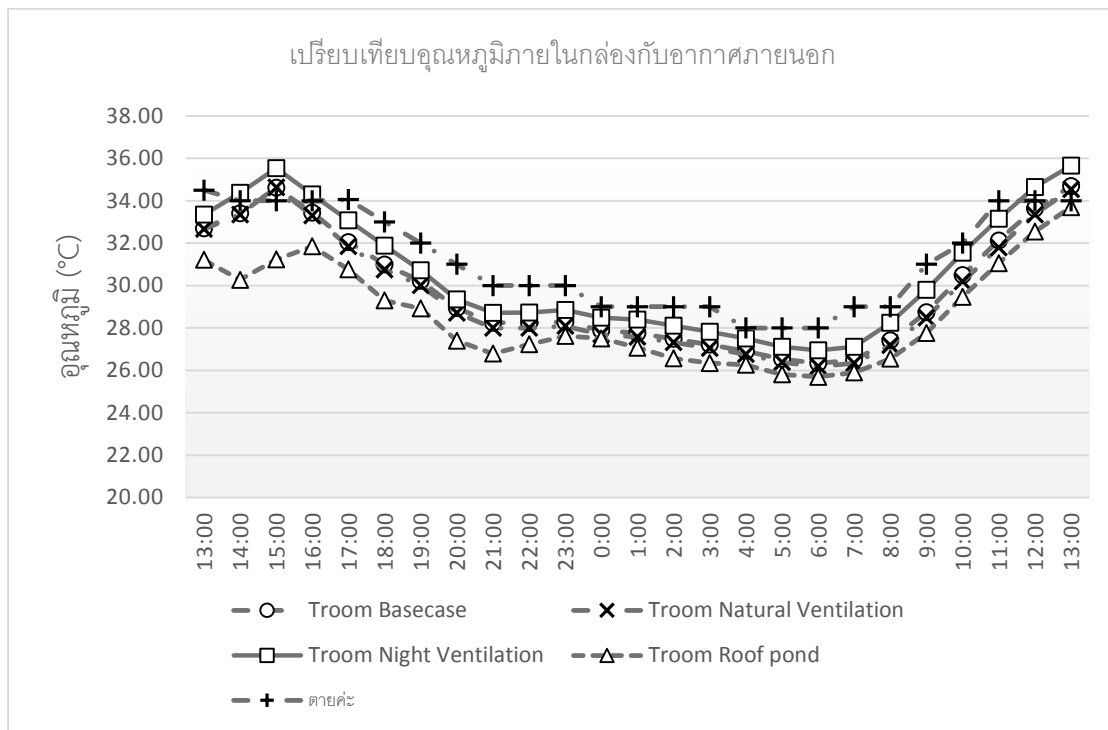
Base case	Natural ventilation	Night time radiation	Roof pond
-1.66	1.46	-4.88	1.46



แผนภูมิที่ 12 แสดงค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดใน Thermoelectric module

แม้ว่าการใช้ Natural ventilation จะช่วยให้ TE มีอุณหภูมิต่ำที่สุดและการดูดซับความร้อนในด้านเย็นน้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นพบว่าวิธีที่ลดการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นได้น้อยที่สุดก็คือวิธี Roof pond ที่มีค่าการนำความร้อน  $-37.72 \text{ W m-K}^{-1}$  หรือก็คือไม่เกิดการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นแล้วอุณหภูมิด้านเย็นยังกระจายไปที่ด้านร้อนทำให้อุณหภูมิด้านร้อนไม่เพิ่มสูงขึ้น วิธีที่รองลงมาก็คือการใช้ Natural ventilation ที่มีค่าการนำความร้อน  $98.24 \text{ W m-K}^{-1}$  ตามด้วยกรณี Base case  $120.85 \text{ W m-K}^{-1}$  และวิธีสุดท้ายก็คือ Night time radiation ที่ค่าการนำความร้อนสูงถึง  $358.09 \text{ W m-K}^{-1}$  ซึ่งส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นของ TE เรียงลำดับตามค่าการนำความร้อนโดยที่วิธีที่ค่า COP สูงที่สุดก็คือ Roof pond 1.46 ตามด้วย Natural ventilation -1.35 ตามด้วยกรณี Base case -1.66 และวิธีที่แย่ที่สุดก็คือ Night time radiation -4.88 ซึ่งค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นนี้สามารถอธิบายได้ด้วยแผนภูมิที่ 4.2.1.6 แสดงค่าความต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ซึ่ง Roof pond สามารถรักษาค่าความต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดให้ไม่ต่างกันมากจนเกินไปได้มากกว่าวิธีอื่นๆ

#### 4.2.2 การทำความเย็นให้กับห้องทดลอง



แผนภูมิที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องทดลองในกรณีต่างๆ

ตารางที่ 7 แสดงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในห้องทดลองในแต่ละกรณีในเวลากลางวัน 6.00-18.00 น. (°C)

อุณหภูมิ (°C)	Base case (°C)	Natural Ventilation (°C)	Night Ventilation (°C)	Roof pond (°C)	Tair (°C)
Max day	34.68	34.62	35.66	33.70	34.50
Min day	26.48	26.33	27.10	25.90	29.00

ตารางที่ 8 แสดงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในห้องทดลองในแต่ละกรณีในเวลากลางคืน 18.00-6.00 น. (°C)

อุณหภูมิ (°C)	Base case (°C)	Natural Ventilation (°C)	Night Ventilation (°C)	Roof pond (°C)	Tair (°C)
Max night	30.99	30.75	31.88	27.21	33.00
Min night	26.34	26.18	26.94	25.69	28.00

ตารางที่ 9 แสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกล่องทดลองกับอากาศภายนอกในเวลากลางวัน 6.00-18.00 น. (°C)

อุณหภูมิ (°C)	Base case (°C)	Natural Ventilation (°C)	Night Ventilation (°C)	Roof pond (°C)
Max day	2.52	2.67	1.90	3.73
Min day	-0.68	-0.62	-1.66	0.30

ตารางที่ 10 แสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกล่องทดลองกับอากาศภายนอกในเวลา กลางคืน 18.00-6.00 น. (°C)

อุณหภูมิ (°C)	Base case (°C)	Natural Ventilation (°C)	Night Ventilation (°C)	Roof pond (°C)
Max night	2.07	2.29	1.65	3.70
Min night	1.10	1.24	0.50	1.49

สืบเนื่องจากประสิทธิภาพในการทำความเย็นภายในระบบของ Thermoelectric ในแต่ละกรณีต่างๆส่งผลให้อุณหภูมิภายในกล่องทดลองแปรผันตามประสิทธิภาพในการทำความเย็นภายในระบบ Thermoelectric เช่นกัน โดยวิธี Roof pond ช่วยลดอุณหภูมิในกล่องทดลองได้มากที่สุดที่สามารถลดอุณหภูมิจากอากาศภายนอกได้มากถึง 3.73 องศาเซลเซียสในเวลากลางวันและ 3.70 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน ตามด้วยวิธี Natural ventilation ที่สามารถลดได้ถึง 2.67 องศาเซลเซียส และ 2.29 องศาเซลเซียส ในเวลากลางวันและกลางคืนตามลำดับ และวิธีที่แย่ที่สุดก็คือ Night time radiation ที่ลดอุณหภูมิได้ 1.90 องศาเซลเซียส และ 1.65 องศาเซลเซียสในเวลา กลางวันและกลางคืนตามลำดับ

ลำดับต่อไปเพื่อพิสูจน์ว่าความสามารถในการทำความเย็นของ Thermoelectric เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลถึงค่าความสามารถในการทำความเย็นหรือไม่

การหาสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนของระบบ โดยใช้ Infiltration Method (Lecher, 1991) เพื่อหาพลังงานความร้อนที่ thermoelectric สามารถผลิตได้ภายในกล่อง ดังนี้

$$Q = 1.08 \times \text{CFM} \times \Delta T_1 \quad (4)$$

โดยที่

Qc คือ พลังงานความเย็นที่ระบบทำได้ (BTU/hr)

1.08 คือ ค่าคงที่ ที่มาจากการแปลงหน่วยในสมการ

CFM คือ ปริมาณอากาศที่ไหลออกจากห้อง (ft<sup>3</sup>/min) ซึ่งจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีค่า 20.89 ft<sup>3</sup>/min

$\Delta T_1$  คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากห้องทดลอง

จะได้ผลลัพธ์ในกรณีต่างๆดังนี้

ตารางที่ 11 แสดงพลังงานความเย็นที่ผลิตได้ในทุกกรณี

Base case (BTU/hr)	Natural ventilation (BTU/hr)	Night time radiation (BTU/hr)	Roof pond (BTU/hr)
50.84	57.7883	24.9571	78.8342
61.72	68.2792	36.6488	99.3933
72.75	78.9258	48.2454	108.1995
44.80	50.4920	20.5149	70.8166
59.69	65.8020	35.9725	89.2820
67.66	73.7379	43.2322	94.0777
102.64	108.2295	77.3354	126.4305
64.80	73.9206	31.0749	99.8930
91.98	101.8469	48.7892	131.9976
61.51	73.6228	18.6388	103.1965
76.56	89.5014	34.5178	120.1190
15.22	26.3492	-26.0549	59.3322
73.30	74.5839	46.8927	134.0403
24.23	26.5049	-14.8730	152.2305
-24.84	-25.2764	-62.4454	113.0733
22.77	28.5557	-11.9636	87.8376
81.41	89.2171	39.7553	134.1219

Base case (BTU/hr)	Natural ventilation (BTU/hr)	Night time radiation (BTU/hr)	Roof pond (BTU/hr)
82.03	91.3627	45.8765	151.0035
72.85	80.8887	52.0758	125.7031
84.32	92.8754	67.3600	146.8128
71.39	81.2068	52.5006	130.8149
72.06	81.2914	51.6679	112.9204
70.29	77.6906	47.1782	97.1468
45.38	52.8710	21.1709	60.8480

และคำนวณประสิทธิภาพในการทำความเย็นของ Thermolectric ดังนี้

$$EER = \frac{Q_c \text{ (BTU/hr)}}{W \text{ (watt)}} \quad (5)$$

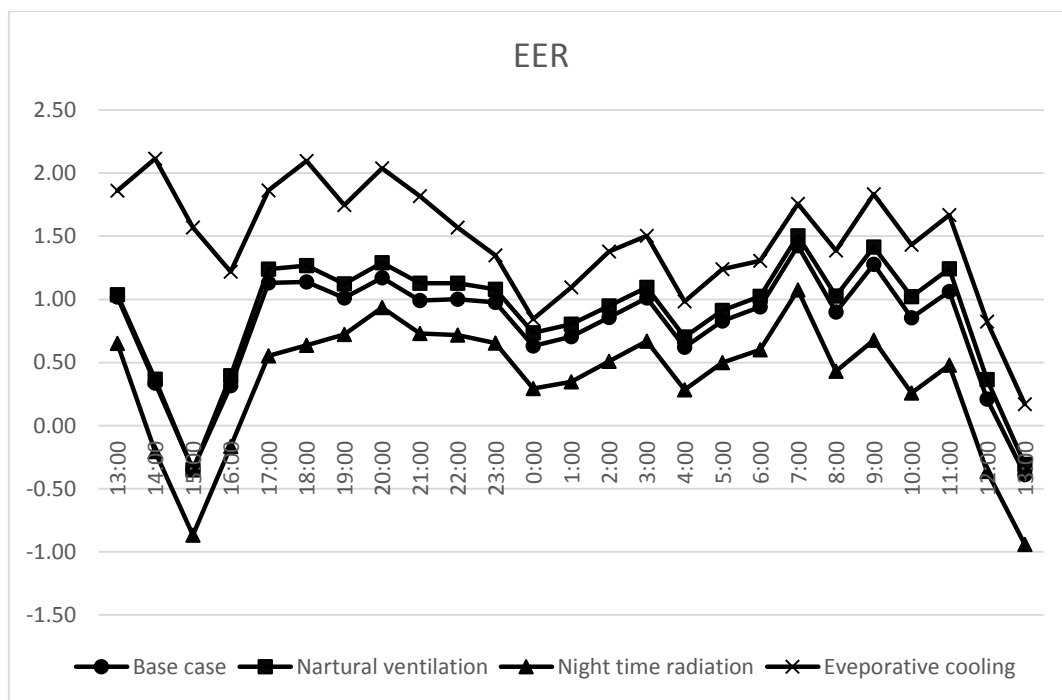
โดยที่

EER คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะ

Qc คือ พลังงานความเย็นที่ระบบทำได้ (BTU/hr)

W คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (ในการทดลองนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 72 watt ในกรณี)

เมื่อแทนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิที่ออกจากกล่อง และค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้ลงไปในการคำนวณ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ในแต่ละช่วงเวลาดังนี้



แผนภูมิที่ 14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในช่องเวลาต่างๆในทุกกรณี

จากแผนภูมิที่ 14 จะเห็นได้ว่าค่า EER กรณีของ Roof pond มีค่าสูงมากกว่ากรณีอื่นๆ ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน โดยที่ในช่วงเวลาระหว่าง 14.00-16.00 นาฬิกา ประสิทธิภาพสมรรถนะในกรณี Roof pond จะไม่ตกลงจนต่ำกว่าศูนย์เหมือนกรณีอื่นๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของกรณี Roof pond มากกว่ากรณีอื่นๆ

สามารถสรุปสัมประสิทธิ์สมรรถนะของ Thermoelectric ร่วมกับ natural heat sink ต่างๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 12 แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการทำความเย็น

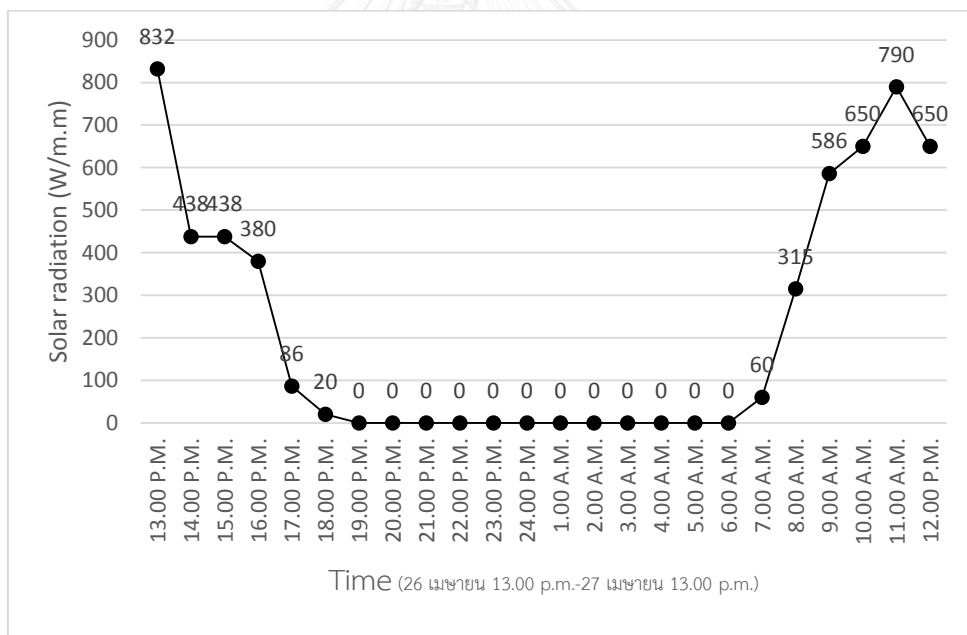
EER	Base case	Natural ventilation	Night time radiation	Roof pond
Min	-0.39	-0.35	-0.94	0.17
Max	1.43	1.50	1.07	2.11
Average	0.79	0.89	0.37	1.47

