ประสิทธิภาพของการใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคากระเบื้องลอนคู่ เพื่อการลดอุณหภูมิภายในอาคารพักอาศัย ในประเทศไทย

นายศักดิภัท ทมทิตชงค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานวัตกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตย์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

THERMAL PERFORMANCE OF SOLAR CHIMNEY ON CEMENT ROOF OF RESIDENTIAL BUILDING IN THAILAND

Mr. Sakdiphat Thomthitchong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพของการใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคากระเบื้องลอนคู่เพื่อการลดอุณหภูมิภายในอาคารพักอาศัย ในประเทศไทย
โดย	นายศักดิภัท ทมทิตชงค์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.พงศ์ศักดิ์ วัฒนสินธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ จญาดา บุณยเกียรติ)

ศักดิภัท ทมทิตชงค์ : ประสิทธิภาพของการใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคากระเบื้องลอนคู่เพื่อการลดอุณหภูมิภายในอาคารพักอาศัยในประเทศไทย (THERMAL PERFORMANCE OF SOLAR CHIMNEY ON CEMENT ROOF OF RESIDENTIAL BUILDING IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน, 84หน้า

งานวิจัยชิ้นนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาถึงการประยุกต์ใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคากระเบื้องลอนคู่เพื่อการลดอุณหภูมิภายในอาคารพักอาศัย ในประเทศไทย เพื่อหาแนวทางในการลดอุณหภูมิภายในอาคารพักอาศัย กระบวนการวิจัยเริ่มจากการกำหนดห้องทดลองที่จะทำการทดสอบ โดยสร้างห้องทดลองแบ่งเป็น 3 ห้องคือ ห้องทดลอง Base Case ห้องทดลองที่1 และห้องทดลองที่ 2 ซึ่งมีขนาด กว้าง 1.20เมตร ยาว 2.25เมตร สูง 2.35เมตร และแบ่งรูปแบบปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์เป็น 2 ประเภทคือ ปล่องระบายอากาศรูปแบบสั้นซึ่งมีขนาดกว้าง 0.52เมตร ยาว 1.10เมตร สูง 24 เซนติเมตร และปล่องระบายอากาศรูปแบบยาวมีขนาดกว้าง 0.52เมตร ยาว 1.10เมตร สูง 24 เซนติเมตร ทำการทดลองในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. โดยกำหนดรูปแบบการทดลองเป็น 3 รูปแบบคือ การทดลองที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งกำหนดความลาดชัน 10°, 20° และ 30° ตามลำดับ ในแต่ละรูปแบบการทดลองประกอบด้วยห้องทดลอง 3 ห้องคือ ห้องทดลอง Base Case ไม่ติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ ห้องทดลองที่ 1 และห้องทดลองที่ 2 ติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์รูปแบบสั้น และรูปแบบยาว ตามลำดับ จากนั้นนำค่าอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆของห้องทดลอง มาวิเคราะห์ประมวลผล และเปรียบเทียบผลของแต่ละกรณีด้วยวิธีการหาค่าอุณหภูมิชั่วโมงเฉลี่ยสะสม และการคำนวณทางคณิตศาสตร์

ผลการวิจัยพบว่า ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ที่ความชัน 10°และ 20° สามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่า 2°C ในช่วงเวลา 9.30 น.-16.30 น. และที่ความชัน 30° สามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่า 2°C ในช่วงเวลา 12.30 น.-19.30 น. เมื่อเปรียบเทียบกับห้อง Base Case โดยนำข้อมูลจากการทดลองมาคำนวณด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์พบว่า ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบสั้น ที่ความชัน 10° สามารถระบายอากาศได้สูงสุด 10,702 ลบ.ม./ชม. -12,474 ลบ.ม./ชม. ซึ่งเทียบเท่ากับการเปิดพัดลมระบายอากาศ (ขนาด 26 วัตต์ อัตราการระบายอากาศ 780 ลบ.ม./ชม.)13 ชม./วัน -16 ชม./วัน หรือเท่ากับเสียค่าไฟฟ้า 1,070 บาท/วัน -1,247 บาท/วัน (เมื่อคิดค่าไฟฟ้าแบบ Flat Rate หน่วยละ 3 บาท)

ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต	
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	
ปีการศึกษา	2555		

5473562125 : ARCHITECTURE
KEYWORDS : STACK VENTILATION / SOLAR CHIMNEY / SOLAR COLLECTOR

SAKDIPHAT THOMTHITCHONG : THERMAL PERFORMANCE OF SOLAR CHIMNEY ON CEMENT ROOF OF RESIDENTIAL BUILDING IN THAILAND. ADVISOR : ASSOC. PROF. PHANCHALATH SURIYOTHIN, 83pp.

The purpose of this research is to study on the utilization of solar chimneys on the cement roofing of residential buildings in Thailand for convective heat transfer at the exterior building. Regarding the propose of this research, the process began with the creation of three experimental rooms. Room 1 was prepared to perform the base case experiment. The dimensions of Room were 1.2 meters wide, 2.25 meters long, and 2.35 meters high and the types of solar chimney were classified into two types. Type 1 was a short solar chimney with a size of 0.52 meters wide, 1.10 meters long, and 0.24 meters high. Type 2 was a long solar chimney 0.52 meters wide, 1.10 meters long, and 0.24 meters high. The experiment was performed from 8 am to 8 pm to classify the experiments into three types. Also, the gradient's position was fixed at 10 degrees, 20 degrees and 30 degrees for the following types of experiment. The three experimental rooms were prepared for each experiment. There was no installation of any solar chimney in Room 1 as it was the control. A short solar chimney and another long one were added to Room 2. The temperature results from each position of the rooms were taken for analysis and evaluation of the experiment through the hourly average temperature integration method and mathematics calculation.

The results revealed that setting the pitch of a solar chimney on cement roofing at 10 degrees, 20 degrees and 30 degrees can reduce the heat of the Room 2 by more than 2 degrees when compared with the temperature of Room 1 from 9.30 am to 4.30 pm, 9.30 am to 4 pm and 12.30 pm to 7.30 pm respectively in performing the experiment. However, the data indicated that a short solar chimney with a pitch set at 10 degrees has a maximum capacity for ventilation of 10,702 - 12,474 cubic meters per hour equivalent to opening a ventilator (26 watts ; ventilation rates 780 cubic meter per hour) 13 -16 hours per day, equal to THB 1,070 -1,247 (the cost of electricity per day) at flat rate charges (1 unit costs THB 3)

Department: Architecture Student's Signature ....

Field of Study: Architecture Advisor's Signature ....

Academic Year: 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลือจากท่านรองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน อาจารย์ที่ปรึกษา ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างมาก ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร และ อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ ที่ให้คำแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณ

คุณ ศราวุฒิ ปิ่นทอง กรรมการผู้จัดการ บริษัท ทริซ คอนซัลแท็นท์ จำกัดในการให้ความอนุเคราะห์เรื่องเวลาในการทำงาน

บริษัท สยาม พลาสวูด จำกัด ในการให้ความอนุเคราะห์เรื่องเวลาในการทำงาน

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆร่วมรุ่นสถาปัตยกรรม ที่เป็นกำลังใจให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณบุคคลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องและมีส่วนร่วมในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณ แม่ คุณตา คุณยาย และบุคคลอื่นๆ ในครอบครัวอย่างยิ่งที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา และขอขอบคุณ คุณ ธันยา สืบสมาน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
สารบัญแผนภูมิ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและความเป็นมาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ข้อจำกัดในการวิจัย	2
1.5 นิยามและคำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.7 สมมติฐานการวิจัย	4
1.8 ตัวแปรในการวิจัย	4
1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 อิทธิพลของดวงอาทิตย์	5
2.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร	7
2.3 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน	8
2.4 การระบายอากาศ	11
2.5 การใช้พลังงานในเครื่องปรับอากาศ	17
2.6 บทความทางวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	22
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย	22
3.2 การทดลอง	23
3.3 ตัวแปรในการวิจัย	39
3.4 การเก็บข้อมูล	39
3.5 วิธีการทดลอง	46

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง 47
4.1 การกำหนดช่วงเวลาการเก็บข้อมูล 47
4.2 ผลการวิจัยจากห้องทดลอง 48
4.2.1 การทดลองที่ 1 48
4.2.2 การทดลองที่ 2 51
4.2.2 การทดลองที่ 3 54
บทที่ 5 อภิปรายผล บทสรุป และข้อเสนอแนะ 58
5.1 การอภิปรายช่วงเวลาที่ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิห้องมีความเปลี่ยนแปลง 58
5.2 การอภิปรายประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ 61
5.3 สรุปผลการทดลอง 64
5.4 การออกแบบเพื่อการประยุกต์ใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคาลอนคู่เพื่อการลดอุณหภูมิภายในอาคารพักอาศัย ในประเทศไทย 65
5.5 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ในงานวิจัยต่อไป 66
รายการอ้างอิง 67
ภาคผนวก 70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 83

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 แสดงสภาพสะท้อนความร้อน (Reflectivity) ของวัสดุต่างๆ ที่มีทั้งการทาสีที่ผิววัสดุและที่เป็นผิวธรรมชาติ 9
ตารางที่ 2-2 แสดงค่าสภาพเปล่งรังสีความร้อนของผิววัตถุชนิดต่างๆ 10
ตารางที่ 2-3 แสดงการไหลของอากาศต่อสัดส่วนของช่องเปิด 14

สารบัญภาพ

			หน้า
รูปที่	2-1	แสดงรังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวม	6
รูปที่	2-2	แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัสดุเมื่อได้รับรังสีดวงอาทิตย์	7
รูปที่	2-3	แสดงผลของช่องเปิดกับกระแสลม	12
รูปที่	2-4	แสดงการระบายอากาศทางปล่อง	15
รูปที่	2-5	แสดงการทำปล่องอากาศแสงอาทิตย์	16
รูปที่	2-6	แสดงการเปรียบเทียบการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่กระทบหลังคาที่มีมุมต่างกัน	19
รูปที่	3-1	แสดงสถานที่ตั้งห้องทดลอง	25
รูปที่	3-2	แสดงขั้นตอนการสร้างห้องทดลอง	26
รูปที่	3-3	แสดงแปลนของห้องทดลอง	29
รูปที่	3-4	แสดงรูปด้านของห้องทดลอง	30
รูปที่	3-5	แสดงรูปตัดของห้องทดลอง	31
รูปที่	3-6	แสดงรูปสามมิติของห้องทดลอง	32
รูปที่	3-7	แสดงรูปสามมิติของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์	34
รูปที่	3-8	แสดงปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์รูปแบบที่ 1(แบบสั้น)	35
รูปที่	3-9	แสดงปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์รูปแบบที่ 2(แบบยาว)	36
รูปที่	3-10	แสดงรูปถ่ายปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์	37
รูปที่	3-11	แสดงรูปถ่ายการติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคาห้องทดลอง	38
รูปที่	3-12	แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิ Fluke 63	40
รูปที่	3-13	แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิ Lutron รุ่น BTM-4208SD	41
รูปที่	3-14	แสดงสายโพรบวัดอุณหภูมิ LEGA รุ่น GK-03 Type K	42
รูปที่	3-15	แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล	42
รูปที่	3-16	แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัด	45