การทดลองนี้เกิดขึ้นเนื่องจากสมมติฐานที่ว่า การเพิ่มประสิทธิภาพในการนำความร้อนออกจากระบบ Thermoelectric จะสามารถช่วยให้ Thermoelectric ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก



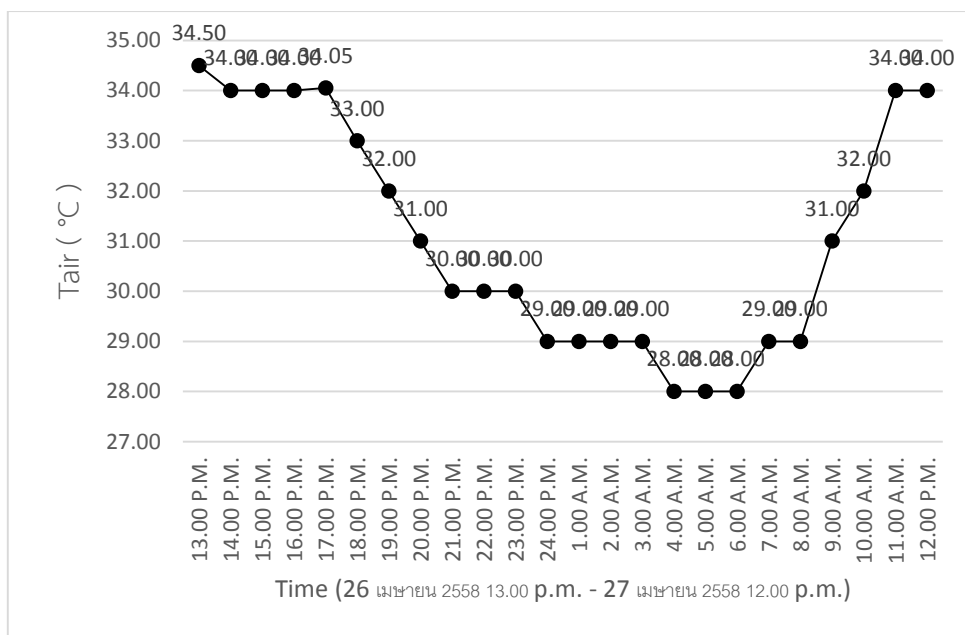
ขึ้นและสามารถที่จะนำมาใช้ทำความเย็นให้กับอาคารได้ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพการทำ Heat sink ของ Thermoelectric นั้นสามารถช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะได้จริง โดยกระบวนการธรรมชาติที่นำมาใช้แล้วได้ประสิทธิภาพมากที่สุดก็คือ Roof pond ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นภายในระบบ Thermoelectric สูงที่สุด ก็คือ 0.54 รองลงมาก็คือ Natural ventilation และ Night time radiation ตามลำดับ และสามารถทำให้ค่า EER ในการทำความเย็นให้กับห้องทดลองสูงสุดคือ 2.11 โดยมีค่าเฉลี่ย EER ที่ 1.13 ซึ่งสัมพันธ์กับสมมติฐานที่ว่า การเพิ่มความสามารถในการทำ Heat sink จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็น

จากผลการทดลองเบื้องต้น เพื่อที่จะนำผลการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองในลำดับต่อไป ผู้วิจัยจึงได้ทำการหาสมการค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างพลังงานความเย็นที่ผลิตได้ กับ ปัจจัยภายนอกได้แก่ พลังงานความร้อนจาก Solar radiation และ อุณหภูมิอากาศภายนอก (Tair) เพื่อนำสมการที่ได้ไปคำนวณเปรียบเทียบการใช้พลังงานความเย็นในลำดับต่อไป



แผนภูมิที่ 15 แสดงค่า Solar radiation (วัตต์/ตารางเมตร) ของวันที่ 26 เมษายน 2558 ตั้งแต่เวลา 13.00 นาฬิกา ถึง วันที่ 27 เมษายน 2558 เวลา 13.00 นาฬิกา

(ที่มา : <http://www.weatherwatch.in.th/> . 2558)



แผนภูมิที่ 16 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศ (°C) ของวันที่ 26 เมษายน 2558 ตั้งแต่เวลา 13.00 นาฬิกา ถึง วันที่ 27 เมษายน 2558 เวลา 13.00 นาฬิกา

เมื่อนำผลของประสิทธิภาพการผลิตพลังงานความเย็นจากตารางที่ 4.2.8 มาเปรียบเทียบกับค่า Solar radiation ในแผนภูมิที่ 4.2.3 และค่าอุณหภูมิภายนอกในแผนภูมิที่ 4.2.4 โดยผลของสมการคณิตศาสตร์ จาก Regression statistic และค่าสัมประสิทธิ์และ P-value ด้วยโปรแกรม Excel ได้สมการความสัมพันธ์ของ Solar radiation และ อุณหภูมิอากาศภายนอก (Tair) ต่อการทำ ความเย็น (Qc) ในแต่ละกรณีดังนี้

-กรณี Base case ได้สมการเชิงเส้นคือ

$$Y=191.25+0.01*(\text{Solar radiation})-3.99*(\text{Tair})$$

-กรณี Natural ventilation ได้สมการเชิงเส้นคือ

$$Y=216.09+0.02*(\text{Solar radiation})-4.58*(\text{Tair})$$

-กรณี Night time radiation ได้สมการเชิงเส้นคือ

$$Y=208.00+0.02*(\text{Solar radiation})-5.24*(\text{Tair})$$

-กรณี Roof pond ได้สมการเชิงเส้นคือ

$$Y=412.68+0.03*(\text{Solar radiation})-9.73*(\text{Tair})$$

จากสมการเชิงเส้นที่ได้จากการคำนวณทั้ง 4 กรณีจะนำไปใช้ในการคำนวณผลจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะสามารถนำผลจากการทดลองเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้

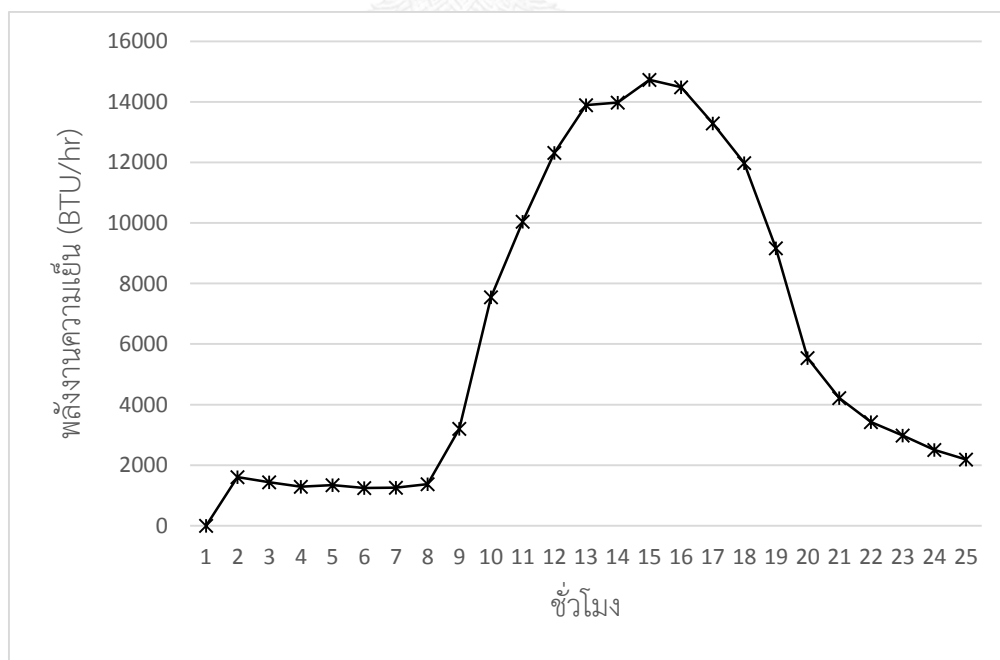
### 4.3 การทดลองด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Simulation)

#### 4.3.1 โปรแกรม Visual DOE 4.1

จากผลการทดลองด้วยกล่องทดลองนำค่าการทำความเย็นที่ได้ทั้ง 4 กรณีที่ทดลองคือ เทอร์โมอิเล็กทริกและ Heat sink เทอร์โมอิเล็กทริกและการทำ Heat sink ด้วยวิธีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ เทอร์โมอิเล็กทริกและการทำ Heat sink ด้วยวิธี Night time radiation เทอร์โมอิเล็กทริกและการทำ Heat sink ด้วย Roof pond มาเพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองการใช้พลังงานความเย็นในอาคารจากโปรแกรม Visual DOE 4.0 โดยอาคารที่ใช้ในการทดลองก็คืออาคารสำนักงานที่มีการควบคุมการรั่วไหลของอากาศขนาดความกว้าง 8 เมตร ยาว 8 เมตร สูง 2.4 เมตร พื้นที่ทั้งหมด 40 ตารางเมตร โดยมีหน้าต่างเป็นกระจก Single green 6 มิลลิเมตรที่ทิศใต้ ผนังด้านอื่นๆเป็นผนังทึบทั้งหมด

ใช้โปรแกรม Visual DOE 4.1 ในการคำนวณความต้องการพลังงานความเย็นตลอดทั้งปีเป็นเวลารายชั่วโมงเป็นระยะเวลาทั้งหมด 1 ปี

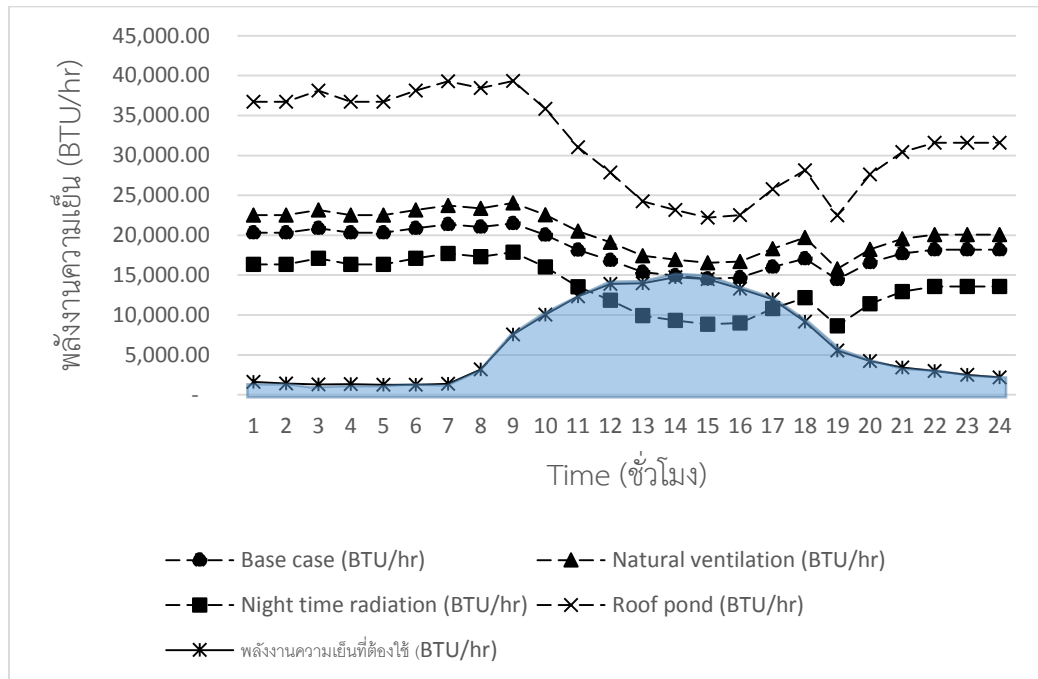
เมื่อได้ค่าพลังงานความเย็นที่ใช้ภายในอาคารสำนักงานกรณีตัวอย่างแล้ว จึงเลือกวันที่มีค่า Solar radiation ใกล้เคียงกับวันที่ทำการทดลองมากที่สุด พลังงานสูงที่สุดในหน้าร้อนก็คือวันที่ 10 มีนาคมได้ปริมาณพลังงานความเย็น (BTU/hr) ดังนี้



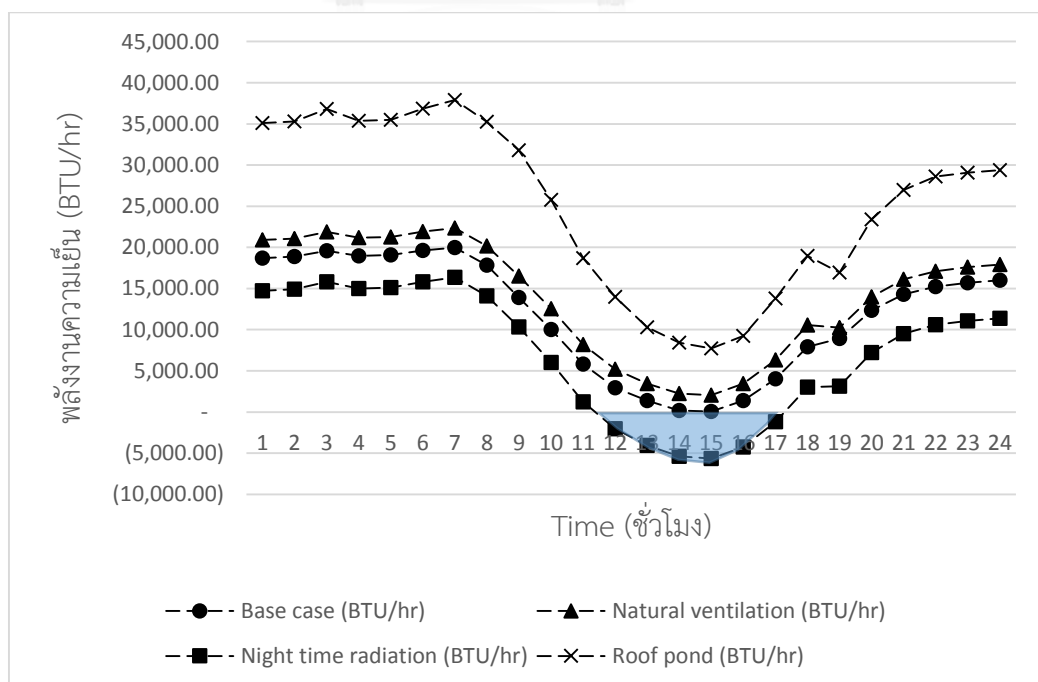
แผนภูมิที่ 17 แสดงปริมาณความเย็นที่ใช้ในหนึ่งวันในวันที่สูงที่สุดของอาคารสำนักงาน

เมื่อได้ค่าการใช้พลังงานความเย็นภายในห้องกรณีตัวอย่างแล้ว จึงนำมาเปรียบเทียบกับพลังงานความเย็นที่ Passive cooled ceiling ที่ทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ heat

sink ในรูปแบบต่างๆ ทั้ง 4 กรณี โดยนำสมการเชิงเส้นในแต่ละกรณีมาใช้ในการคำนวณค่าพลังงาน ความเย็นที่เทอร์โมอิเล็กทริกทำได้ โดยอ้างอิงจาก Solar radiation และ อุณหภูมิภายนอกในวันที่ 10 มีนาคม ค.ศ. 1952 ดังนี้



แผนภูมิที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความเย็นที่ผลิตได้ทั้ง 4 กรณีกับความต้องการในหนึ่งวัน



แผนภูมิที่ 19 แสดงผลต่างของพลังงานความเย็นที่ต้องการกับที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้

จากแผนภูมิที่ 18 ในส่วนที่ไฮไลท์สีฟ้าคือส่วนที่เป็นพลังงานความเย็นที่ห้องสำนักงานขนาด 40 ตารางเมตร สูง 3 เมตร จำเป็นต้องใช้ จะเห็นได้ว่าเทอร์โมอิเล็กทริกทั้ง 240 ยูนิตสามารถผลิตพลังงานความเย็นให้กับภายในห้องสำนักงานได้เพียงพอต่อความต้องการ โดยที่กรณี Roof pond สามารถผลิตพลังงานความเย็นได้มากที่สุด โดยที่สามารถทำความเย็นได้อย่างเพียงพอทั้งตอนเช้า กลางวัน และเย็น เช่นเดียวกับกรณี Natural ventilation และกรณี Base case ส่วนกรณี Night time radiation ความสามารถในการทำความเย็นจะลดลงตั้งแต่เวลา 11.00 – 17.00 นาฬิกา ซึ่งจากแผนภูมิ ความสามารถในการทำความเย็นลดลงจนถึงระดับติดลบนั้นเนื่องจากค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทำการทดลองเป็นช่วงที่อุณหภูมิในกล่องทดลองสูงกว่าอากาศภายนอกเพียงเล็กน้อยส่งผลให้ค่าตั้งต้นตามสมการคำนวณมีค่าติดลบ ทำให้การผลิตความเย็นในแผนภูมิที่ 19 มีค่าติดลบ



#### 4.3.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

การจำลองลักษณะการไหลเวียนของอากาศ เพื่อทดสอบทฤษฎีของ Passive chilled ceiling ที่ใช้ Natural convection ในการทำความเย็นภายในห้อง โดยการจำลองนี้เพื่อดูว่าความเย็นที่เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตได้จะกระจายตัวภายในห้องอย่างทั่วถึงหรือไม่ เพื่อดูว่าระบบนี้จะส่งผลต่อสภาวะน่าสบายอย่างไรบ้าง

ในการจำลองนี้มีการตั้งค่าอุณหภูมิผิวของฝ้าในแต่ละกรณีไม่เท่ากันเนื่องมาจากการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้ผลที่ต่างกัน โดยแบ่งการตั้งค่าเป็นโหมมดกลางวันและกลางคืนตามผลการทดลองที่เก็บได้จากกล่องทดลองดังนี้

##### กลางวัน

อุณหภูมิผนังด้านล่าง ทิศตะวันออก และตะวันตก	27 °C
อุณหภูมิทิศใต้	29.60 °C
อุณหภูมิผิวฝ้า	
Base case	31.70 °C
Natural Ventilation	29.42 °C
Night time radiation	33.02 °C
Roof pond	23.63 °C

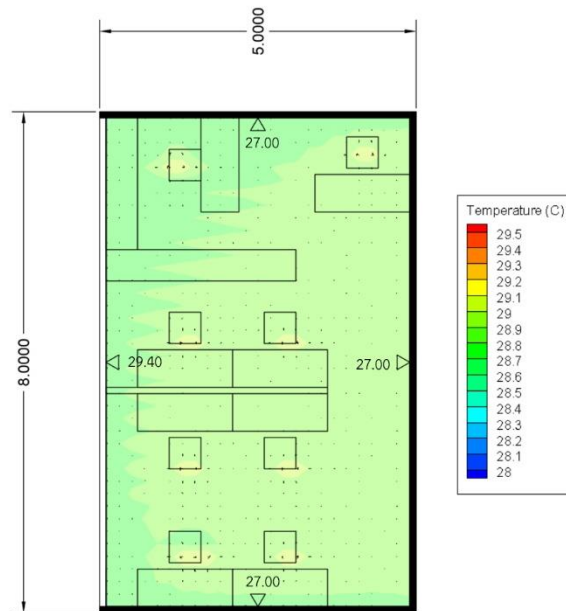
##### กลางคืน

อุณหภูมิผนังด้านล่าง ทิศตะวันออก และตะวันตก	27 °C
อุณหภูมิทิศใต้	26.48 °C
อุณหภูมิผิวฝ้า	
Base case	27.34 °C
Natural Ventilation	25.12 °C
Night time radiation	31.28 °C
Roof pond	22.53 °C

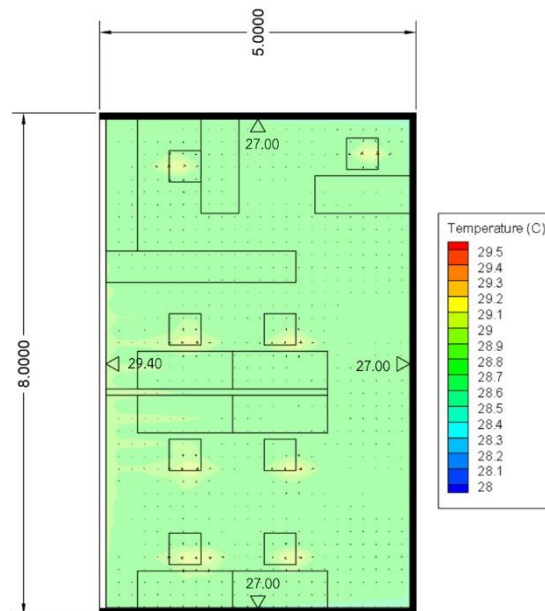
ผลการจำลองในรูปแบบของเวกเตอร์การไหลของอากาศและอุณหภูมิ แสดงลงตารางดังนี้

ตารางที่ 13 ผลการจำลองการไหลเวียนอากาศช่วงกลางวันในผังพื้นที่ระดับ 1.2 เมตร

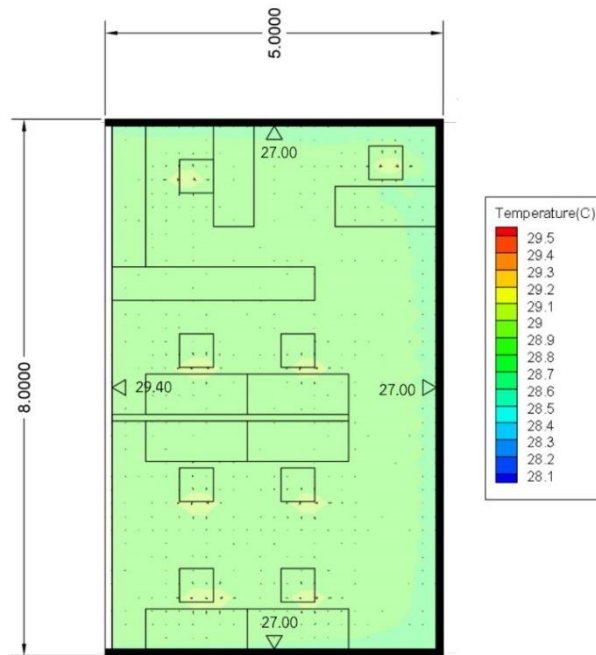
การกระจายตัวของอุณหภูมิในผังพื้นที่ (6.00-18.00 น.)



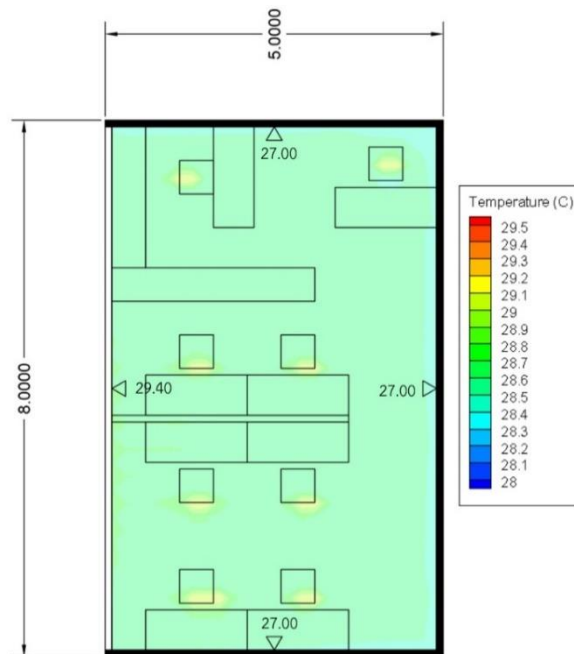
Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบาย  
อากาศตามธรรมชาติ



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation



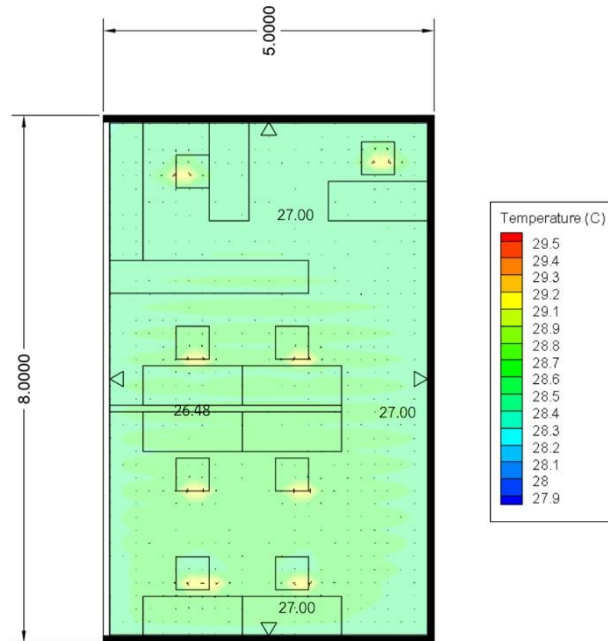
Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

---

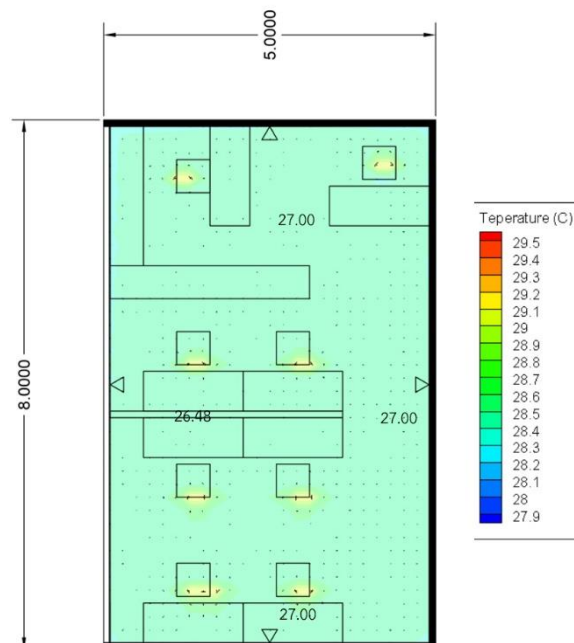


ตารางที่ 14 ผลการจำลองการไหลเวียนอากาศช่วงกลางคืนในผังพื้นที่ระดับ 1.2 เมตร

การกระจายตัวของอุณหภูมิในผังพื้นที่ (18.00-6.00 น.)



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ

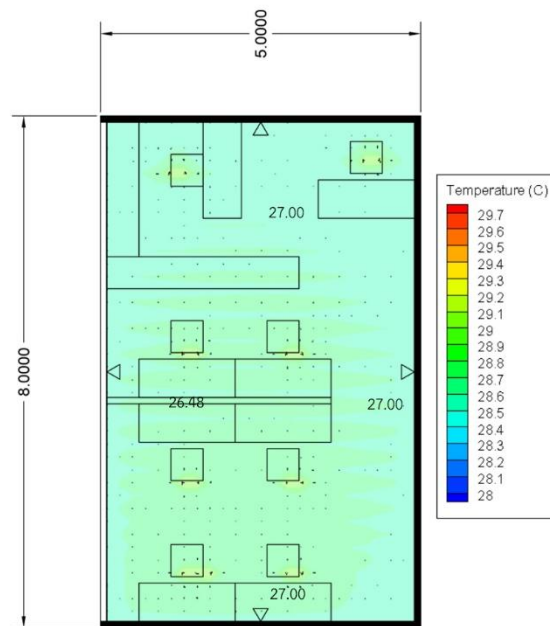


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบาย  
อากาศตามธรรมชาติ

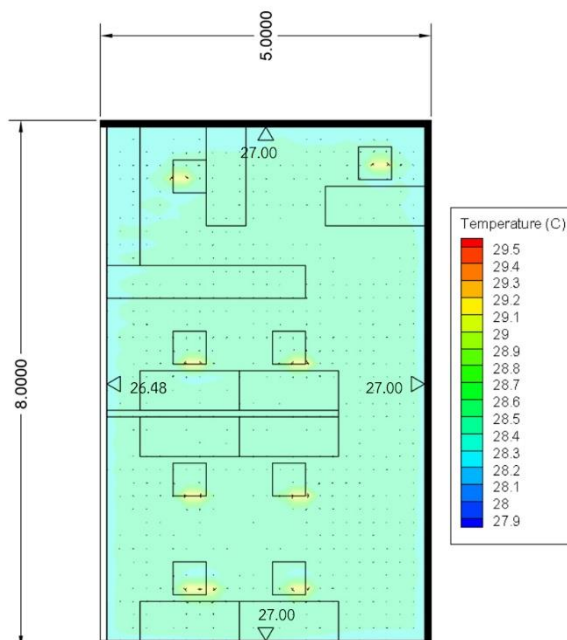
---

การกระจายตัวของอุณหภูมิในผังพื้นที่ (18.00-6.00 น.)