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 3 -1 แสดงแผนการดำเนินงาน 22
แผนภูมิที่ 4 -1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 6 และ 14 กุมภาพันธ์ 2556 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึง 24.00 น. 47
แผนภูมิที่ 4 -3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 49
แผนภูมิที่ 4 -4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 49
แผนภูมิที่ 4 -5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 50
แผนภูมิที่ 4 -6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 50
แผนภูมิที่ 4 -7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 22 มีนาคม 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 52
แผนภูมิที่ 4 -8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 23 มีนาคม 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 52
แผนภูมิที่ 4 -9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 24 มีนาคม 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 53
แผนภูมิที่ 4 -10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 25 มีนาคม 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 53
แผนภูมิที่ 4 -11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 10 มีนาคม 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 55
แผนภูมิที่ 4 -12 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 11 มีนาคม 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 55
แผนภูมิที่ 4 -13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 12 มีนาคม 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 56
แผนภูมิที่ 4 -14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในวันที่ 13 มีนาคม 2556 ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น. 56
แผนภูมิที่ 5 -1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศกึ่งกลางห้องทดลองทั้ง 4 วัน ที่ความชัน 10^{o} ช่วงเวลา 8.00 น.ถึง 20.00 น. 58

หน้า

แผนภูมิที่ 5 -2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศกึ่งกลางห้องทดลองทั้ง 4 วัน ที่ความชัน 20º ช่วงเวลา 8.00 น.ถึง 20.00 น. 59
แผนภูมิที่ 5 -3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศกึ่งกลางห้องทดลองทั้ง 4 วัน ที่ความชัน 30º ช่วงเวลา 8.00 น.ถึง 20.00 น. 59
แผนภูมิที่ 5-4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศกึ่งกลางห้องทดลองทั้ง 4 วัน 60
แผนภูมิที่ 5-5 แสดงขั้นตอนการอภิปรายประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์. 61
แผนภูมิที่ 5-6 แสดงค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถประหยัดได้ต่อวันที่ความลาดเอียงหลังคา 10º 62
แผนภูมิที่ 5-7 แสดงค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถประหยัดได้ต่อวันที่ความลาดเอียงหลังคา 20º 62
แผนภูมิที่ 5-8แสดงค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถประหยัดได้ต่อวันที่ความลาดเอียงหลังคา 30º 63
แผนภูมิที่ 5-9แสดงแผนภูมิค่าใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถประหยัดได้ต่อวัน 63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและความเป็นมาของการวิจัย

การลดใช้พลังงานเป็นเพียงส่วนหนึ่ง ในการชะลอการหมดไปของทรัพยากรธรรมชาติ แต่การหันมาใช้พลังงานทดแทน เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงาน และฟื้นฟูธรรมชาติควบคู่กันไป

จากปัญหาโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลกระทบโดยตรงกับประเทศที่อยู่ในแถบเส้นศูนย์สูตรมีสภาพอากาศร้อน ทำให้อาคารต่างๆมีความจำเป็นในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารให้เย็นลง ซึ่งตามทฤษฎีในการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ขั้นตอนที่ต้องใช้พลังงานมากที่สุดคือ ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนระหว่างความร้อน และความเย็น ของสารเคมีที่ถ่ายเทมาจากอุณหภูมิของห้อง ซึ่งถ้าหากสามารถลดความแตกต่างของอุณหภูมิลงได้ หมายถึงการลดภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ หรืออีกนัยหนึ่งคือ การประหยัดพลังงานไฟฟ้านั่นเอง จากแนวคิดดังกล่าวจึงนำไปต่อยอดกับวิธีการลดอุณหภูมิช่องใต้หลังคาภายในอาคารด้วยวิธีธรรมชาติ

หลังคาเป็นส่วนประกอบหลักในงานสถาปัตยกรรม ที่สามารถอธิบายถึงสถานที่ตั้ง และสภาพภูมิอากาศ ของสถาปัตยกรรมเหล่านั้น โดยอธิบายจากลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปทรงหลังคา และวัสดุมุงหลังคา สถาปัตยกรรมในแถบเส้นศูนย์สูตร หลังคาเป็นส่วนประกอบสำคัญในการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งมีการศึกษาและวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การป้องกันการถ่ายเทความร้อน และการระบายความร้อนออกจากหลังคา ด้วยวิธีธรรมชาติ(Passive Cooling) ซึ่งมีหลายรูปแบบแต่จากการศึกษา รูปแบบที่เหมาะสมกับประเทศไทยที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากตลอดทั้งปี คือ การระบายอากาศด้วยปล่องแสงอาทิตย์ (Solar Chimney) ซึ่งมีหลักในการทำงาน โดยการสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างช่องลมเข้า และช่องลมออกด้วยการเหนี่ยวนำของพลังงานความร้อนที่รับจากแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดการไหลของอากาศ นำอากาศร้อนลอยตัวขึ้นสูง และดูดอากาศที่เย็นกว่าเข้ามา เมื่อประยุกต์หลักการดังกล่าวกับการใช้เครื่องปรับอากาศ จึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาถึงรูปแบบ และองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ ที่สามารถประยุกต์ใช้กับหลังคากระเบื้องลอนคู่ของอาคารพักอาศัยเดิม

1.2.2 ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศภายในระหว่างห้องทดลอง Base Case กับห้องทดลองที่มีการติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

1.2.3 เสนอแนะแนวทางในการประยุกต์ใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ ที่ได้จากการวิจัย มาปรับปรุงหลังคาอาคารพักอาศัยเดิม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้จะทำการทดลองในห้องทดลองจริง ซึ่งมีขนาดกว้าง 1.20 เมตร ยาว 2.25 เมตร สูง 2.35 เมตรเท่านั้น

1.3.2 การวิจัยนี้จะทำการทดลองเฉพาะหลังคากระเบื้องลอนคู่(ซีเมนต์)เท่านั้น

1.3.3 การวิจัยนี้จะทำการทดลองในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศเท่านั้น

1.3.4 การวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะการระบายอากาศโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิเท่านั้น

1.3.5 การวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะอุณหภูมิเท่านั้น

1.3.6 การวิจัยนี้ไม่ครอบคลุมกับปัจจัยอื่นๆ ดังนี้

1. สีของวัสดุมุงหลังคา

1.4 ข้อจำกัดในการวิจัย

1.4.1 อาคารพักอาศัยที่มีการต่อเติมใช้ทำห้องทดลอง ตั้งอยู่ที่ จ.นนทบุรี ซึ่งผู้วิจัยสะดวกในการทำการทดลอง

1.4.2 อาคารพักอาศัยที่ต่อเติมเพื่อใช้ในการทดลองมีลักษณะดังนี้

1. วัสดุมุงหลังคาด้วยกระเบื้องลอนคู่ (กระเบื้องซีเมนต์)
2. หลังคาทรงเพิงหมาแหงนลาดชันไปทางทิศใต้
3. หลังคาของอาคารพักอาศัยเดิมมีความชันทำมุม 10° กับแนวระนาบ

1.4.3 ทำการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2556 เท่านั้น รวม 2 เดือน ผลจากการทดลองจึงไม่ครอบคลุมตลอดทั้งปี

1.5 นิยาม และคำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (Solar Chimney) คือ ปล่องที่มีความสามารถเพิ่มการระบายอากาศโดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Stack Effect) ลักษณะการทำงานคล้ายกับระบบ Stack Ventilation แต่เพิ่มส่วนขยายพลังงานจากแสงอาทิตย์ และพื้นที่เก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ทำให้อากาศในปล่องมีอุณหภูมิสูงขึ้น และลอยตัวขึ้นที่สูง (Buoyancy) จึงดึงอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำเข้ามาแทนที่

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) จากสถานที่จริงในเบื้องต้นศึกษาถึงรูปแบบ และระบบการทำงานของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ เพื่อเก็บข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ ที่สามารถประยุกต์ใช้กับหลังคากระเบื้องลอนคู่ ที่มีการติดตั้งกับอาคารพักอาศัยทั่วไป

1.6.1 ศึกษาศักยภาพของแสงอาทิตย์ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในเรื่องทิศทาง ค่าความเข้ม และความสม่ำเสมอ ของแสงอาทิตย์เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

1.6.2 ศึกษารายละเอียดของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

1. ศึกษารูปแบบและหลักการในการทำงาน
2. รวบรวมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

1.6.3 เลือกสถานที่ตั้งของห้องทดลอง ที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล

1.6.4 ออกแบบและทำการทดลองปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ในสถานที่จริง

1.6.5 ประเมินผลการทดลองโดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบสัดส่วนของ อุณหภูมิองศาเซลเซียสเฉลี่ยสะสมทุกๆ 30 นาที ภายในห้องทดลอง Base Case ห้องทดลองที่ 1 และห้องทดลองที่ 2 โดยทำการทดลองชุดละ 6 วัน รวมทั้งสิ้น 18วัน

1.6.6 เปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ กับค่าไฟฟ้าในการเปิดเครื่องระบายอากาศ

1.6.7 สรุปประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับอาคารพักอาศัยทั่วไป และเสนอแนะแนวทางแก่ผู้ที่จะทำวิจัยต่อยอดในเรื่องปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ต่อไป

1.7 สมมติฐานของการวิจัย

ห้องทดลองที่มีการติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ จะช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องทดลองได้มากกว่า ห้องทดลองที่ไม่ได้ติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

1.8 ตัวแปรในการวิจัย

1.8.1 ตัวแปรต้น ในการวิจัยมีดังนี้

1. รูปแบบปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์
2. ความชันของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

1.8.2 ตัวแปรตาม ในการวิจัยมีดังนี้

1. อุณหภูมิภายในห้องทดลอง

1.8.3 ตัวแปรควบคุม ในการวิจัยมีดังนี้

1. รูปแบบห้องทดลอง
2. ช่องอากาศเข้า

1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.10.1 เพื่อทราบถึงรูปแบบและองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ ที่ประยุกต์ใช้กับหลังคากระเบื้องลอนคู่ ของอาคารพักอาศัยเดิม

1.10.2 เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของกล่องทดลอง โดยการใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้กับหลังคากระเบื้องลอนคู่

1.10.3 เพื่อนำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ ที่ได้จากการวิจัยมาประยุกต์ใช้กับหลังคาอาคารพักอาศัยเดิม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการประยุกต์ใช้ปล่องระบายแสงอาทิตย์ กับหลังคากระเบื้องลอนคู่ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 อิทธิพลของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลกเราเป็นระยะทางประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร[1] แต่สามารถส่งพลังงานมายังเปลือกโลกได้ โดยมีค่าพลังงานเฉลี่ย 1.94 แคลอรี่/ตารางเซนติเมตร/นาทีหรือเท่ากับ 420 บีทียู/ตารางฟุต/ชั่วโมง ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามการปัจจัยต่างๆ[2] เช่น ระยะทางของความใกล้ไกลจากผิวโลกถึงดวงอาทิตย์ สภาพความแจ่มใสของท้องฟ้า มุมของแสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังผิวโลก ระยะเวลาที่แสงแดดตกลงสู่ผิวโลก และกำลังของพลังงานของดวงอาทิตย์ที่ส่งลงมา

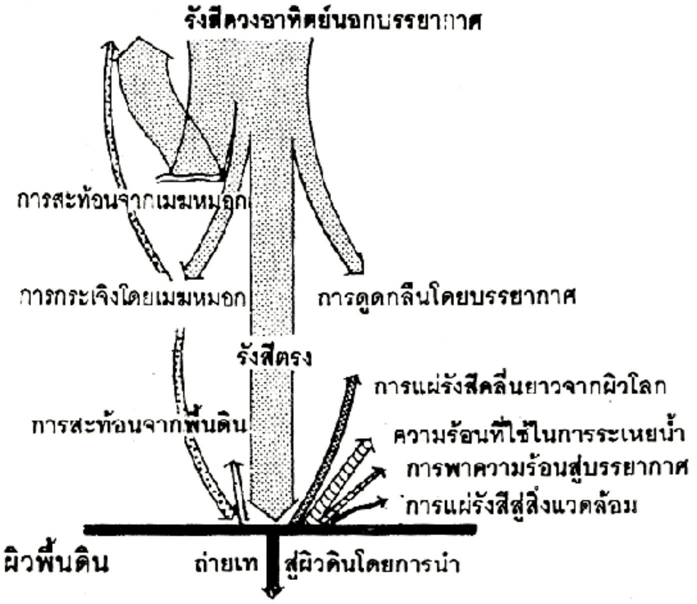
การแผ่รังสี (Radiator) ของดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมายังโลก สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้[3] รังสีตรง (Direct Radiation) เป็นรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) ที่มีคลื่นสั้น และมีช่วงความยาวคลื่นประมาณ 0.3 - 4 ไมครอน (Micron) สามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศของโลกมายังเปลือกโลกโดยตรง รังสีประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็น แสงสว่าง รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้น ที่ถูกกระเจิง (Scatter) โดยโมเลกุลที่ตกกระทบเช่น อากาศ ไอน้ำ และฝุ่นละอองในบรรยากาศ ซึ่งทิศทางการกระจายจะไม่แน่นอน รังสีตรง และรังสีกระจายเรียกรวมกันว่า รังสีรวม (Global Radiation) เมื่อรังสีตกกระทบวัตถุต่างๆ จะทำให้วัตถุเกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้น