---



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation

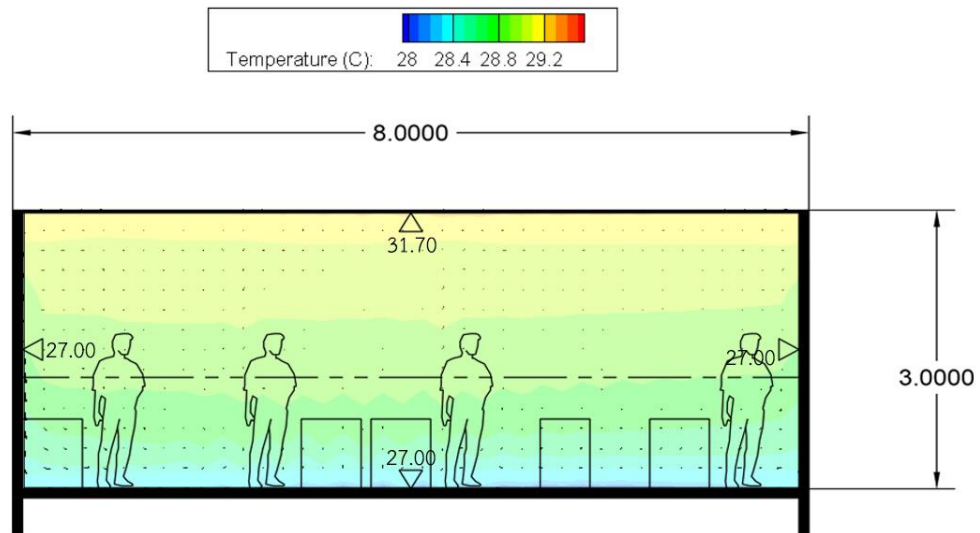


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

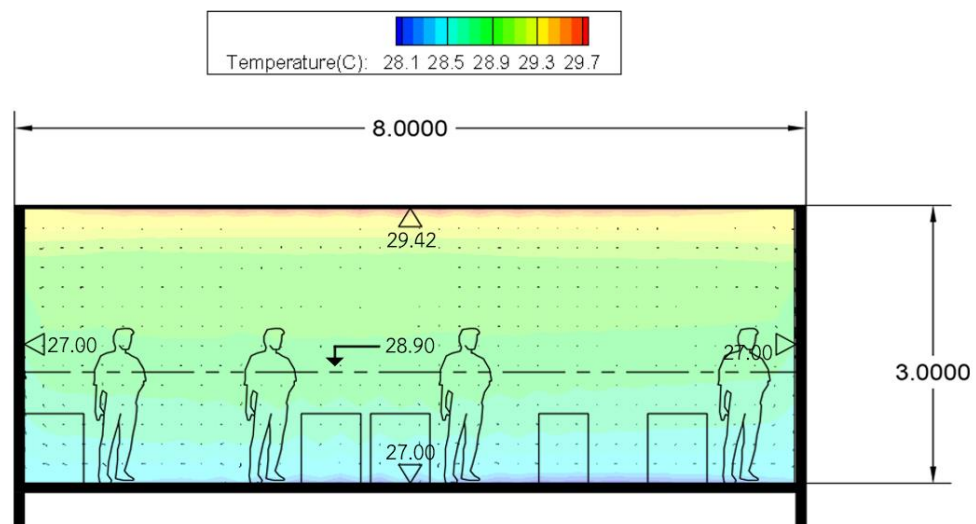
---

ตารางที่ 15 ผลการจำลองการไหลเวียนอากาศช่วงกลางวันในรูปตัดที่ระดับ 1.2 เมตร

การกระจายตัวของอุณหภูมิในผังพื้นที่ (6.00-18.00 น.)



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ

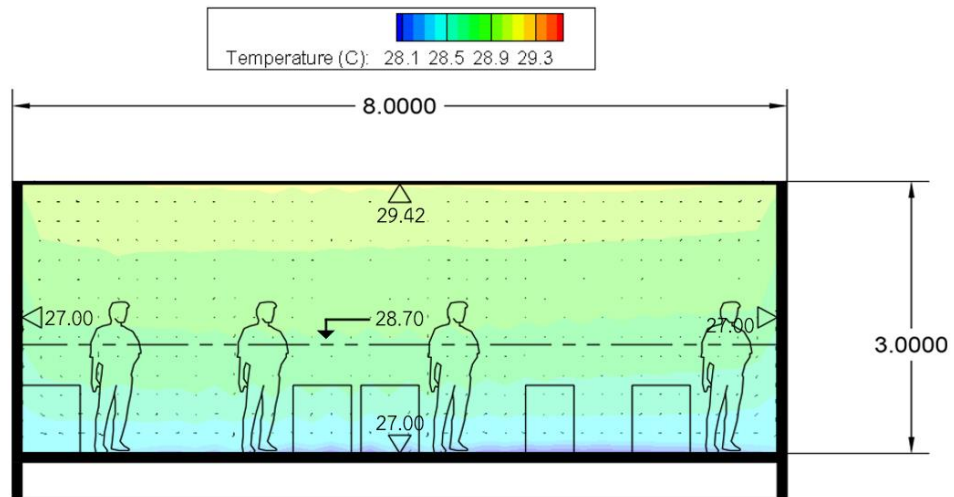


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบาย  
อากาศตามธรรมชาติ

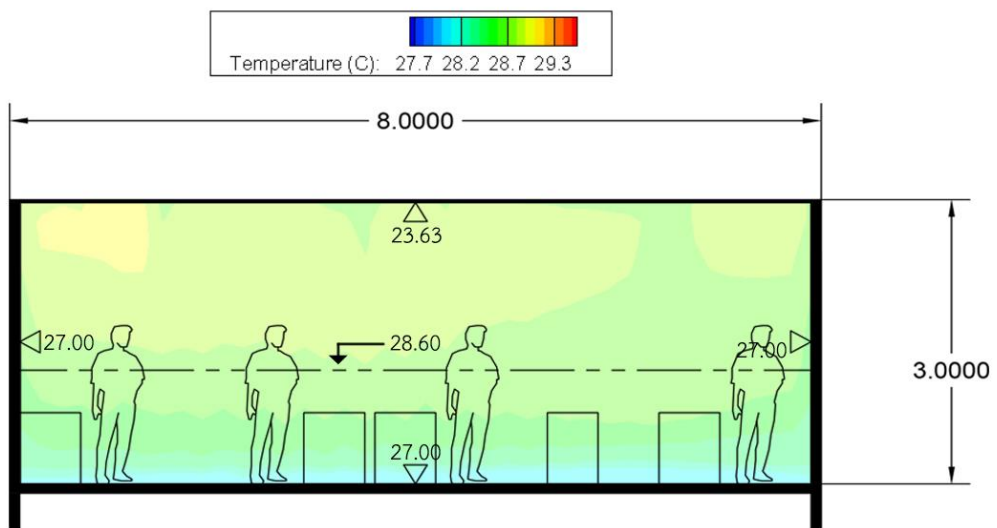
---

การกระจายตัวของอุณหภูมิในผังพื้นที่ (6.00-18.00 น.)

---



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation

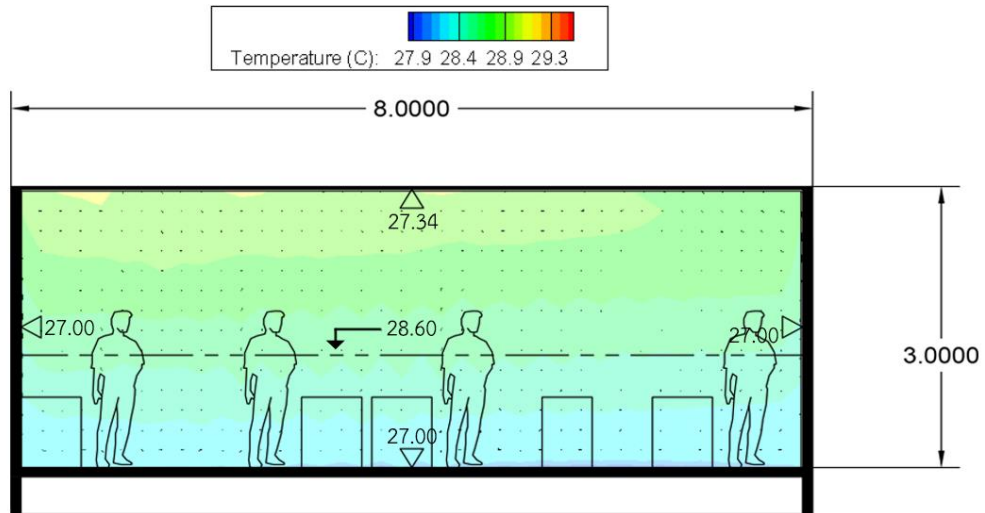


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

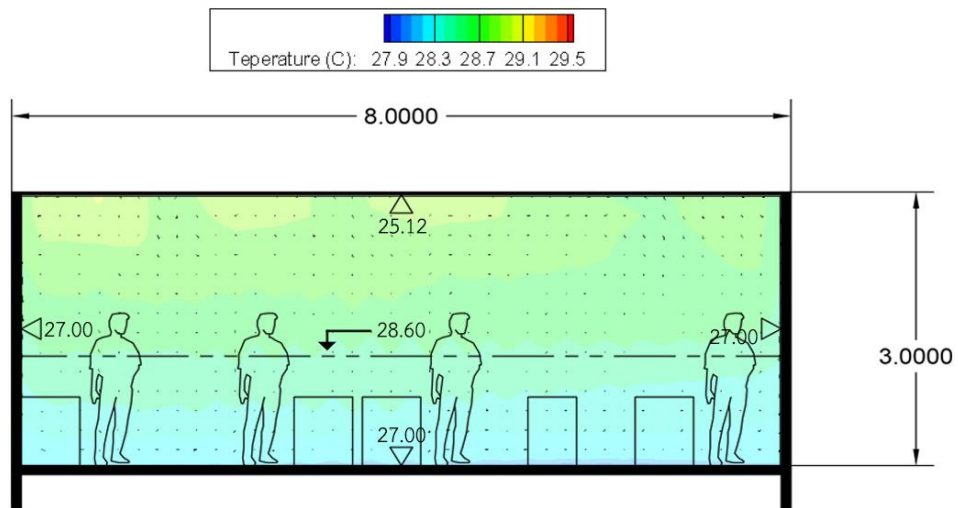
---

ตารางที่ 16 ผลการจำลองการไหลเวียนอากาศช่วงกลางคืนในรูปตัดที่ระดับ 1.2 เมตร

การกระจายตัวของอุณหภูมิรูปตัด (18.00-6.00 น.)

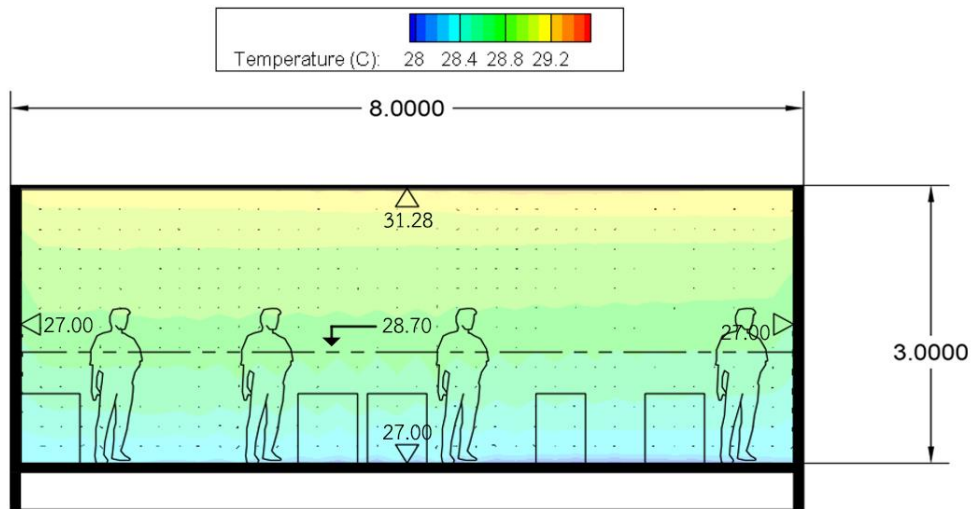


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ

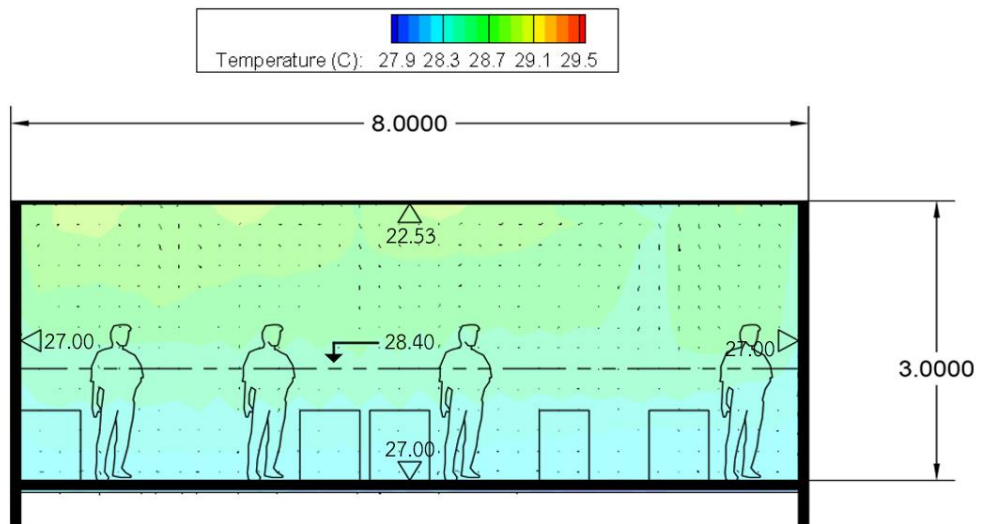


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบายอากาศตามธรรมชาติ

การกระจายตัวของอุณหภูมิในรูปตัด (18.00-6.00 น.)