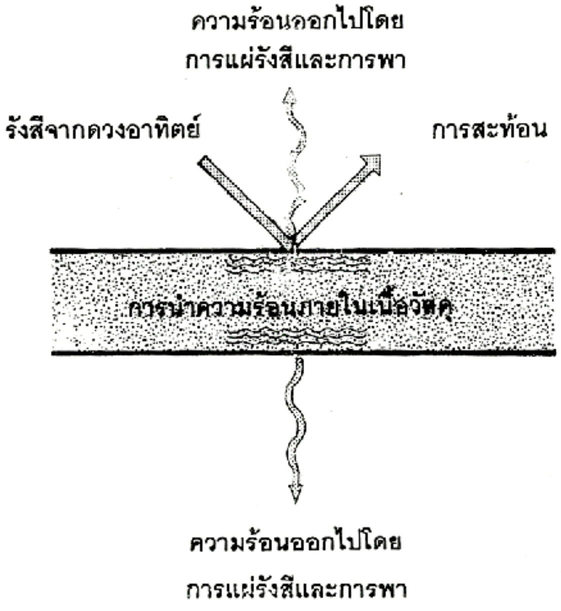
---

[1] Olgyay, V., "Design with Climate," United States: Princeton University Press (1967) : 32.

[2] Critchfield, H. J., "General Climatology," New Delhi: Prentice Hall of India Private Limited, Third Edition (1979) :16.

[3] ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน, (กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2539), หน้า 29.


รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศ
การสะท้อนจากเมฆหมอก
การกระเจิงโดยเมฆหมอก
การดูดกลืนโดยบรรยากาศ
รังสีตรง
การแผ่รังสีคลื่นยาวจากผิวโลก
การสะท้อนจากพื้นดิน
ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ
การพาความร้อนสู่บรรยากาศ
การแผ่รังสีสู่สิ่งแวดล้อม
ผิวพื้นดิน
ถ่ายเท
สู่ผิวดินโดยการนำ


ความร้อนออกไปโดย
การแผ่รังสีและการพา
รังสีจากดวงอาทิตย์
การสะท้อน
การนำความร้อนภายในเนื้อวัตถุ
ความร้อนออกไปโดย
การแผ่รังสีและการพา

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน ที่เข้าสู่อาคารสามารถหาได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้ (ที่มา ASHRAE, (1989))

$$Q = U \times A \times \triangle T$$

$$Q = U \times A \times CLTD$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Btu/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Btu/h.ft^2)

A = พื้นที่ที่ความร้อนถ่ายเทผ่านวัสดุของผนัง (ft^2)

$\triangle$T = ค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน (^{o}F)

CLTD = ค่าความแตกต่างภาระทำความเย็นเทียบเท่า (Cooling load temperature difference (^{o}F))

การเลือกใช้สมการ โดยพิจาณาจากอิทธิพลของแสงอาทิตย์ โดยถ้าไม่มีอิทธิพลของแสงอาทิตย์ที่เข้ามาเกี่ยวข้องจะใช้สมการแรก (Q = U x A x $\triangle$T) แต่ถ้ามีอิทธิพลของแสงอาทิตย์ที่เข้ามาเกี่ยวข้องจะใช้สมการที่สอง (Q = U x A x CLTD)

2.3 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน

1. การดูดกลืนรังสีความร้อน (Absorptivity)

   การดูดกลืนรังสีของวัสดุ[1] ขึ้นกับคุณสมบัติของผิววัสดุในการดูดกลืนรังสี ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 วัตถุที่ดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบได้ทั้งหมดจะมีสภาพค่าเท่ากับ 1 ซึ่งวัสดุทั่วไปจะไม่สามารถดูดกลืนรังสีได้ทั้งหมด ถ้าวัสดุมีการดูดกลืนความร้อนได้ดีก็จะแผ่รังสีความร้อนได้ดีด้วย

2. การสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity)

   การสะท้อนรังสีความร้อนของวัสดุ ถ้าวัสดุมีค่าการดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีจะมี

---

[1] ตรีงใจ บูรณสมภพ, <u>การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน</u>, หน้า 32-33.

ค่าการสะท้อนรังสีความร้อนที่ต่ำ ซึ่งค่าการสะท้อนรังสีความร้อน ยังขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัสดุ ถ้าพื้นผิว[1]เรียบจะมีความสามารถในการสะท้อนได้ดี และวัสดุ[2]ที่เป็นสีอ่อนจะสะท้อนได้ดีกว่าวัสดุสีเข้ม

ตารางที่ 2-1 แสดงสภาพสะท้อนความร้อน (Reflectivity) ของวัสดุต่างๆ ที่มีทั้งการทาสีที่ผิววัสดุ และที่เป็นผิวธรรมชาติ (ที่มา: ตรึงใจ บูรณสมภพ: (2539))

สี (Color)	**การสะท้อน** (% Total Incident Heat Reflected)
ขาว	75
ครีม	65
เขียวอ่อน	50
แดง	26
เทา	25
ดำ	7

3. การคายรังสีความร้อน (Emissivity)

การคายรังสีความร้อนของวัสดุ ถ้าวัสดุมีค่าการคายรังสีความร้อนต่ำ ความร้อนที่สามารถถ่ายเทออกไปจะถ่ายเทได้น้อยลงไปด้วย ในส่วนของสภาพพื้นผิวของวัสดุ วัสดุที่พื้นผิว[3]เรียบจะคายรังสีได้น้อยกว่าผิวหยาบ

---

[1] ธนิต จินดาวณิค, <u>สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี</u>, (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540),หน้า 69.

[2] ตรึงใจ บูรณสมภพ, <u>การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน</u>, หน้า 38.

[3] ธนิต จินดาวณิค, <u>สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี</u>, (กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540),หน้า 70.

ตารางที่ 2-2 แสดงค่าสภาพเปล่งรังสีความร้อนของผิววัตถุชนิดต่างๆ (ที่มา: ตรึงใจ บูรณสมภพ: 2539)

ผิววัสดุ	เปอร์เซ็นต์การเปล่งรังสีความร้อน
เงินขัดมัน	2
ทองขาวขัดมัน	5
สังกะสีขัดมัน	5
อลูมิเนียมขัดมัน	8
นิคเกิลขัด	12
ทองแดงขัด	15
เหล็กหล่อขัด	25
อลูมิเนียมทาสี	55
ทองเหลืองขัด	60
ทองแดงอ๊อกซิไดซ์	60
เหล็กอ๊อกซิไดซ์	70
บรอนซ์ทาสี	80
สีเคลือบดำมันวาว	90
แลคเกอร์ขาว	95
ผิวเคลือบแก้วใส	95
กระเบื้องกระดาษ	95
สีทา เขียว	95
สีทา เทา	95
น้ำ	95
อิฐ (ผิวหยาบ)	93
อิฐ (เนื้อแน่น)	90
กระเบื้องเคลือบ	92
ไม้	95
หินปูน	95
แอสเบสทอสซีเมนต์	95
แผ่นอลูมิเนียม	12
กระดาษฉาบอลูมิเนียม	20
เหล็กเคลือบสังกะสี	25

4. การหน่วงความร้อน (Time lag)

ค่าการหน่วงของเวลาขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ โดยวัสดุ[1]ที่มีความหนาแน่น และน้ำหนักมาก จะสามารถหน่วงความร้อนได้ดีกว่าวัสดุที่ความหนาแน่น และน้ำหนักน้อย ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละวัสดุ

5. ความจุความร้อน (Thermal heat capacity)

วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูง จะสามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้มากเนื่องจากพลังงานความร้อนที่ไหลผ่านเนื้อของวัสดุสามารถเดินทางได้ช้า จากการวิจัยพบว่าวัสดุต่างชนิดที่มีสี และผิวภายนอกเหมือนกัน แต่มีค่าความจุความร้อนต่างกัน วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนที่น้อยกว่าจะมีอุณหภูมิผิวจะเปลี่ยนแปลงไวกว่าวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูง

2.4 **การระบายอากาศ** (Ventilation)

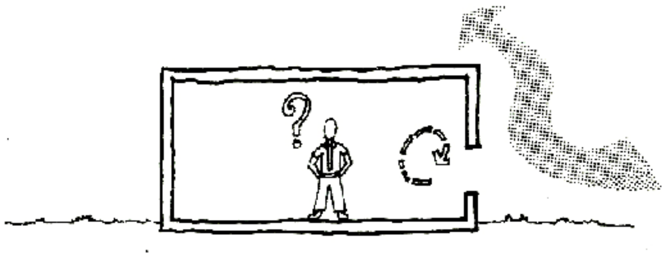
การระบายอากาศ คือ การทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ โดยให้อากาศที่มีอยู่ภายในห้องเคลื่อนที่ออกไป และนำอากาศใหม่เข้ามาแทน ซึ่งเป็นการลดความร้อนและความชื้น การออกแบบช่องเปิดที่เหมาะสม จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มการระบายอากาศ การเกิดกระแสลม และการเคลื่อนไหวของอากาศโดยทั่วไปเกิดจาก 2 ปัจจัย คือ ความแตกต่างของความกดอากาศ และความแตกต่างของอุณหภูมิ

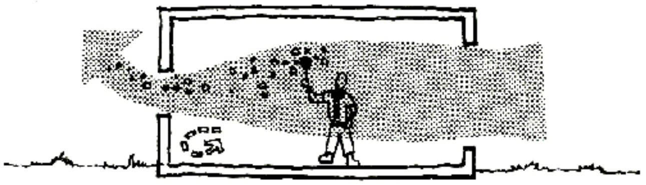
การออกแบบช่องเปิดภายในอาคาร ต้องประกอบไปด้วยช่องทางอากาศเข้า และช่องทางออกกาศออก การเปิดช่องทางอากาศเข้าอย่างเดียว ทำให้ด้านตรงข้ามเป็นเหมือนฉากบังลม และเกิดความกดดันอากาศสูงบริเวณใกล้ผนัง จึงเกิดการไหลเวียนอากาศไม่ดีเท่าที่ควร การระบายอากาศที่ดีที่สุด คือการวางช่องทางเข้า และออกของอากาศ ให้ตรงกัน และมีขนาดเท่ากัน [2]

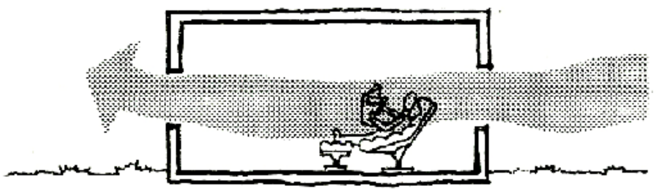
---

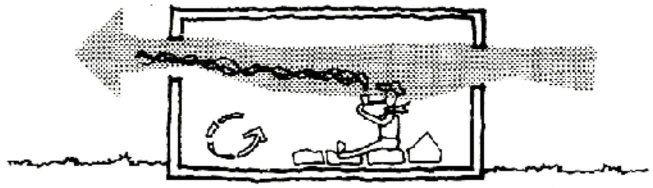
[1] ตรึงใจ บูรณสมภพ, <u>การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน</u>, หน้า 39.