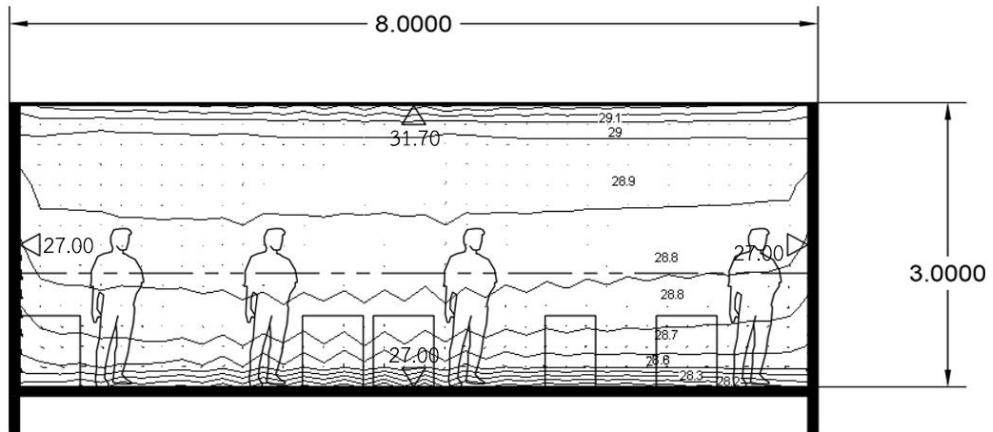
Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation



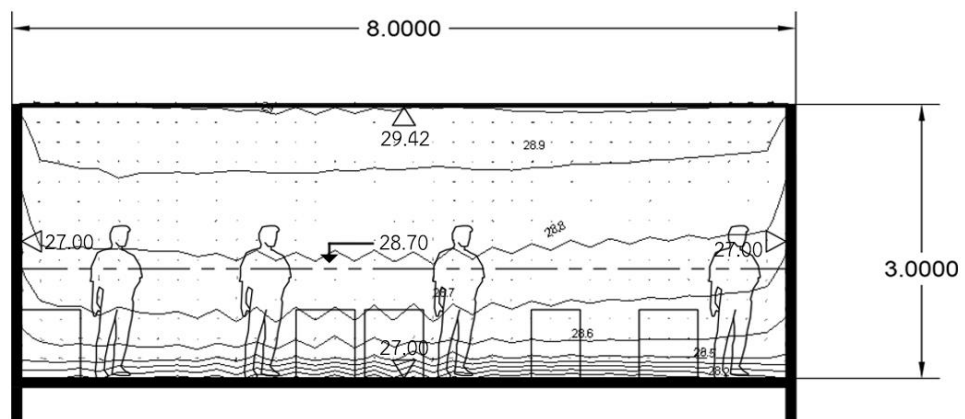
Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

ตารางที่ 17 แสดงผลการจำลองอุณหภูมิในเวลากลางวันในรูปตัด

อุณหภูมิ (6.00-18.00 น.)

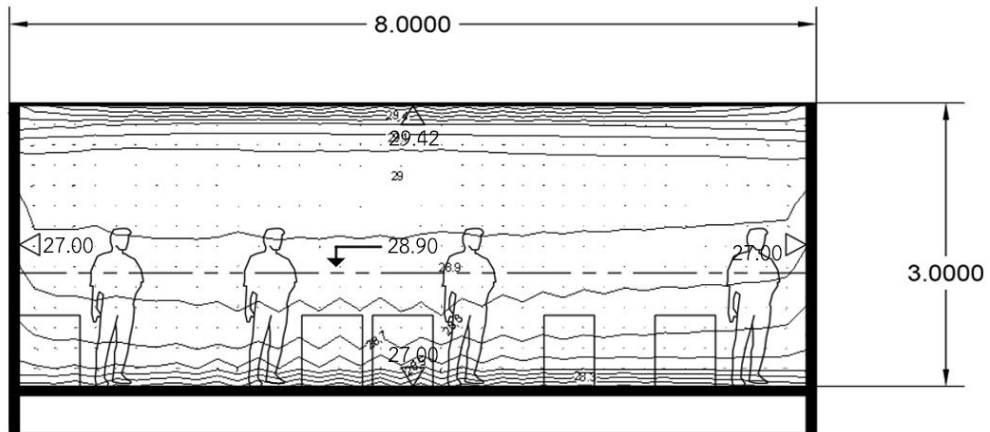


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ

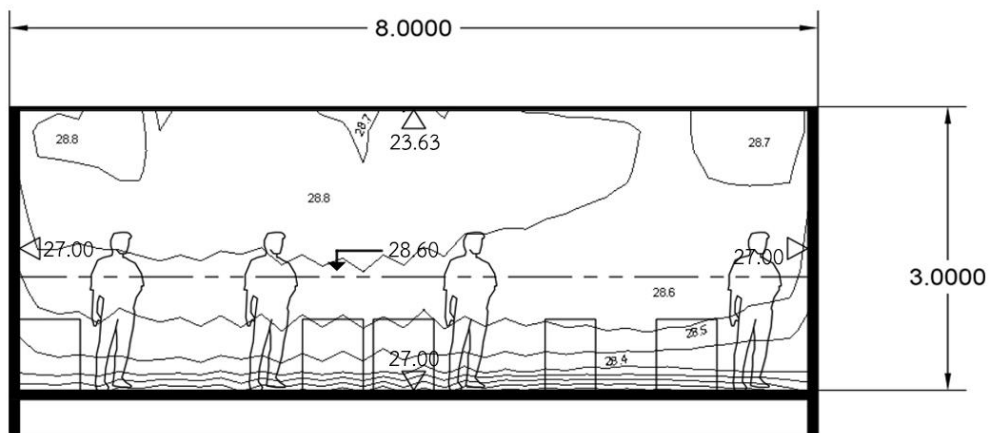


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบาย  
อากาศตามธรรมชาติ

อุณหภูมิ (6.00-18.00 น.)



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation

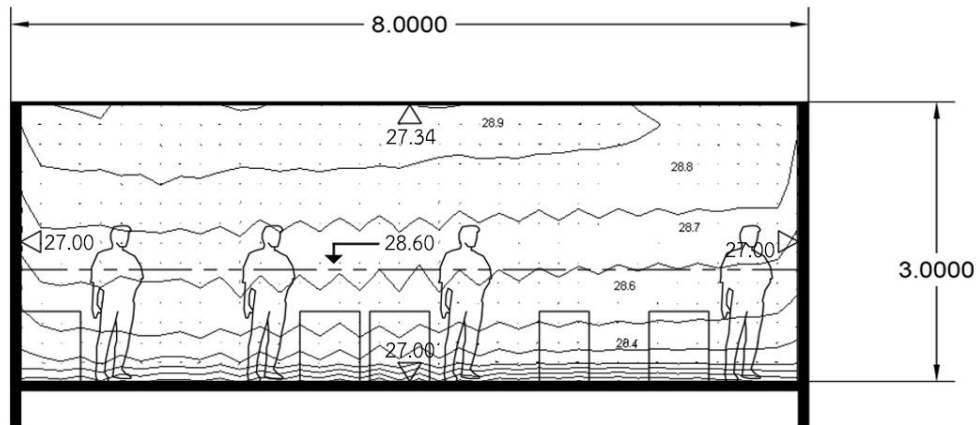


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

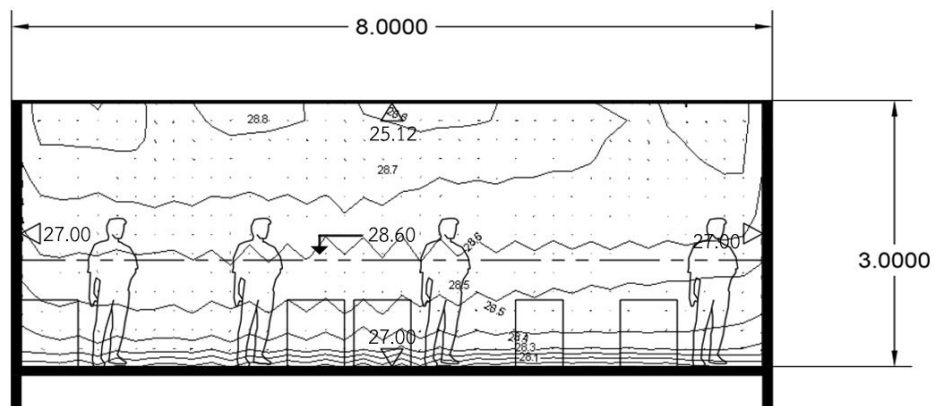


ตารางที่ 18 แสดงผลการจำลองอุณหภูมิในเวลากลางวันในรูปตัด

อุณหภูมิ (18.00-6.00 น.)

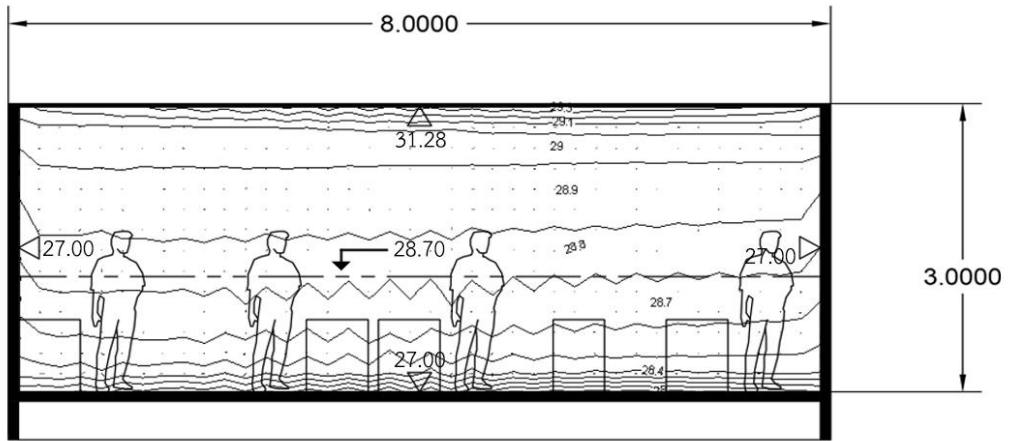


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ

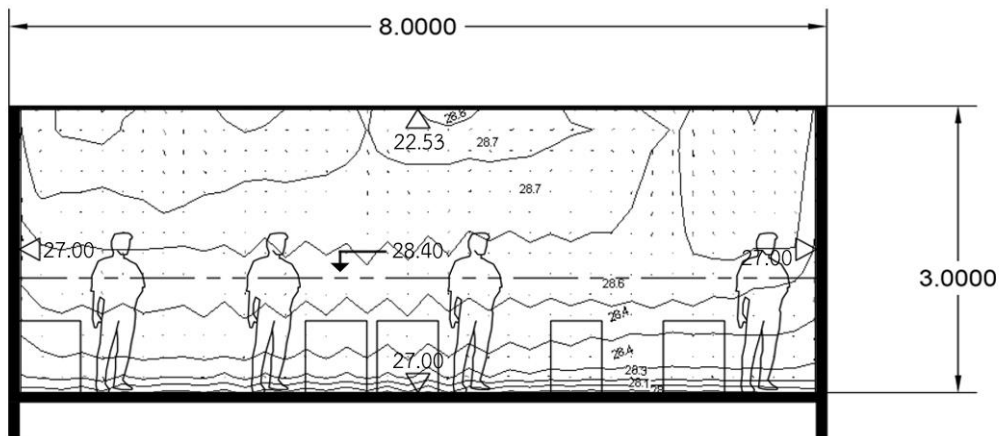


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบาย  
อากาศตามธรรมชาติ

อุณหภูมิ (18.00-6.00 น.)



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

จากผลการจำลองพบว่า อากาศเย็นจะลอยตัวลงต่ำที่ระดับพื้นและความร้อนจะสะสมอยู่ ส่วนบนของห้อง สำนักงานที่ใช้ในการจำลอง พิจารณาจากตารางที่ 15 ในเวลากลางวันกรณีของ Roof pond จะมีความร้อนสะสมด้านบนน้อยที่สุด การเกาะกลุ่มของอุณหภูมิความร้อนจะมีน้อย อย่างเป็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ รองลงมาก็คือ Natural ventilation , Base case และ ท้ายที่สุดก็คือ Night time radiation ซึ่งมีความร้อนสะสมด้านบนมากที่สุดโดยที่ความร้อนเกือบจะ ตกกลงมาถึงระดับคนยืนด้านล่าง

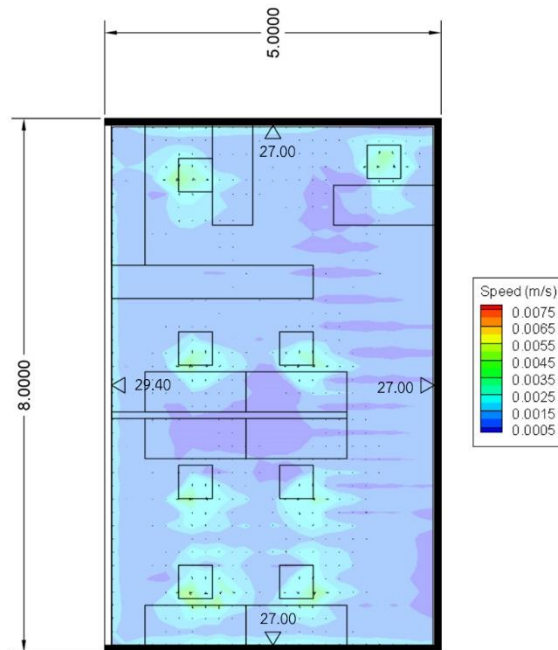
ในช่วงเวลากลางคืนเองเช่นเดียวกันจากตารางที่ 16 กรณีที่ความร้อนสะสมด้านบนน้อย ที่สุดก็คือกรณี Roof pond ตามมาด้วย Natural ventilation, Base case และ Night time radiation ตามลำดับ

ผู้วิจัยได้เลือกระดับความสูงที่ 1.20 เมตร ในการวัดอุณหภูมิภายในห้องเนื่องจากเป็นระดับที่ มนุษย์กำลังนั่งทำงานพอดี โดยที่อุณหภูมิที่ระดับความสูง 1.20 เมตรมีอุณหภูมิต่ำที่สุดในเวลา กลางวันในกรณี Roof pond, bas case และ Natural ventilation ก็คือ 28.60 ในขณะที่กรณี Night time radiation มีอุณหภูมิที่ระดับ 1.20 เมตรคือ 28.90 ซึ่งไม่ต่างกันมากนัก และในเวลา กลางคืน อุณหภูมิที่ระดับ 1.20 กรณี Roof pond มีอุณหภูมิต่ำสุด 28.40 °C รองลงมาก็คือ Natural ventilation และ Base case คือ 28.60 °C และท้ายที่สุดก็คือ Night time radiation ที่ 28.70 °C และจากเกณฑ์สภาวะน่าสบายของ ASHRAE ที่กำหนดไว้ว่าช่วงที่มีสภาวะน่าสบายจะอยู่ในช่วง อุณหภูมิ 22.2-26.1 °C ซึ่งจากการจำลองพบว่าไม่มีกรณีไหนเลยที่อุณหภูมิภายในห้องจะถึงระดับ ความน่าสบายที่กำหนดไว้โดย ASHRAE

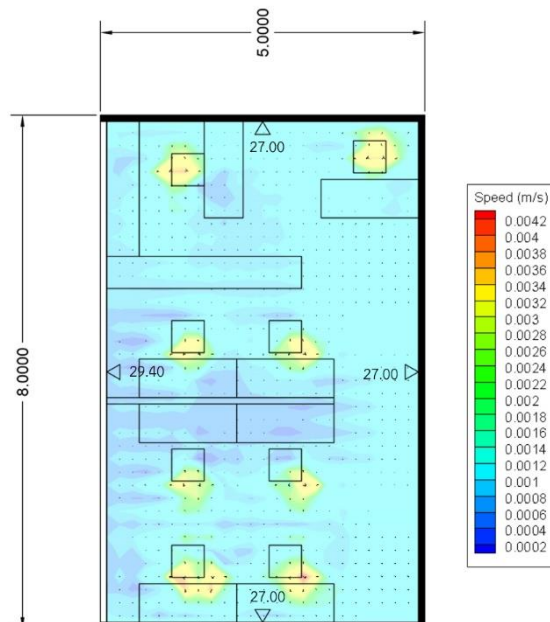
ลำดับต่อไปคือการจำลองเพื่อดูความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในห้องสำนักงานโดยการตั้งค่า อุณหภูมิเหมือนกับการตั้งค่าในขั้นต้น ซึ่งได้ผลการจำลองจำแนกในตารางดังนี้

ตารางที่ 19 แสดงการจำลองความเร็วลมในผังพื้นที่ในเวลากลางวัน

ความเร็วลม (6.00-18.00 น.)