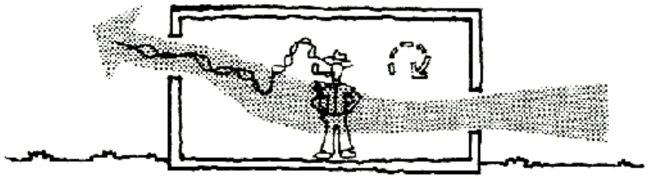
[2] เรื่องเดียวกัน, หน้า 68.











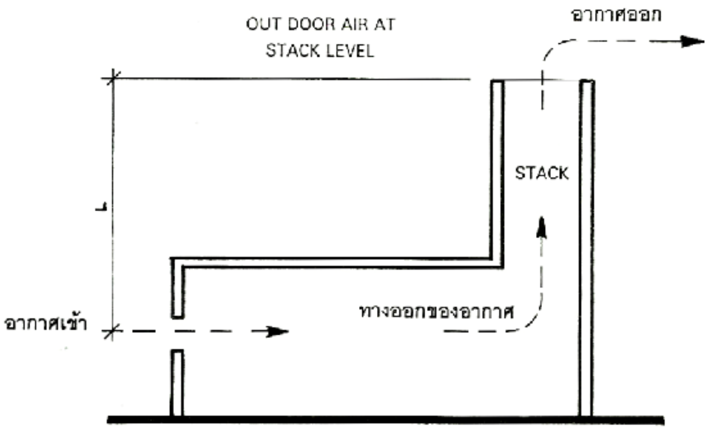
ตารางที่ 2-3 แสดงการไหลของอากาศต่อสัดส่วนของช่องเปิด (ที่มา Watson, D (1983))

Ratio of outlet to inlet		Increase in Percent
1:1	1:1	0
1:1.5	1.5:1	17.5
1:2	2:1	26
1:2.5	2.5:1	36
1:3	3:1	34
1:3.5	3.5:1	36
1:4	4:1	37
1:6	6:1	38

2.4.1 การระบายอากาศทางปล่อง (Stack Ventilation)

การระบายอากาศทางปล่อง[1] เป็นการระบายอากาศที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศ ซึ่งระบบนี้ช่วยทำให้เกิดการถ่ายเทของอากาศในสถานที่ ที่มีพื้นที่จำกัด ไม่สามารถเปิดช่องเปิดได้ หรือในสถานที่ ที่มีฝุ่นละอองในอากาศมาก ทำให้ช่องเปิดขนาดเล็กเพียงพอต่อการระบายอากาศภายในห้อง ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบนี้คือ ช่องทางอากาศเข้า บริเวณที่ทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ช่องทางอากาศออกซึ่งอยู่ในที่สูง เมื่ออากาศภายนอกไหลเข้าสู่ภายในอาคาร ผ่านบริเวณที่ทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นความร้อนจะทำให้อากาศมีความหนาแน่นต่ำ ลอยตัวสูงขึ้น และออกไปทางปล่อง อากาศที่มีความหนาแน่นมากกว่า จะไหลเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการระบายอากาศความสูงของปล่องควรอยู่ในระดับสูงกว่าสิ่งก่อสร้าง เพื่อพ้นจากบริเวณที่มีความกดอากาศสูง

[1] ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน, หน้า 77.


OUT DOOR AIR AT
STACK LEVEL
อากาศออก
STACK
L
อากาศเข้า
ทางออกของอากาศ

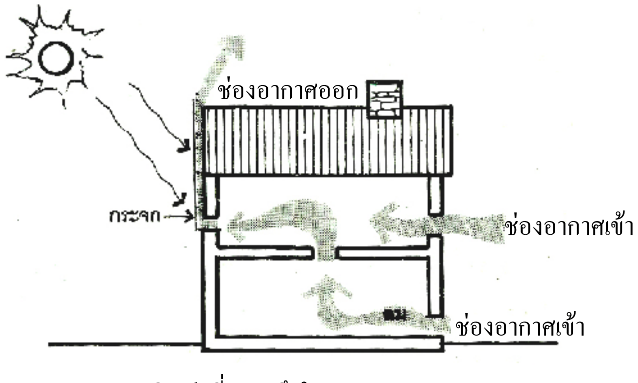
|2(g

$Ti \quad To$

หมายเหตุ : สูตรการคำนวณอัตราการระบายอากาศดังกล่าว ใช้ในกรณีอุณหภูมิภายในอาคารที่ความสูง Hnpl *มากกว่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร แต่ถ้าหากว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารที่ความสูง* Hnpl มีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารให้เปลี่ยน $\frac{(Ti-To)}{Ti}$ เป็น $\frac{(T0-Ti)}{Ti}$

2.4.2 การระบายอากาศโดยระบบปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (Solar Chimney)

การระบายอากาศโดยระบบปล่องลมแดด[1] เป็นการระบายอากาศที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศ มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับการระบายอากาศทางปล่อง แต่ใช้กระจกเป็นผนังด้านนอก เพื่อเปลี่ยนรังสีคลื่นสั้นให้กลายเป็นคลื่นยาว ซึ่งเรียกว่า พื้นที่เก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Collector) เมื่อกระจกโดนแดดจะทำให้อากาศในช่องกระจกร้อนขึ้น ลอยตัวขึ้น และไหลออกไปทางช่องอากาศออกด้านบน จากนั้นดึงอากาศที่เย็นกว่า จากช่องอากาศเข้าภายนอกมาแทนที่



รูปที่ 2-5 แสดงการทำปล่องอากาศแสงอาทิตย์ (ที่มา: ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539: 117)

[1] ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน, หน้า 117.

2.5 มูลค่าการใช้พลังงาน

การคิดอัตราค่าไฟฟ้า โดยคิดได้จากการคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{พลังงานไฟฟ้า}\ (\text{หน่วยหรือยูนิต}) = \left(\frac{\text{กำลังไฟฟ้า}(\text{วัตต์})}{1000}\right) \text{x ชั่วโมงการใช้งาน x จำนวนวันใช้งาน}$$

(ที่มา วารสารภายใน การไฟฟ้านครหลวง, (2541))

อัตราค่าไฟฟ้า (Flat Rate) คิดในราคา 3.0 บาทต่อ 1 หน่วย (1หน่วย = KW.hr หรือ 3,412 BTU.hr)

2.6 บทความทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของทิศทางและ สถานที่ตั้งของอาคาร

จากการวิจัย[1] ในช่วงเวลา 6.00 น.ถึง 12.00 น. หลังคาของอาคารที่หันรับแสงอาทิตย์ทางด้านทิศตะวันออกจะมีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผิวหลังคาสูงกว่าหลังคาของอาคารที่หันรับแสงอาทิตย์ทางด้านทิศทางอื่น และในช่วงเวลา 13.00 น.ถึง 18.00 น. หลังคาของอาคารที่หันรับแสงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้[2]และทิศตะวันตก จะมีอุณหภูมิที่ผิววัสดุผิวหลังคา มากกว่าหลังคาของอาคารที่หันรับแสงอาทิตย์ทางด้านทิศทางอื่น

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของรูปทรงหลังคา

---

[1] พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า, "การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อน," (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539). หน้า 103-104.

[2] Jyotirmay, M.; Sanjay, M. and Anupma., "Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation," Energy and Buildings 38, (2006): 1156-1163.

จากงานวิจัย[1] พบว่าหลังคาที่มีความชันน้อยจะรับแดดมากกว่าหลังคาที่มีความมาก เนื่องจากปริมาตรของช่องใต้หลังคาที่เพิ่มขึ้นตามความชันของหลังคา ซึ่งมีความเห็นตรงกับงานวิจัย[2] ที่พบว่า ในช่วงเวลากลางวันหลังคาที่มีความชัน 60° มีพื้นที่ผิวหลังคามากที่สุด แต่การแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ น้อยกว่าหลังคาที่มีความชัน 45° และ30° ตามลำดับ เป็นผลให้การแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ต่อตารางเมตรน้อยกว่า ประกอบกับการแผ่รังสีความร้อนของผิวหลังคาภายในสู่พื้นที่ใช้งานมีมุมน้อยกว่า ส่งผลให้อิทธิพลความร้อนจากหลังคา 60° น้อยกว่ามุมชันอื่นๆ ซึ่งมีความเห็นตรงกับงานวิจัย[3]ที่พบว่า ช่องใต้หลังคา[4]ที่มีความสูงมากจะทำให้มีความร้อนสะสมน้อยกว่าช่องใต้หลังคาที่มีความสูงน้อย

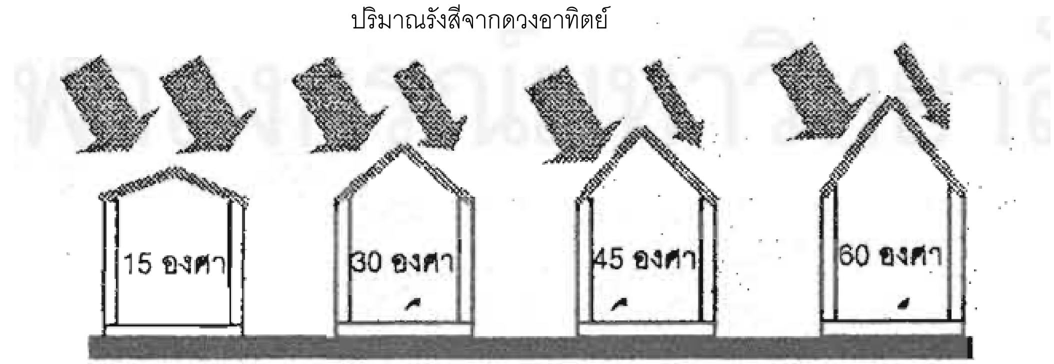
---

[1] Sakonidou, E. P.; Karapantsios, T. D.; Balouktsis, A. I. and Chassapis, D., "Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow" Solar Energy 82.(2008): 80-94.

[2] พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า, "การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อน," หน้า 103.

[3] Wardah, F. M. Y.; Elias, S., Nor, M. A.; Abdul, R. S. and Mohamad Y. S., "Enhancement of stack ventilation in hot and humid climate using a combination of roof solar collector and vertical stack" Building and Environment 45. (2010): 2296-2308.

[4] Wilkes, E. K. and Rucker I. J., "Thermal performance of residential Attic Insulation" Energy and Buildings 5. (1983): 263-277.



รูปที่ 2-6 แสดงการเปรียบเทียบการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่กระทบหลังคาที่มีมุมต่างกัน
(ที่มา: พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า, 2545: 103)

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของวัสดุหลังคา

จากงานวิจัย พบว่าวัสดุหลังคา[1] พบว่า วัสดุที่มีคุณสมบัติการสะท้อนความร้อนมาก และเก็บสะสมความร้อนน้อย จะมีอุณหภูมิภายในช่องหลังคาต่ำกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ และยังพบ[2] ว่า หลังคากระเบื้องลอนคู่ (หลังคาซีเมนต์) เป็นวัสดุหลังคาที่มีความนิยมใช้ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เนื่องจากเป็นวัสดุหลังคาที่มีราคาถูก และมีคุณสมบัติที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้อยู่อาศัยที่มีรายได้ปานกลางไปจนถึงรายได้ต่ำ

2.6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศโดยระบบระบายอากาศแสงอาทิตย์

จากงานวิจัยหลายฉบับ ที่สนับสนุนว่า ปล่องอากาศแสงอาทิตย์[3]สามารถทำให้เกิดการระบายอากาศ ลดอุณหภูมิภายในช่องใต้หลังคา และเพิ่ม[1]ประสิทธิภาพในการไหลเวียนของ

---

[1]Ong, K. S., "Temperature reduction in attic and ceiling Via insulation of several passive roof designs" Energy Conversion and Management 52. (2011): 2405–2411.

[2] Kai L. Uemoto , Neide M.N. Sato b, Vanderley M. John a., "Estimating thermal performance of cool colored paints." Energy and Buildings 42. (2010): 17–22.

[3] Rakesh Khanal, Chengwang Lei., "Solar chimney - A passive strategy for natural ventilation." Energy and Buildings 43. (2011) : 1811-1819.

อากาศในระบบปล่องระบายอากาศ โดยหลักการดังกล่าวประกอบด้วยหลายปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของอากาศ เช่น วัสดุหลังคาที่สามารถนำความร้อนได้ดีเป็นประเภทโลหะ รูปแบบของช่องอากาศเข้าและช่องอากาศออก [2]ที่มีขนาดเท่ากัน ซึ่งจะทำให้อากาศไหลได้ดีที่สุด จากงานวิจัย[3]โดยการสร้างแบบจำลองพบว่า ถ้าปล่องแสงอาทิตย์ ขนาด 2.25 ตารางเมตร ได้รับแสงอาทิตย์ที่มีค่าพลังงานในช่วง 200 ถึง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร จะทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศ 140 ถึง 330 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องการระบายอากาศด้วยปล่องแสงอาทิตย์ พบว่า การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติสามารถเพิ่มการระบายอากาศ ซึ่งการระบายอากาศด้วยปล่องแสงอาทิตย์เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการพา ซึ่งมีตัวกลางในการพาคือ อากาศ และใช้หลักแรงลอยตัว (Buoyancy force) ซึ่งเรียกรวมกันว่า การระบายอากาศโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ (Stack ventilation) โดยจากการศึกษาการวิจัยในเรื่อง อิทธิพลและสถานที่ตั้งของอาคารพบว่า ในแสงอาทิตย์ประเทศไทย ทำให้หลังคาที่หันรับแดดทางด้านทิศใต้มีอุณหภูมิสูงกว่าหลังคาที่หันรับแดดในทิศอื่นๆโดยจากการศึกษาการวิจัยในเรื่อง อิทธิพลของรูปแบบหลังคา พบว่า ความชันของหลังคาที่เหมาะสมในการระบายอากาศด้วยปล่องแสงอาทิตย์ อยู่ระหว่าง 10^{o} ถึง 30^{o} จากแนวระนาบโดยจากการศึกษาการวิจัยในเรื่องอิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน พบว่า วัสดุประเภทโลหะมีความเหมาะสมในการนำมาสร้างปล่องแสงอาทิตย์ ด้วยคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ดีโดยจากการศึกษาการวิจัยในเรื่องอิทธิพลของดวงอาทิตย์ พบว่า กระจกใสเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนคลื่นสั้นของดวงอาทิตย์ เป็นคลื่นยาวหรือพลังงานความร้อน ซึ่งเหมาะสมในการนำไปใช้ในส่วนพื้นที่เก็บความร้อนของปล่องแสงอาทิตย์ โดยจากการศึกษาการวิจัยในเรื่องการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติ พบว่าการกำหนดให้ช่องลมเข้าและออกมีขนาดเท่ากัน จะทำให้เกิดการไหลของอากาศมากที่สุด

---

[1] Bansal, N. K.; Mathur, R. and Bhandari, M. S., "Solar chimney for enhanced stack ventilation." Building and Environment Vol.28 (1999) : 373-377.

[2] Chi-ming Lai, J.Y. Huang, J.S. Chiou., "Optimal spacing for double-skin roofs." Building and Environment 43. (2008): 1749–1754.

[3] Bansal, N. K.; Mathur, R. and Bhandari, M. S., p. 373-377.

จากการศึกษา และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปล่องอากาศแสงอาทิตย์พบว่า มีการนำปล่องอากาศแสงอาทิตย์ประยุกต์ใช้กับการพ่นละอองน้ำ เพื่อลดความร้อนของหลังคา [1]ใน ประเทศไทย และการนำปล่องอากาศแสงอาทิตย์ประยุกต์ใช้กับการทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำในประเทศอิหร่าน[2] ยังไม่มีการนำปล่องอากาศแสงอาทิตย์ ไปประยุกต์ใช้กับหลังคาของอาคารพักอาศัยเดิมจึงนำแนวทางดังกล่าวมาเป็นหัวข้อในการวิจัย

---

[1] Sudaporn Chungloo and Bundit Limmeechokchai, "Application of passive cooling systems in the hot and humid climate :The case study of solar chimney and wetted roof in Thailand," Building and Environment,42 2007: 3341–3351.

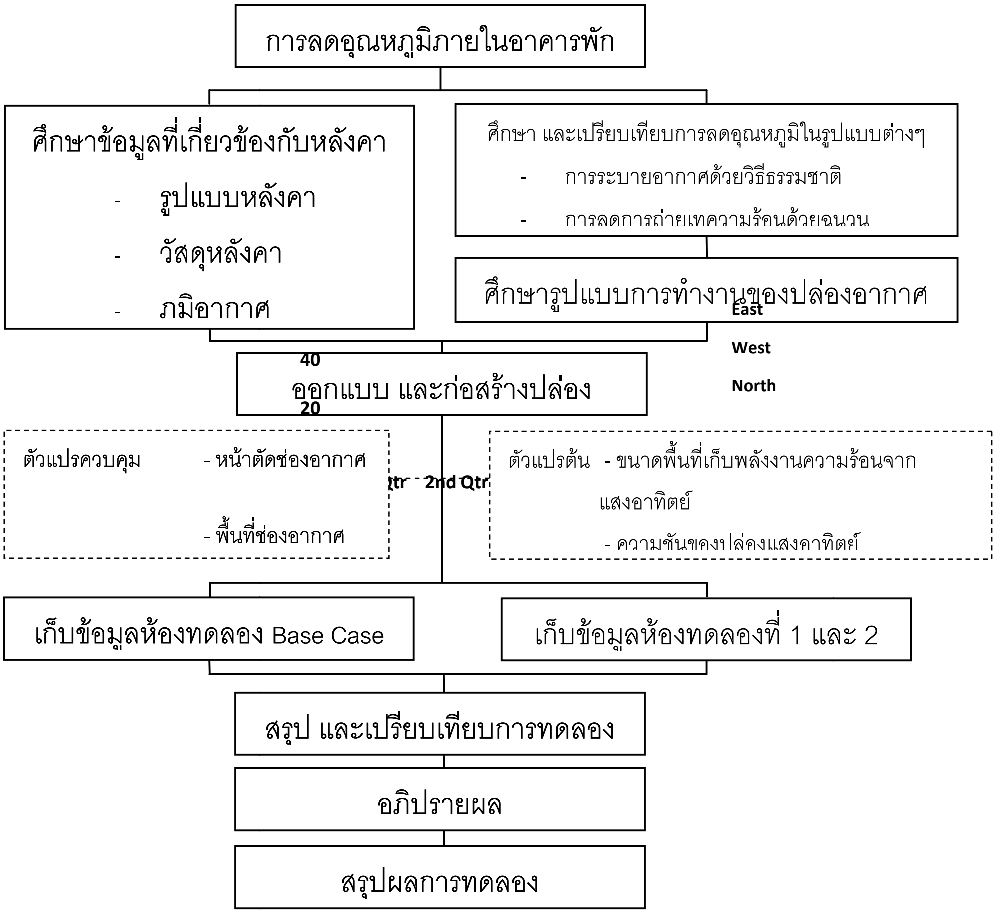
[2] Maerefat and Haghighi, "Natural cooling of stand-alone houses using solar chimney and evaporative cooling cavity," Renewable Energy,35 (2010): 2040–2052.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อหาแนวทางในการประยุกต์ใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคากระเบื้องลอนคู่ในประเทศไทย ซึ่งเป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) จากการสร้างห้องทดลองจากสภาพแวดล้อม และสถานที่จริง มีขั้นตอนในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศในงานวิจัยดังนี้



แผนภูมิที่ 3-1 แสดงแผนการดำเนินงาน

3.2 การทดลอง

3.2.1 รูปแบบการวิจัย

การอภิปรายประสิทธิภาพการใช้ปล่องแสงอาทิตย์ กับหลังคากระเบื้องลอนคู่กับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย โดยนำผลจากการทดลองไปเปรียบเทียบกับอัตราการระบายอากาศ ของพัดลมระบายอากาศ โดยอาศัยการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การอภิปรายประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ กับหลังคากระเบื้องลอนคู่ กับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย ใช้คำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการศึกษาในบทที่ 2 โดยการนำข้อมูลอากาศที่ตำแหน่งอากาศเข้าและอากาศออกของทุกการทดลอง มาคำนวณหาอัตราการระบายอากาศที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ (จากบทที่ 2 หน้า 16) จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ กับพัดลมระบายอากาศมาตรฐานตามท้องตลาด (พัดลมระบายอากาศ Mitsubishi EX-30FHT) และคำนวณมูลค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (จากบทที่ 2 หน้า 20)

3.2.3 สถานที่ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาแนวทางในการประยุกต์ใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ กับวัสดุหลังคากระเบื้องลอนคู่ (กระเบื้องซีเมนต์) เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารพักอาศัยในประเทศไทย ในการออกแบบการทดลอง จะเก็บข้อมูลจากห้องทดลอง ที่ต่อเติมจากอาคารพาณิชย์ด้วยโครงสร้างเหล็ก ที่ชั้น 3 ในส่วนดาดฟ้าอาคาร ซึ่งหลังคาห้องทดลองมีลักษณะเป็นทรงเพิงหมาแหงน มุงหลังคาด้วยกระเบื้องลอนคู่ ในงานวิจัยเลือกใช้วัสดุกระเบื้องลอนคู่ เนื่องจากในบทที่ 2 มีการวิจัย สนับสนุนความนิยมของ กระเบื้องลอนคู่ในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และยังมีข้อดีของกระเบื้องประเภทนี้ เช่น ราคาต่อตารางเมตรที่ไม่สูงมาก การติดตั้งที่รวดเร็ว ประหยัดโครงสร้างหลังคา และยังมีความสามารถในการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์

3.2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของห้องทดลอง มีคุณสมบัติต่างๆดังนี้