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ

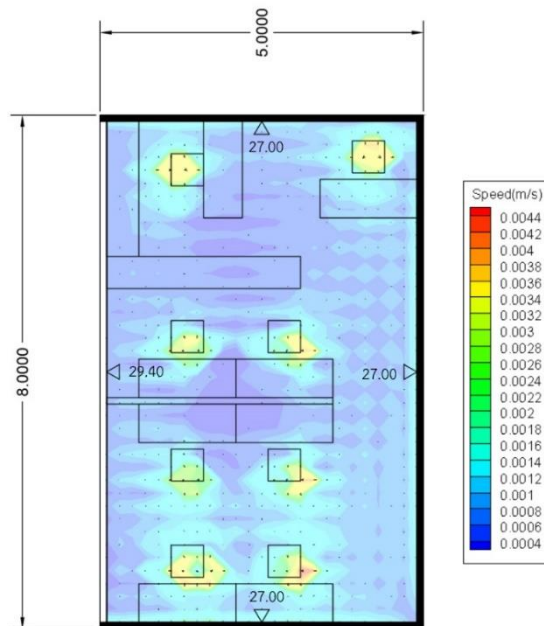


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบาย  
อากาศตามธรรมชาติ

---

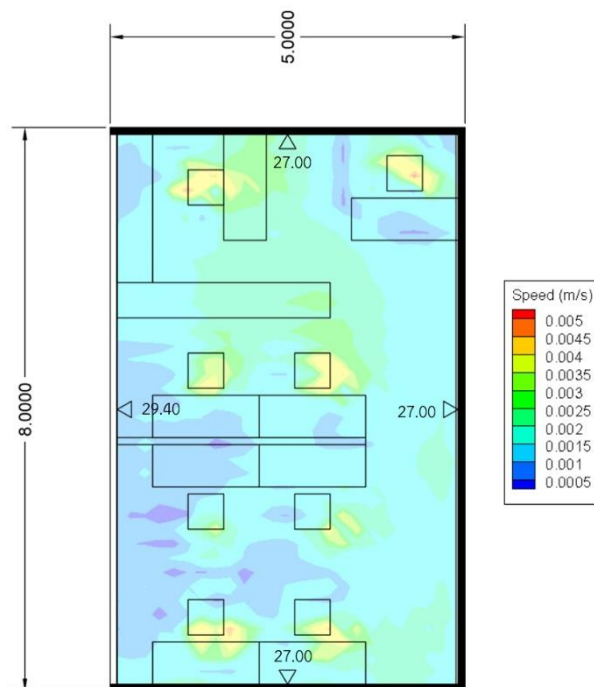
ความเร็วลม (6.00-18.00 น.)

---



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation

---

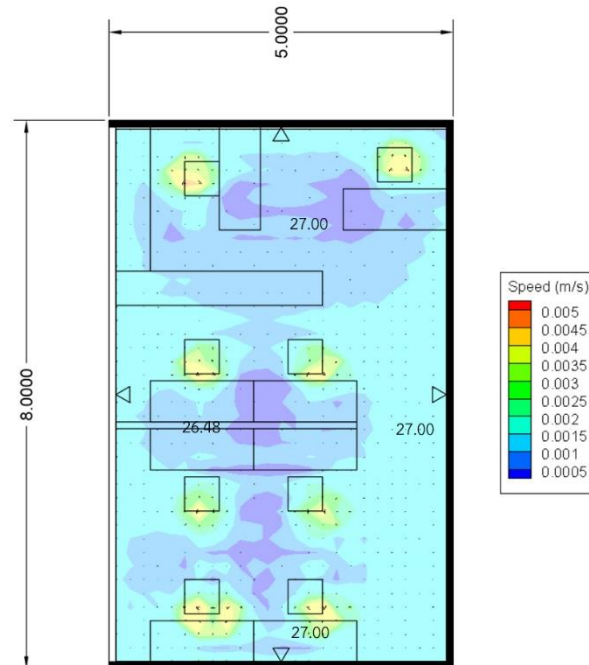


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

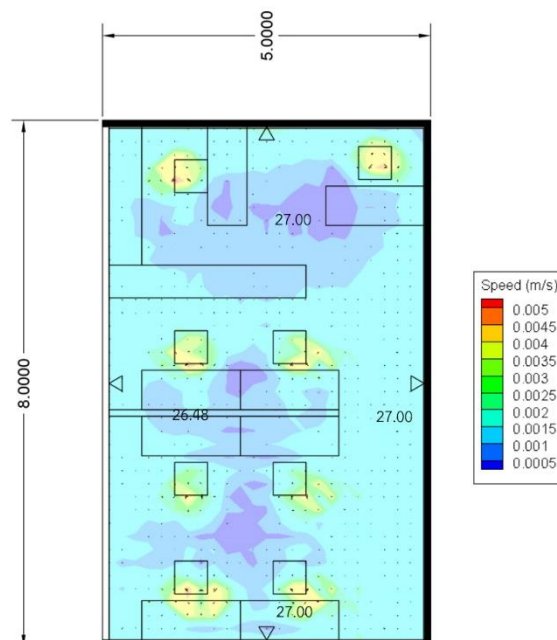
---

ตารางที่ 20 แสดงการจำลองความเร็วลมในผังพื้นที่ในเวลากลางคืน

ความเร็วลม (18.00-6.00 น.)



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ

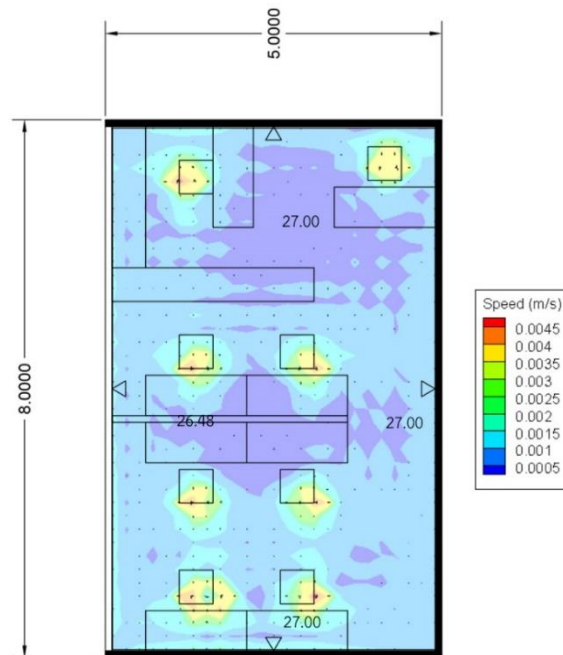


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบาย  
อากาศตามธรรมชาติ

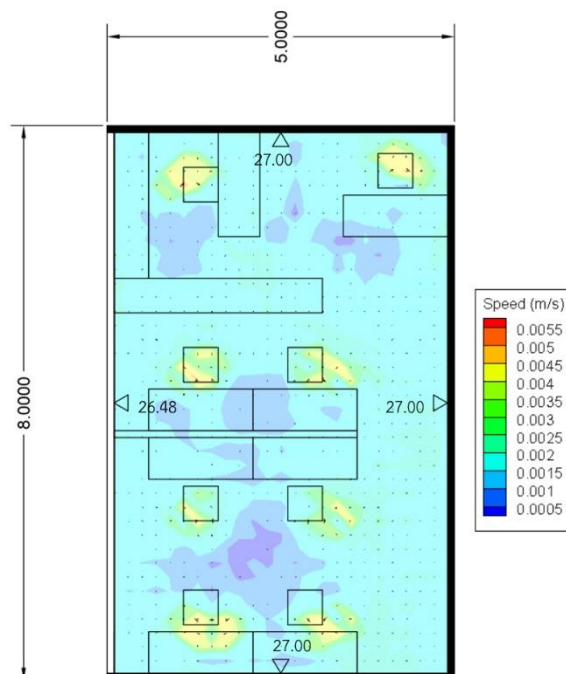
---

ความเร็วลม (18.00-6.00 น.)

---



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation

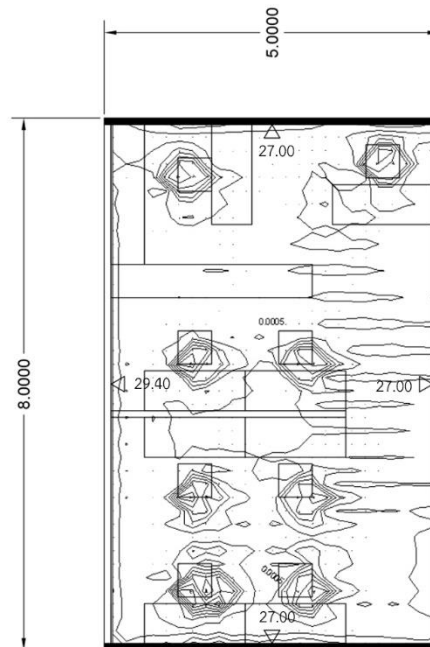


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

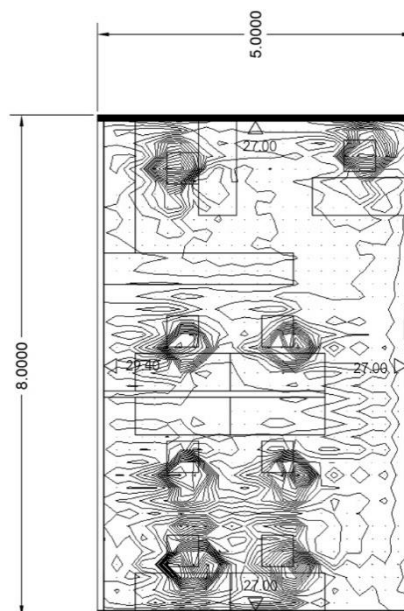
---

ตารางที่ 21 แสดงการไหลเวียนของอากาศในเวลากลางวัน

ความเร็วลม (6.00-18.00 น.)



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ



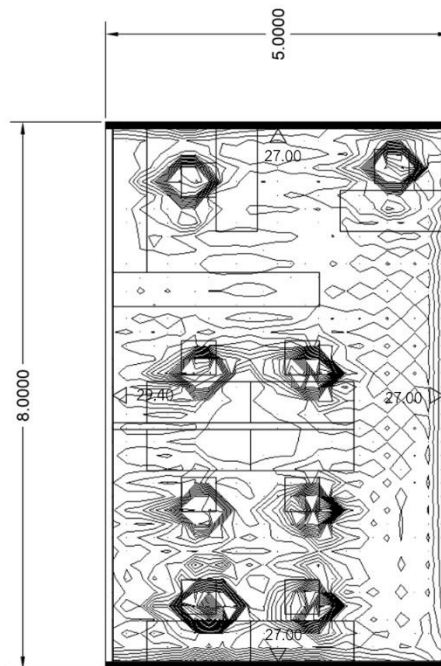
Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบาย  
อากาศตามธรรมชาติ



---

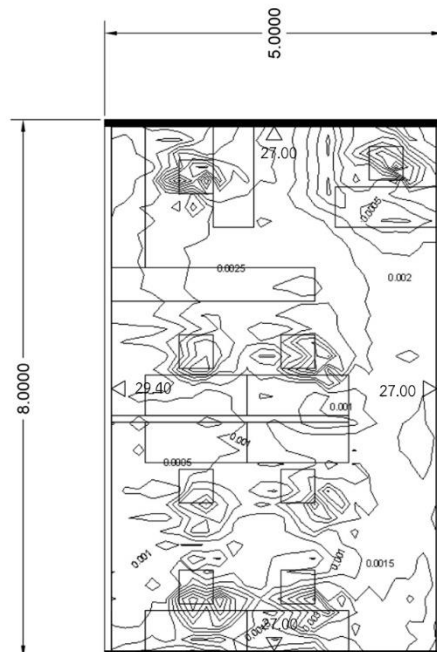
ความเร็วลม (6.00-18.00 น.)

---



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation

---

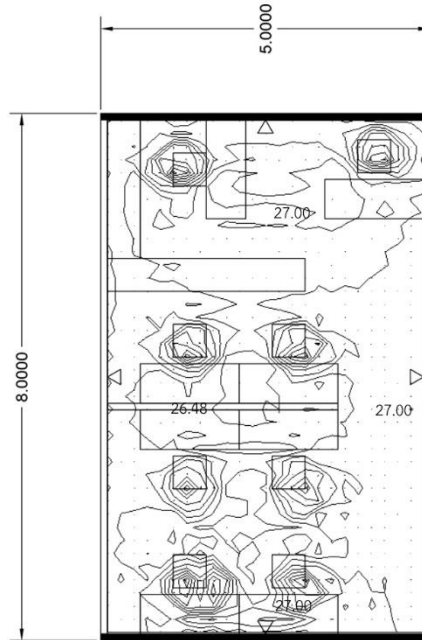


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

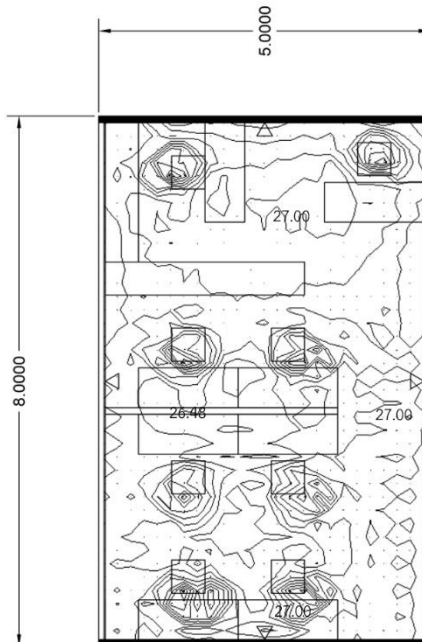
---

ตารางที่ 22 แสดงการไหลเวียนของอากาศในเวลากลางวัน

ความเร็วลม (18.00-6.00 น.)