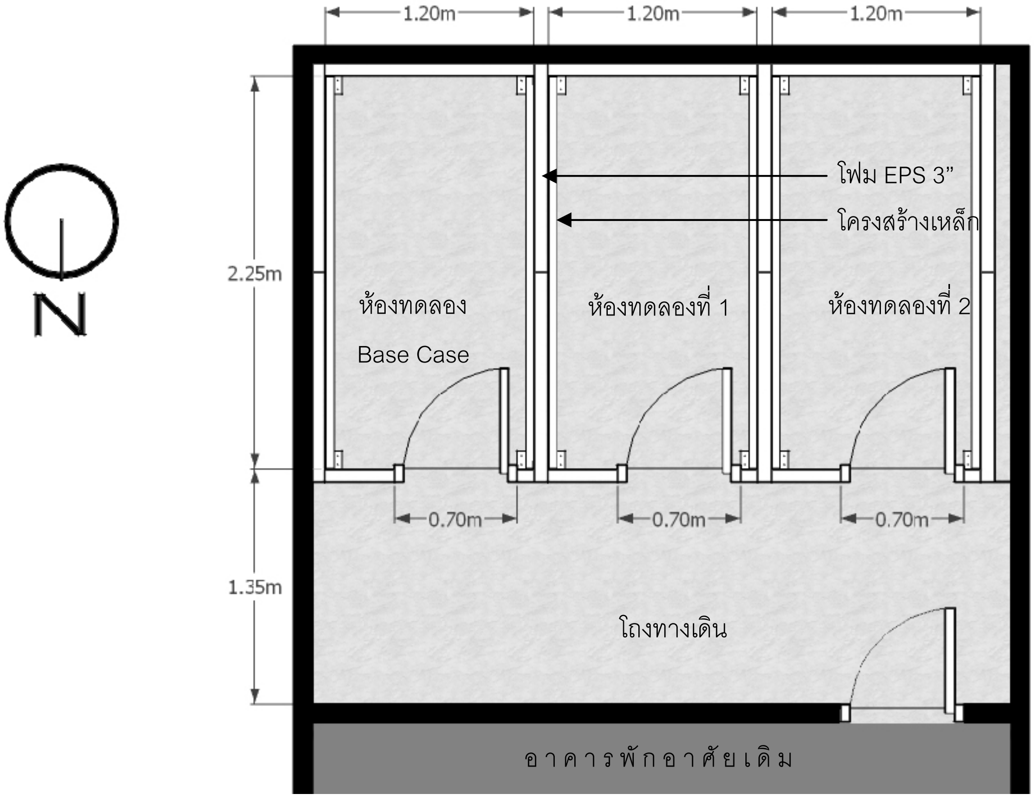
1. ภายในห้องทดลอง บุผิวภายในด้วยแผ่นโฟม[1] Expandable Polystyrene Foam (EPS) ซึ่งป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก
2. บริเวณที่อาจเกิดรอยรั่วของอากาศ มีการอุดด้วยซิลิโคนทนความร้อนสูง หลังคาของห้องทดลองแยกออกจากกันทั้ง 3 ห้อง เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อน
3. ไม่มีสิ่งก่อสร้างบังแดดในส่วนของหลังคาห้องทดลอง
4. หลังคาของห้องทดลองหันรับแสงทางทิศใต้[2]
5. สถานที่ตั้งของห้องทดลอง อยู่บนดาดฟ้าของอาคารพาณิชย์ 3 ชั้น ตั้งอยู่ที่ อ.เมือง จ.นนทบุรี

---

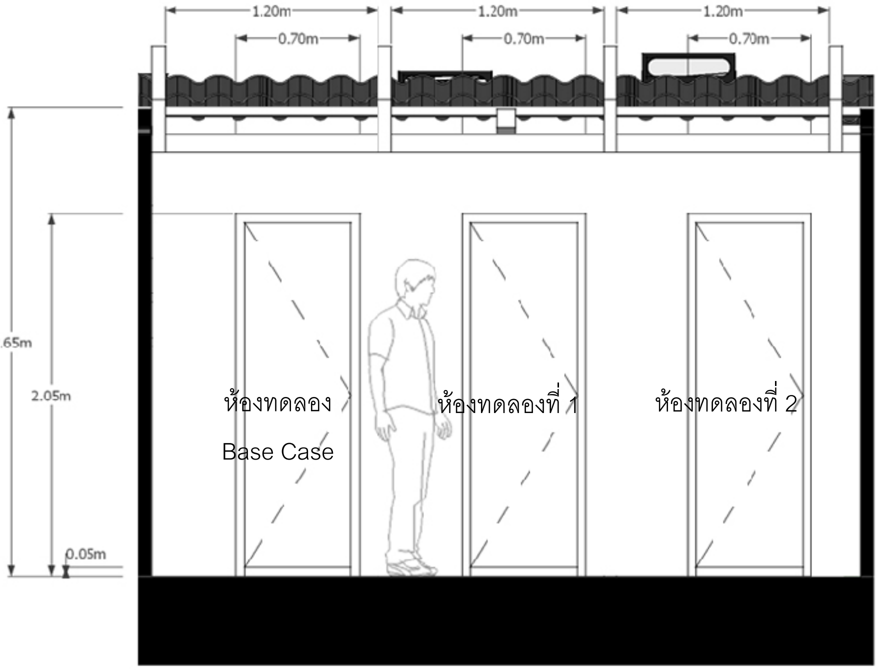
[1] อภิธัช พรหมสิริแสง, "การพัฒนารูปแบบการไหลเวียนอากาศของหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร, "(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2544) หน้า 42.

[2] Jyotirmay, M.; Sanjay, M. and Anupma., "Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation," Energy and Buildings 38, (2006): 1156-1163.

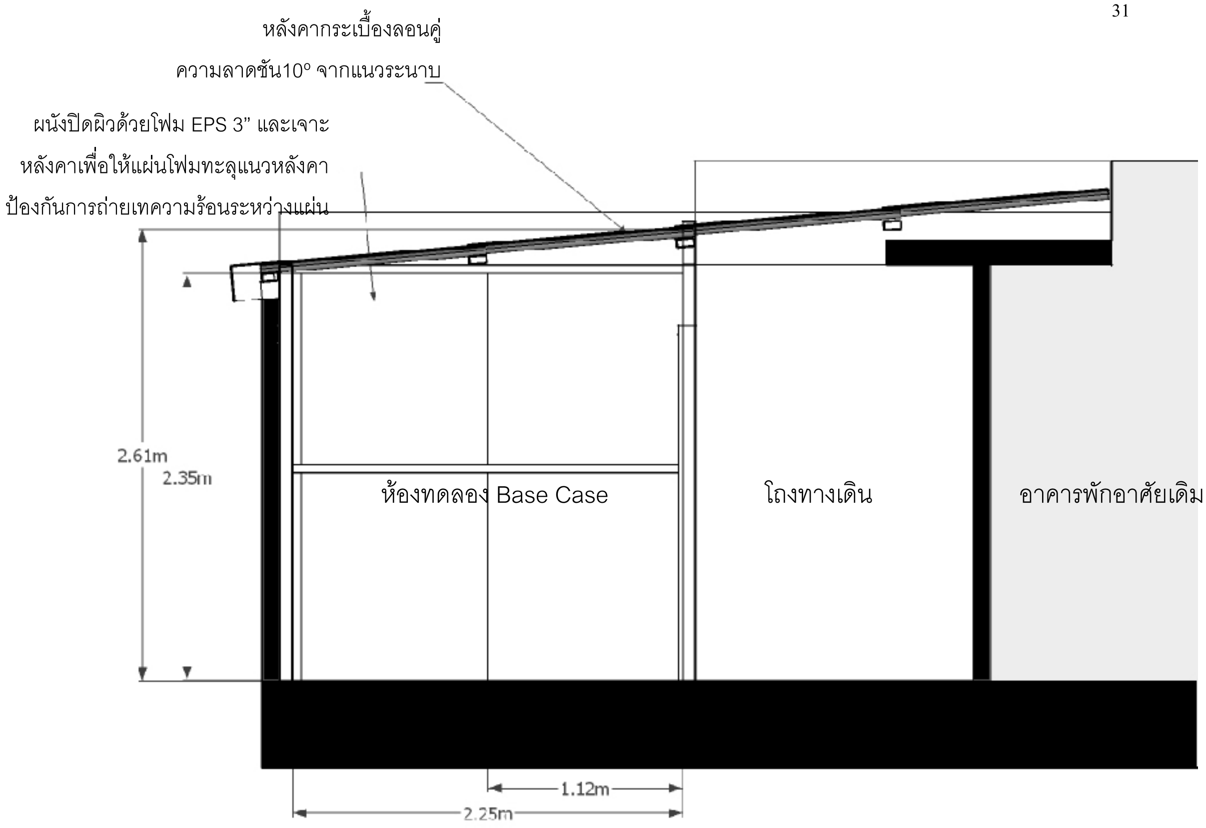
นายเล้ง



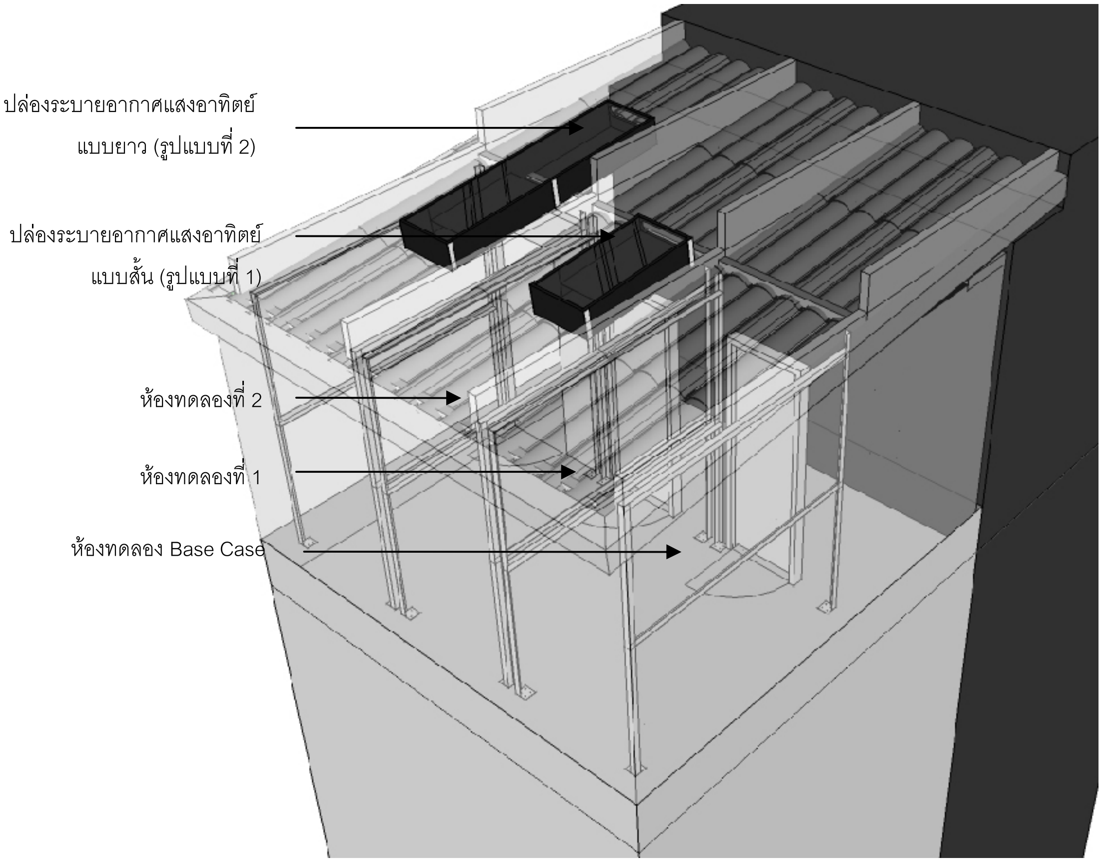
รูปที่ 3-3 แสดงแปลนของห้องทดลอง



รูปที่ 3-4 แสดงรูปด้านหน้าของห้องทดลอง



รูปที่ 3-5 แสดงรูปตัดของห้องทดลอง



รูปที่ 3-6 แสดงรูปสามมิติของห้องทดลอง

หลังคาของห้องทดลองมุงด้วยกระเบื้องลอนคู่ มุมลาดชันที่ 10º เนื่องจากเป็นมุม ที่น้อยที่สุดในมาตรฐานการติดตั้งหลังคากระเบื้องลอนคู่ [1]โครงสร้างรับหลังคาเป็นโครงสร้างไม้ ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน ในส่วนของห้องทดลองที่ใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ มีขนาดพื้นที่ภายใน ยาว 1.20 เมตร กว้าง 2.25 เมตร และ สูง 2.35 เมตร ใช้เหล็กเป็นโครงสร้างหลัก และปิดผิวผนังของห้องทดลองทุกด้าน ด้วย EPS โฟม Expandable Polystyrene Foam (EPS) ความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ ต่อ ลูกบาศก์ฟุต

[1] มหพันธ์, คู่มือการติดตั้งหลังคาลอนคู่ห้าห่วง [ออนไลน์], 21 เมษายน 2556. http://www.mahaphant.com

3.2.3.2 การกำหนดรูปแบบการติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

1. ห้องทดลอง Base Case ซึ่งจะไม่มีการติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์
2. ห้องทดลองที่ 1 ติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์แบบสั้น
3. ห้องทดลองที่ 2 ติดตั้งปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์รูปแบบยาว

3.2.4 รูปแบบปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

1. วัสดุที่ใช้ในการทำปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

จากการศึกษาในเรื่องการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ในบทที่ 2 จึงเลือกใช้วัสดุประเภทสังกะสี ที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ดี สะดวกต่อการขึ้นรูป และราคาย่อมเยา

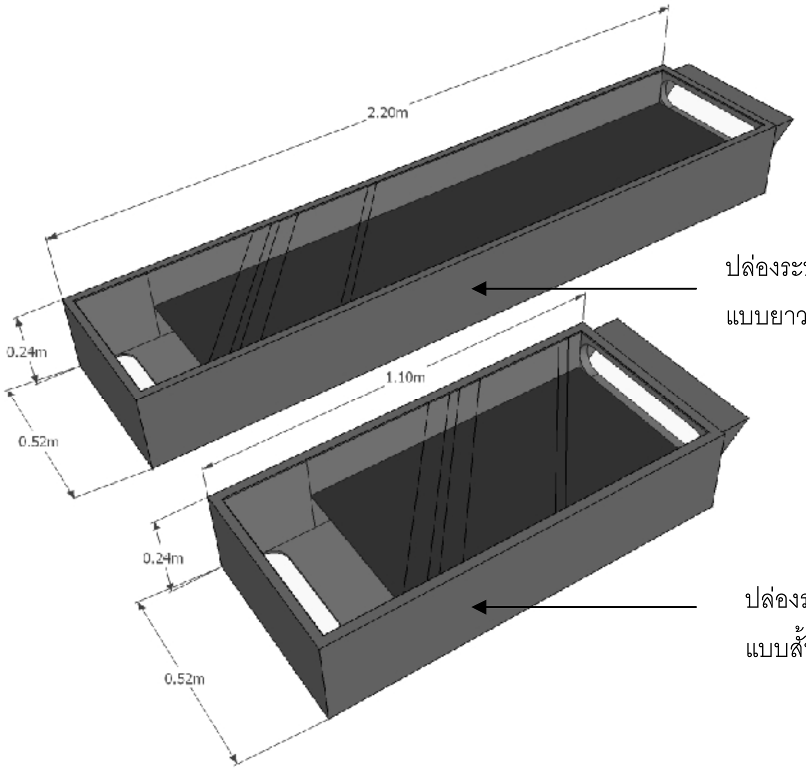
2. การกำหนดรูปแบบปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

2.1 ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์รูปแบบที่ 1 (ปล่องสั้น)

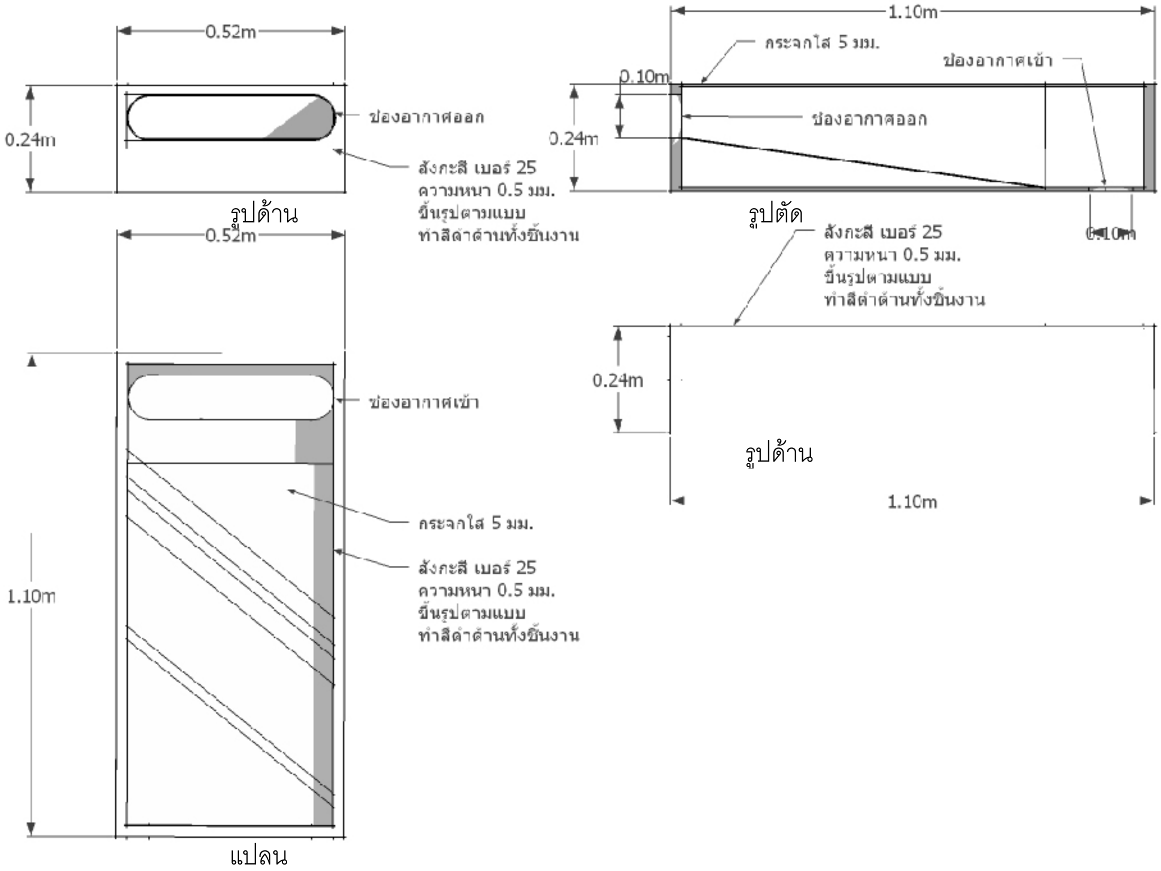
กำหนด(ให้สามารถวางบนแผ่นหลังคาลอนคู่ขนาดมาตรฐานได้พอดี) ขนาดกว้าง 0.52 เมตร ยาว 1.10 เมตร สูง 0.24 เมตร ช่องลมเข้า และออกมีขนาดกว้าง 0.10 เมตร ยาว 0.40 เมตร ติดตั้งกระจกใส 5 มิลลิเมตร ขนาด กว้าง 0.35 เมตร ยาว 1.00 เมตร

2.2 ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์รูปแบบที่ 2 (ปล่องยาว)

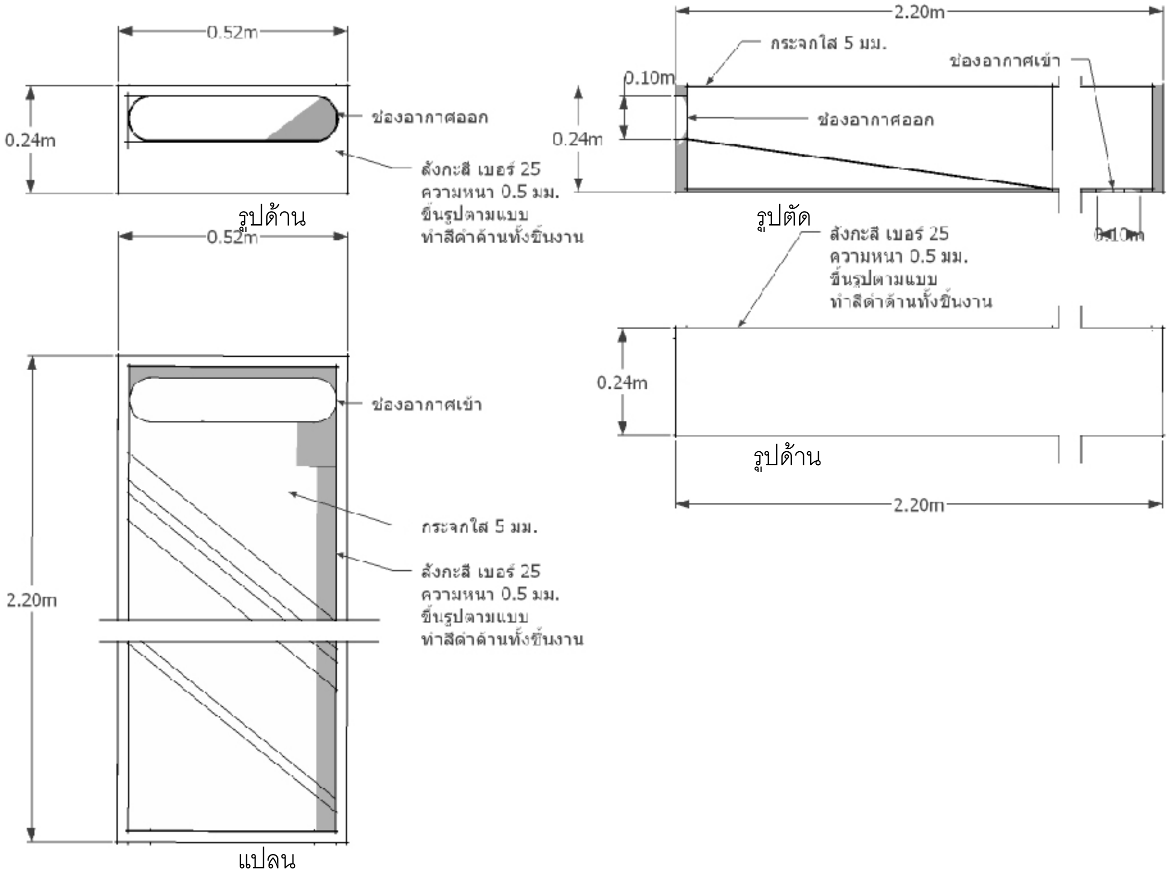
กำหนด(ให้สามารถวางบนแผ่นหลังคาลอนคู่ขนาดมาตรฐานได้พอดี) ขนาดกว้าง 0.52 เมตร ยาว 2.20 เมตร สูง 0.24 เมตร ช่องลมเข้า และออกมีขนาดกว้าง 0.10 เมตร ยาว 0.40 เมตร ติดตั้งกระจกใส 5 มิลลิเมตร ขนาด กว้าง 0.35 เมตร ยาว 1.00 เมตร



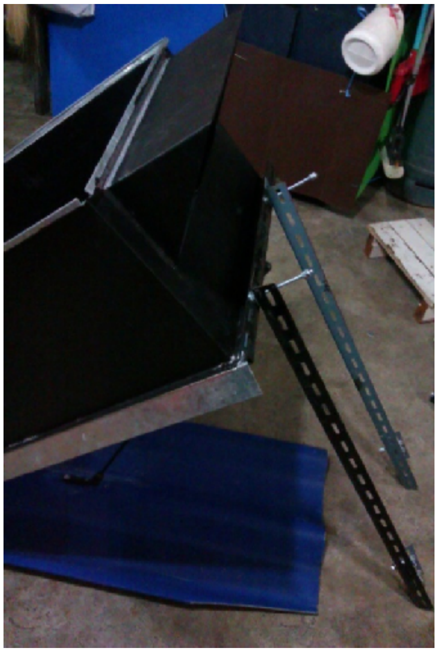
รูปที่ 3-7 แสดงรูปสามมิติของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