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ

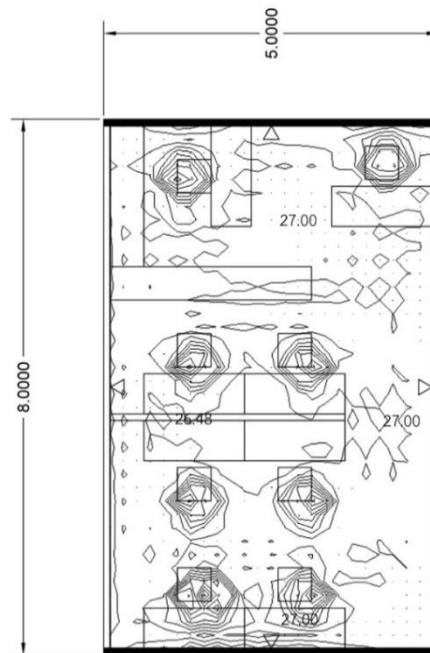


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบาย  
อากาศตามธรรมชาติ

---

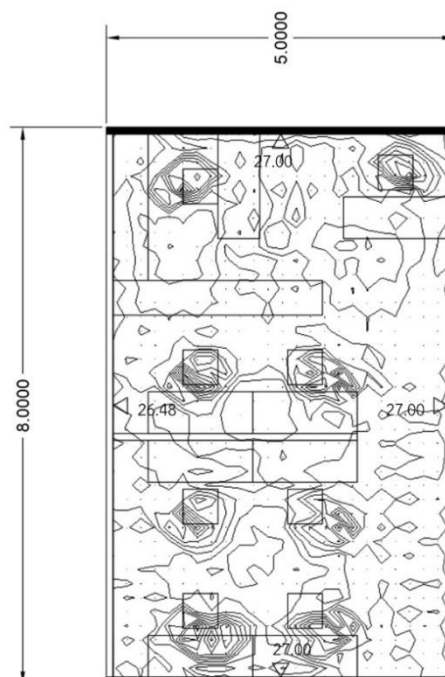
ความเร็วลม (18.00-6.00 น.)

---



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation

---

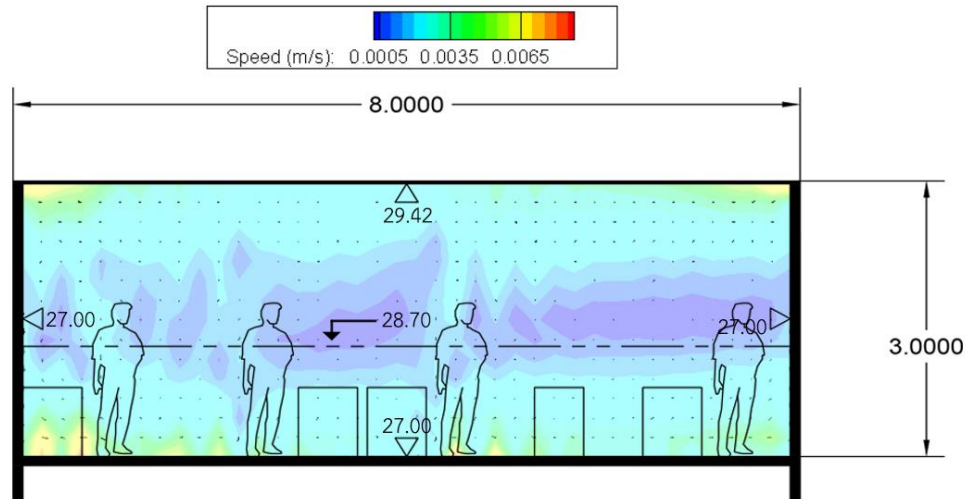


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

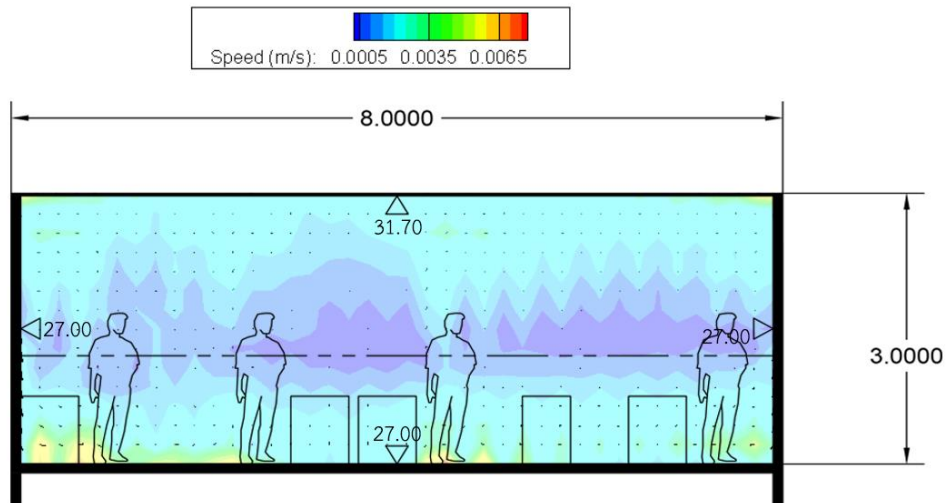
---

ตารางที่ 23 แสดงการไหลเวียนอากาศในรูปตัดในเวลากลางวัน

ความเร็วลม (6.00-18.00 น.)

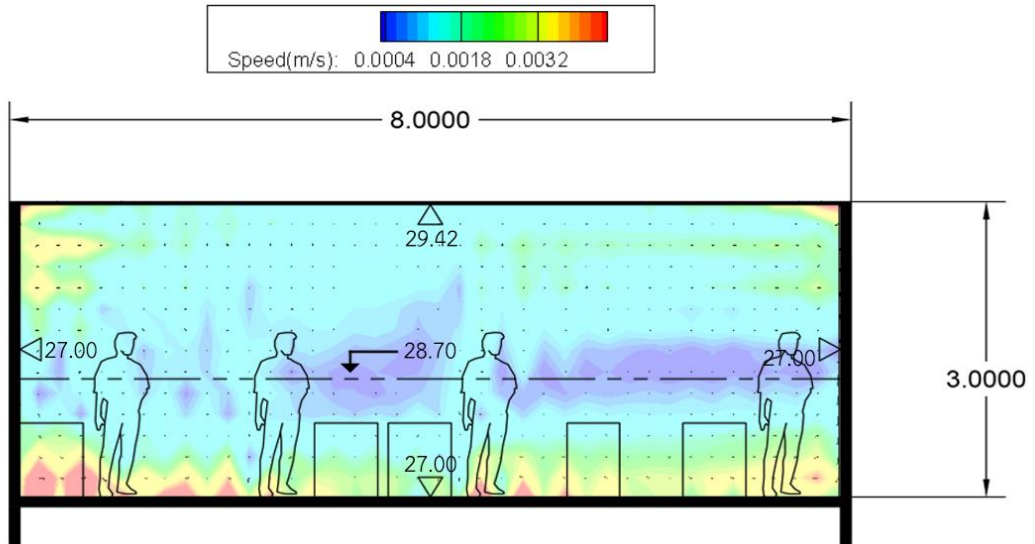


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ประทติ

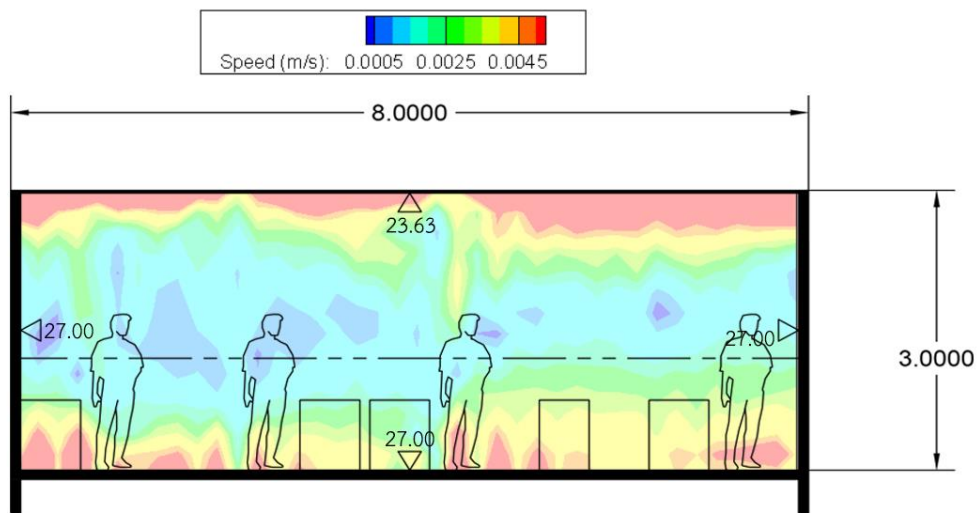


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบายอากาศตามธรรมชาติ

ความเร็วลม (6.00-18.00 น.)



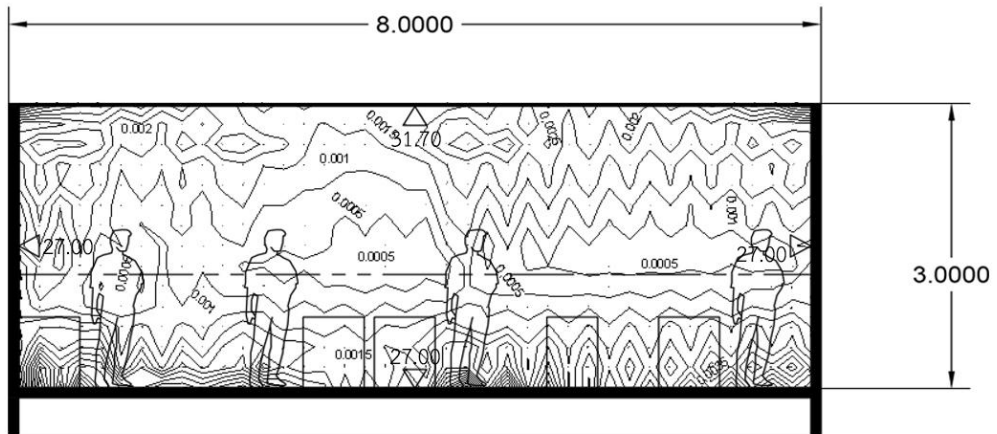
Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation



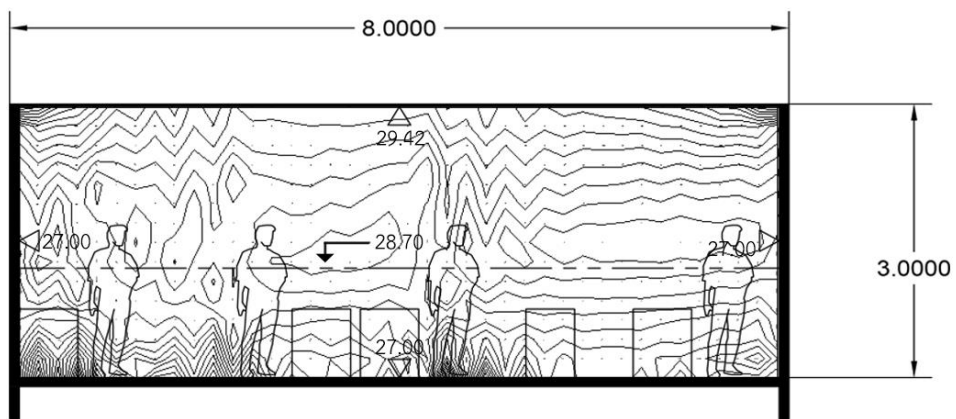
Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

ตารางที่ 24 แสดงการไหลเวียนอากาศในรูปตัดในเวลากลางวัน

ความเร็วลม (18.00-6.00 น.)

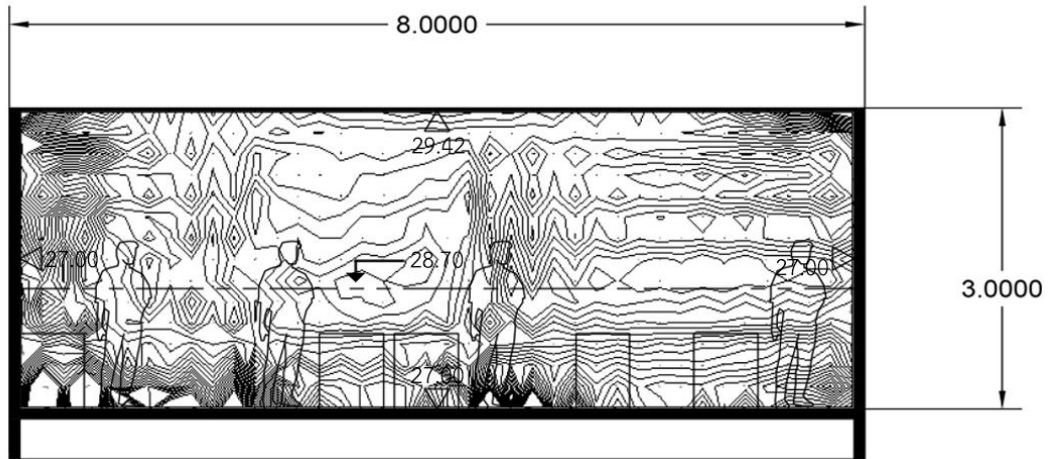


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ปรกติ

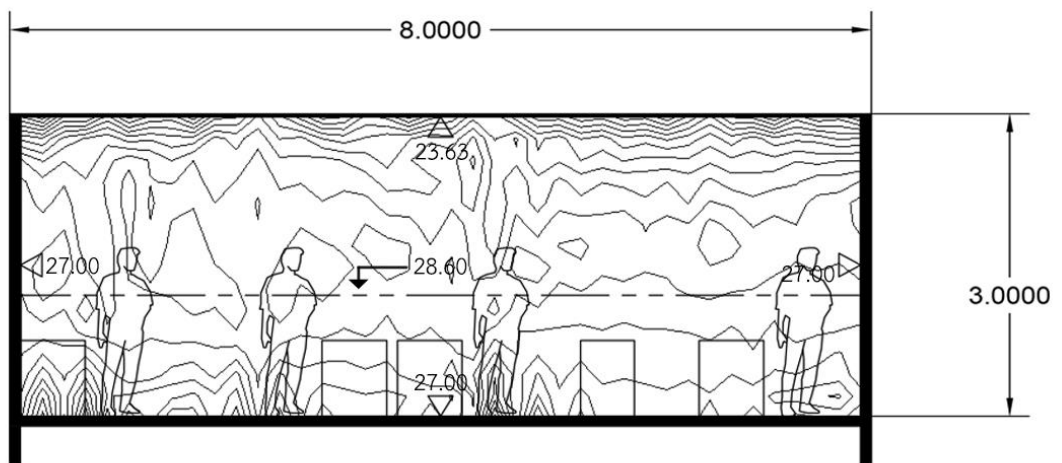


Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับการระบาย  
อากาศตามธรรมชาติ

ความเร็วลม (18.00-6.00 น.)



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Night time radiation



Passive chilled ceiling ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกกับการทำ Heat sink ร่วมกับ Roof pond

จากผลการจำลองพบว่า แม้จะมีการเคลื่อนไหวของอุณหภูมิตามหลักการ Natural convection แต่ความเร็วลมที่ได้ในทุกกรณีจะอยู่ในช่วง 0.001-0.01 m/s ซึ่งถือว่าน้อยมาก ตามตารางที่ 25 คือตารางแสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมกับผลของความรำลึก (Olgay,1969) ความเร็วลมที่เกิดขึ้นแทบจะไม่ส่งผลต่อความรำลึกของผู้อยู่อาศัยภายในห้องได้เลย

ตารางที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมกับผลของความรำลึก

ความเร็วลม (m/s)	ผลของความรำลึกที่ได้
0.00-0.25	ลมสงบ ไม่รำลึกถึงการสัมผัสของลม
0.25-0.50	ไม่มีการรับรู้การสัมผัส แต่รำลึกถึงความสบาย
0.50-1.00	รำลึกสบาย และการสัมผัสของลม
1.00-1.50	รำลึกถึงลมปะทะหน้ารับกวนเล็กน้อย
มากกว่า 1.50	รบกวนการทำงาน

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิและสภาวะน่าสบายของคนไทยตามทฤษฎีของ เดตารี และคณะ (Khedari et al.,2000) พบว่า อุณหภูมิภายในห้องในช่วง 34.00 °C ความเร็วลมเพียงแค่ 0.005-0.065 m/s ไม่เพียงพอต่อสภาวะน่าสบายตามตารางที่ 26

ตารางที่ 26 แสดงความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น กับความรำลึกของอุณหภูมิที่ลดลง

ความเร็วลม (m/s)	ช่วงอุณหภูมิในขอบเขตน่าสบาย (°C)
0.02	27.0-29.5
0.5	28.5-30.8
1.0	29.5-32.5
1.5	31.0-33.8
2.0	31.2-36.0
3.0	31.6-36.3



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับ Thermoelectric cooling และการทำ heat sink พบว่าสิ่งที่น่าจะเป็นปัจจัยหลักในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นของ Thermoelectric ได้แก่ 2 ปัจจัยหลักดังนี้

- คุณสมบัติในการลดการนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็น การทำ Heat sink ที่ดีจะสามารถระบายความร้อนออกจากระบบ TE ได้มากทำให้ TE สามารถทำงานได้นานขึ้น
- Figure of merit คือค่าความดีใน Thermoelectric ที่ยิ่งมาแสดงว่า TE สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อุณหภูมิสูงสุดมากขึ้น ความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนและเย็นมากขึ้น

จากการทดลองเพื่อทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นของ TE ด้วยกล่องทดลองพบว่ายังสามารถนำความร้อนออกจากระบบได้มากเท่าไร ความสามารถในการทำความเย็นก็เพิ่มมากขึ้นเท่านั้น โดยในเริ่มแรกได้ทำการทดลองเพื่อดูผลกระทบจากปัจจัยภายนอกต่อการทำงานของ TE พบว่าการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆสามารถส่งผลกระทบต่อการทำงานของ TE ดังนี้

ตารางที่ 27 แสดงค่า COP ในแต่ละกรณี

Base case	เปิดพัดลมดูดอากาศ	เป่าด้วยพัดลม	เพิ่มแผ่นอลูมิเนียม
-0.02	0.01	-0.80	-2.84

ต่อมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ Thermoelectric จึงนำ heat sink ร่วมกับการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ โดยได้เลือกกระบวนการทั้งหมด 3 อย่างได้แก่ Natural ventilation , Night time radiation, Roof pond จากการทดลองพบว่า Roof pond สามารถทำให้ TE มีประสิทธิภาพในการทำความเย็นในระบบสูงที่สุดดังนี้

ตารางที่ 28 แสดงค่าประสิทธิภาพในการทำงานของ Thermoelectric couple

Base case	Natural ventilation	Night time radiation	Roof pond
-1.66	-1.35	-4.88	0.54

และเมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะหรือ EER สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 29 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะในการทำความเย็นในกรณีต่างๆ

COP	Base case	Natural ventilation	Night time radiation	Roof pond
Min	-0.39	-0.35	-0.94	0.17
Max	1.43	1.50	1.07	2.11
Average	0.79	0.89	0.37	1.47

จากการทดลองด้วยกล่องทดลองพบว่าการทำ Heat sink ที่ดีจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกดีขึ้น โดยที่อุณหภูมิด้านเย็นจะสามารถคงที่ได้นานและความร้อนจากด้านร้อนไม่กระจายมาทางด้านเย็นเพื่อเพิ่มภาระในการทำงาน และพบว่าในรูปแบบการทดลองทั้งหมดการทำความเย็นร่วมกับ heat sink แบบธรรมชาติด้วยวิธีการ Roof pond มีประสิทธิภาพที่สุด ทั้งประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกเอง และการทำความเย็นให้กับกล่องทดลองอีกด้วย ด้วยตัวกลางที่เป็นน้ำซึ่งเป็นตัวกลางดูดซับความร้อนได้ดีที่สุดทำให้ค่าอุณหภูมิคงที่กว่ากรณีอื่นๆ

จากการทดลองข้างต้นจึงนำผลการทดลองมาเพื่อหาความสัมพันธ์ในสมการเชิงเส้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ได้สมการเชิงเส้นในแต่ละกรณีดังนี้

-กรณี Base case ได้สมการเชิงเส้นคือ

$$Y=191.25+0.01*(\text{Solar radiation})-3.99*(\text{Tair})$$

-กรณี Natural ventilation ได้สมการเชิงเส้นคือ

$$Y=216.09+0.02*(\text{Solar radiation})-4.58*(\text{Tair})$$

-กรณี Night time radiation ได้สมการเชิงเส้นคือ

$$Y=208.00+0.02*(\text{Solar radiation})-5.24*(\text{Tair})$$

-กรณี Roof pond ได้สมการเชิงเส้นคือ

$$Y=412.68+0.03*(\text{Solar radiation})-9.73*(\text{Tair})$$

เมื่อทำการจำลองในโปรแกรม VisualDOE 4.1 เพื่อพิจารณาเรื่องประสิทธิภาพในการทำความเย็นและเรื่องการประหยัดพลังงานของการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกควบคู่กับการทำ Heat sink แบบธรรมชาติต่างๆพบว่า ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถทดแทนให้กับความต้องการความเย็นในห้องอาคารสำนักงานขนาด 40 ตารางเมตร สูง 3 เมตรได้ ตามตารางดังนี้ ตารางที่ 30 แสดงพลังงานความเย็นเปรียบเทียบกรณีต่างๆกับความต้องการของอาคาร

ชั่วโมง	Base case (BTU/hr)	Natural ventilation (BTU/hr)	Night time radiation (BTU/hr)	Roof pond (BTU/hr)	พลังงานความเย็น ที่ต้องใช้ (BTU/hr)
1	20,309.25	22,505.99	16,334.39	36,713.39	1,607.05
2	20,309.25	22,505.99	16,334.39	36,713.39	1,433.04
3	20,884.33	23,165.68	17,089.12	38,114.04	1,282.91
4	20,309.25	22,505.99	16,334.39	36,713.39	1,337.50
5	20,309.25	22,505.99	16,334.39	36,713.39	1,241.97
6	20,884.33	23,165.68	17,089.12	38,114.04	1,259.03
7	21,363.56	23,715.43	17,718.07	39,281.26	1,375.04
8	21,032.38	23,364.78	17,286.65	38,453.22	3,197.04
9	21,457.56	24,050.20	17,866.41	39,343.99	7,550.76
10	20,052.79	22,577.84	16,038.09	35,820.65	10,044.93
11	18,128.46	20,520.46	13,529.12	31,023.84	12,317.32
12	16,844.90	19,097.45	11,850.02	27,861.44	13,897.08
13	15,372.97	17,440.07	9,921.68	24,253.61	13,978.96
14	14,927.44	16,954.59	9,339.79	23,149.73	14,733.02
15	14,550.14	16,541.92	8,846.84	22,216.03	14,487.35
16	14,679.99	16,716.53	9,020.07	22,513.48	13,289.74
17	16,030.41	18,324.17	10,798.80	25,759.69	11,986.36
18	17,067.67	19,719.05	12,182.67	28,135.92	9,168.04
19	14,462.62	15,799.11	8,661.27	22,473.35	5,534.26
20	16,571.24	18,217.99	11,428.63	27,609.10	4,217.23
21	17,721.40	19,537.37	12,938.09	30,410.42	3,418.82
22	18,200.63	20,087.12	13,567.04	31,577.64	2,975.26
23	18,200.63	20,087.12	13,567.04	31,577.64	2,501.00
24	18,200.63	20,087.12	13,567.04	31,577.64	2,183.68

จากตารางที่ 30 จะเห็นได้ว่า กรณี Roof pond กรณี Natural ventilation และ กรณี Base case สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอต่อความต้องการของอาคารสำนักงานในขณะที่กรณี Night time radiation ความสามารถในการทำความเย็นจะลดลงในช่วงเวลา 11.00-17.00

เมื่อนำผลการทดลองจากกล่องทดลองที่ได้ไปทำการจำลองเพื่อจำลองการทำความเย็นในอาคารจริงพบว่า ถึงแม้ประสิทธิภาพการทำงานในกล่องทดลองจะต่างกันแตเมื่อนำมาทำความเย็นให้กับอาคารแล้วพบว่ายังไม่มี ความแตกต่างกันมากนัก โดยเฉพาะเรื่องของการไหลเวียนของอุณหภูมิ ตามหลักการ Natural convection ที่อากาศเย็นจะลอยตัวลงต่ำแทนที่อากาศร้อนและดันอากาศร้อนให้สูงขึ้น ซึ่งผลการจำลองอากาศเย็นลอยตัวลงต่ำจริงแต่ความเย็นจะอยู่ใรรี้อยู่แค่ที่พื้นห้องเท่านั้น โดยที่อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้ก็คือ 27.40 องศา และเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยเรื่องความเร็วลมพบว่า เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นระบบที่แทบไม่มีความเร็วลมในระดับที่รบกวนผู้ใช้อาคารเลย แต่เนื่องจาก อุณหภูมิภายในห้องที่ยังสูงอยู่มากนั้นทำให้ความเร็วลมที่นิ่งมากๆเช่นนี้ ไม่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายต่อผู้ใช้อาคารตาม สภาวะความน่าสบายของ ASHRAE และประสิทธิภาพในการทำงานยังไม่เทียบเท่ากับระบบปรับอากาศแบบเครื่องกล แม้ว่าประสิทธิภาพในการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกจะมาก แต่เนื่องจากพลังงานความเย็นที่ผลิตได้และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เป็นอัตราส่วนที่น้อยเหมือนกันทำให้ผลการคำนวณประสิทธิภาพการทำงานสูง ซึ่งในระบบปรับอากาศแบบเครื่องกลที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่ปริมาณพลังงานความเย็นที่สามารถผลิตได้ก็สูงตามพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เพราะฉะนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

## 5.2 เสนอแนะแนวทางในการออกแบบ

การทดลองเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ TE นั้น พบว่า การใช้ Roof pond ร่วมกับการทำ Heat sink สามารถทำให้ TE ทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีอื่นๆโดยมีค่า COP เท่ากับ 0.54 และอุณหภูมิภายในกล่องทดลองลดต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก 3.73 องศาเซลเซียส ในเวลากลางวัน และ 3.70 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน แต่หากจะนำมาใช้กับอาคารจริงแล้วนั้น การที่จะนำระบบ Passive cooled ceiling ที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกในการทำความเย็น อาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านผลกระทบต่างๆมากกว่านี้ เนื่องจากความสามารถในการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกยังไม่เทียบเท่าระบบปรับอากาศเครื่องกล และยังมีปัจจัยในเรื่องความน่าสบายบางข้อที่ยังไม่นำมาพิจารณาในการวิจัยครั้งนี้ เพราะฉะนั้นจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องการทำความเย็นด้วยระบบ Passive cooled ceiling ที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวทำความเย็นต่อไป

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

- การวิจัยนี้เป็นการทดลองในช่วงระยะเวลาที่จำกัด โดยวิจัยในหน้าร้อนเท่านั้น ดังนั้นจึงควรทำการทดลองในช่วงระยะเวลาอื่นๆของปี เพื่อเก็บผลศึกษาเพิ่มเติม
- ควรศึกษาผลกระทบต่อความน่าสบายเพิ่มเติม
- ควรมีการทดลองโดยนำไปทดลองกับอาคารจริงเพื่อศึกษาการไหลเวียนอากาศเพิ่มเติม
- งานวิจัยชิ้นนี้ทำการทดลองกลางแจ้งจึงไม่มีการควบคุมตัวแปรบางอย่างเช่น Solar radiation และอุณหภูมิภายนอกซึ่งเป็นตัวแปรที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลองได้ เพราะฉะนั้นจึงควรมีการศึกษาในห้องวิจัยที่สามารถควบคุมตัวแปรได้ดีกว่านี้



## รายการอ้างอิง

- Arenas Alonso A., Palacios R., Rodriguez-Pecharroman R., & L., P. (2008). *Full-sized phototype of active thermal windows based on thermoelectricity*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid, Spain.
- Bell, L. E. (2008). Cooling, heating, generating power, and recovering waste heat with thermoelectric systems. *Science*, 321(5895), 1457-1461. doi: 10.1126/science.1158899
- Khire, R. A., Messac, A., & Van Dessel, S. (2005). Design of thermoelectric heat pump unit for active building envelope systems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(19-20), 4028-4040. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.04.028
- Liu, Z., Zhang, L., & Gong, G. (2014). Experimental evaluation of a solar thermoelectric cooled ceiling combined with displacement ventilation system. *Energy Conversion and Management*, 87, 559-565. doi: 10.1016/j.enconman.2014.07.051
- Nam, Y. W. (2012). *Thermoelectric materials and devices*. (Bachelor PROJECT REPORT), City university of hong kong, Hong kong.
- Riffat, S. B., & Ma, X. (2004). Improving the coefficient of performance of thermoelectric cooling systems: a review. *International Journal of Energy Research*, 28(9), 753-768. doi: 10.1002/er.991
- Xu, X., Dessel, S. V., & Messac, A. (2007). Study of the performance of thermoelectric modules for use in active building envelopes. *Building and Environment*, 42(3), 1489-1502. doi: 10.1016/j.buildenv.2005.12.021



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว วริษฐา รัศมี เกิดเมื่อวันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษามัธยมจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในสาขาวิชา เทคโนโลยีสถาปัตยกรรม และสิ่งแวดล้อม ในปีการศึกษา 2557