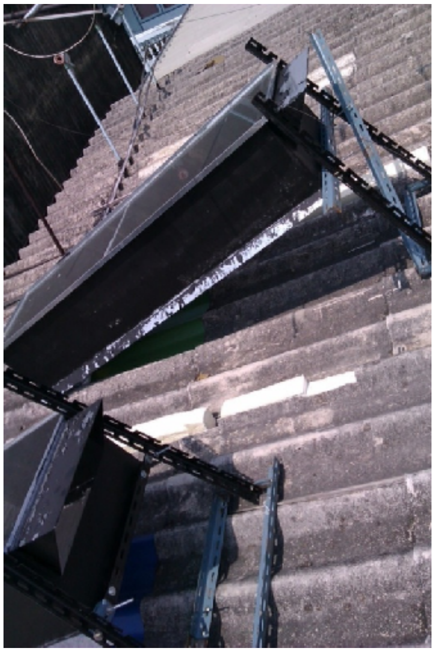


รูปที่ 3-8 แสดงปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์รูปแบบที่ 1(แบบสั้น)



รูปที่ 3-9 แสดงปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์รูปแบบที่ 2 (แบบยาว)





3.3 ตัวแปรในการวิจัย

3.3.1 ตัวแปรต้น

1. ขนาดของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์
2. องศาของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

3.3.2 ตัวแปรตาม

1. อุณหภูมิภายในห้องทดลอง

3.3.3 ตัวแปรควบคุม

1. พื้นที่หน้าตัดช่องอากาศ
2. พื้นที่ช่องอากาศเข้า
3. พื้นที่ช่องอากาศออก
4. ทิศทางอากาศเข้า
5. ทิศทางอากาศออก

3.4 การเก็บข้อมูล

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

3.4.1.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

1. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด (Infrared Thermometers)

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด Fluke 63 ใช้เลเซอร์ในการชี้ตำแหน่งจุดที่วัด หน้าจอมีไฟส่องดูในที่มืด ความแม่นยำในการวัดสูงถึง ± 1% ช่วงการวัด -32 ถึง 760°C (รุ่น 68), -32 ถึง 600°C (รุ่น 66), -32 ถึง 535°C (รุ่น 63) คงค่าที่วัดไว้หลังจากการปล่อยไกวัดบริเวณด้ามจับสำหรับการอ่านค่าในตำแหน่งที่เข้าถึงได้ยาก สามารถเก็บบันทึกค่าที่วัดในหน่วยความจำได้ สามารถวัดอุณหภูมิของเป้าหมายเล็กๆ ได้ในระยะไกลด้วยอัตราส่วน 12:1 (ระยะห่างต่อขนาดเป้า) แสดงค่าการวัดสูงสุด ปรับค่า ตัวเครื่องใช้วัสดุยางกันกระแทก

FLUKE
MAX 68

SD Card real time data recorder
12 channels TEMPERATURE RECORDER
POWER ESC
HOLD NEXT
REC ENTER
TYPE
PAGE
LOGGER
SET
Time check
12 Channels
TEMPERATURE RECORDER
BTM-4208SD
Calibration Certificate
This certificate guarantees that the product has been inspected and tested in according to the published specifications.
The instrument has been calibrated by equipments which are already calibrated to traceable international standards.

LEGA tools

FUJITSU
FUJITSU

3.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ

1. ทดสอบโดยการจุ่มลงในน้ำเย็น

นำภาชนะใส่น้ำแข็งกับน้ำ และทำการวัดเปรียบเทียบอุณหภูมิของเครื่องวัดอุณหภูมิ Lutron และเครื่องวัดอุณหภูมิ Fluke 63 หากมีการวัดอุณหภูมิที่คาดเคลื่อนจะไม่นำมาใช้ในการทดลอง

2. ทดสอบโดยการเก็บข้อมูลภายใต้สภาวะเดียวกัน

นำหัวเซนเซอร์ของสายโพรบติดตั้งไว้ในจุดเดียวของห้องทดลอง ทำการวัดและเก็บข้อมูลที่ นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ Lutron มาตรวจสอบความถูกต้อง หากสายโพรบมีการวัดอุณหภูมิที่คาดเคลื่อนจะไม่นำมาใช้ในการทดลอง

ผลจากการทดสอบโดยการจุ่มลงในน้ำเย็น เครื่องวัดอุณหภูมิทั้ง 2 เครื่อง ให้ค่าอุณหภูมิที่ได้มีใกล้เคียงกัน และจากการทดสอบโดยการเก็บข้อมูลภายใต้สภาวะเดียวกัน พบว่า มีการคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นกับสายโพรบจำนวน 1 เส้น จึงแยกออกและไม่นำมาใช้ในการทดลอง

3.4.3 ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัด

การวัดอุณหภูมิ ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

3.4.3.1 ห้องทดลอง Base Case

1. อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางห้องทดลอง (t0-1)
2. อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่องอากาศเข้า ใต้ประตูห้องทดลอง(t0-2)

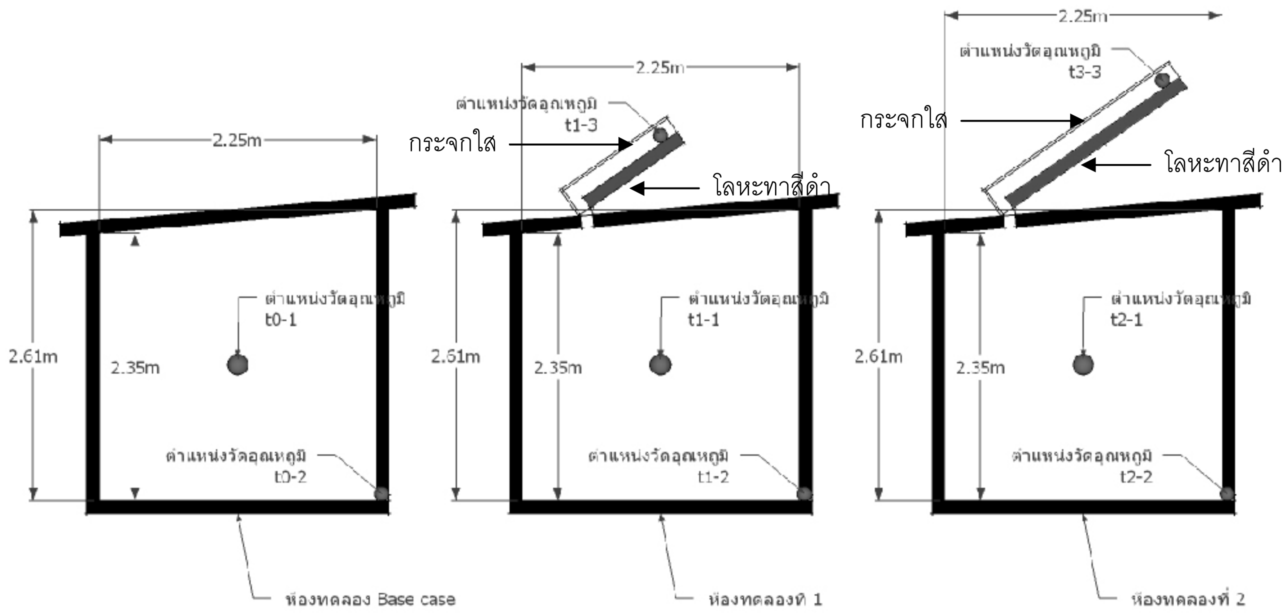
3.4.3.2 ห้องทดลองที่ 1

1. อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางห้องทดลอง (t1-1)
2. อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่องอากาศเข้าใต้ประตูห้องทดลอง (t1-2)

3. อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่องอากาศออกของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (t0-3)

3.4.3.3 ห้องทดลองที่ 2

1. อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางห้องทดลอง (t2-1)
2. อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่องอากาศเข้าใต้ประตูห้องทดลอง (t2-2)
3. อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่องอากาศออกของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ (t2-3)



รูปที่ 3-16 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัด

3.4.4 **การกำหนดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล**

ก่อนการเก็บค่าได้มีการทดสอบช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องจากอิทธิพลของแสงอาทิตย์ ซึ่งในช่วงเวลา 8.00 น. จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่สูงขึ้นจนถึงช่วงเวลา 20.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองทั้ง 3 ห้องจะใกล้เคียงกัน

การวัดอุณหภูมิจึงกำหนดการวัด และเก็บค่าอุณหภูมิในเวลาเดียวกันทั้ง 3 ห้องโดยจะทำการเก็บค่าอุณหภูมิทุก ๆ 30 นาทีเป็นเวลาติดต่อกัน 6 วันโดยจะเริ่มการวัด และเก็บค่าอุณหภูมิในช่วงวันที่ 6 กุมภาพันธ์ ถึง 24 มีนาคม พ.ศ. 2556 เวลา 8.00 น. ถึง 20.00 น.

3.1.2 **วิธีการทดลอง**

3.1.2.1 ทำการวัดอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของห้องทดลองทั้ง 3 ห้อง และบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 30 วินาที

3.1.2.2 เปรียบเทียบ และอภิปรายข้อมูล ที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องทดลองในการวัดอุณหภูมิครั้งแรก เพื่อใช้ข้อมูลในการกำหนดช่วงเวลาและความถี่ในการเก็บข้อมูล

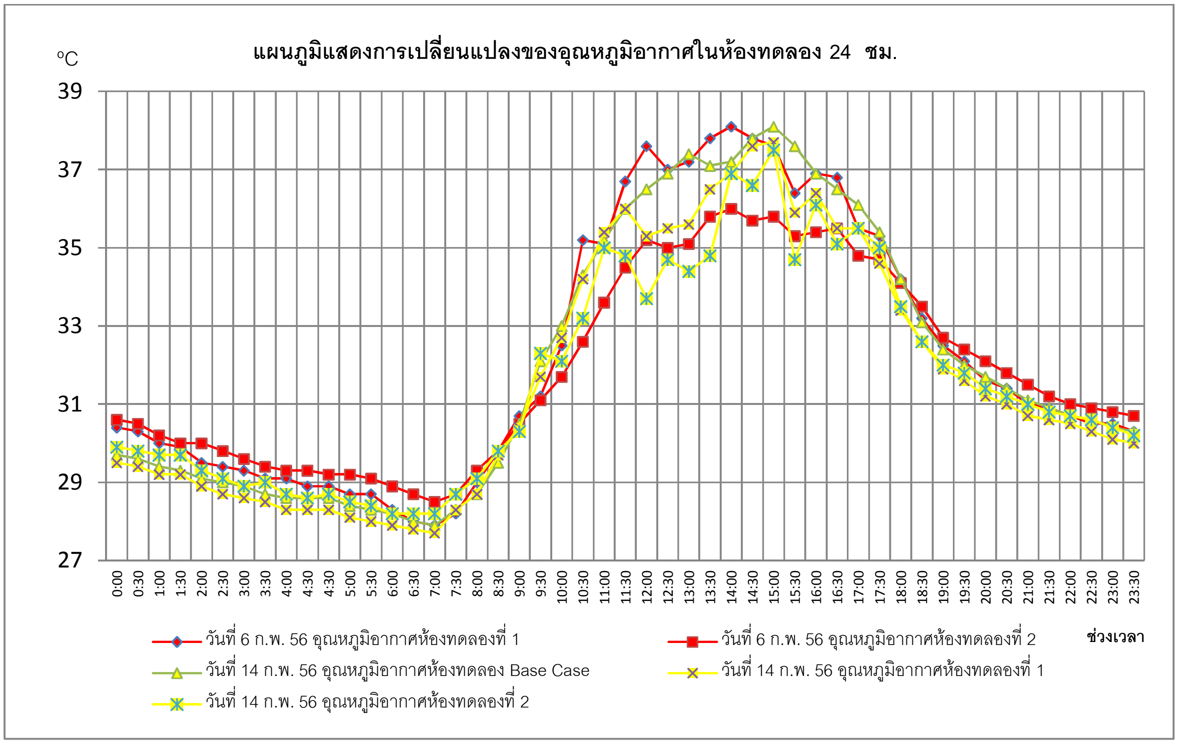
3.1.2.3 ทำการวัดและเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 เป็นเวลา 4 วัน

3.1.2.4 ทำการวัดและเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 เป็นเวลา 4 วัน

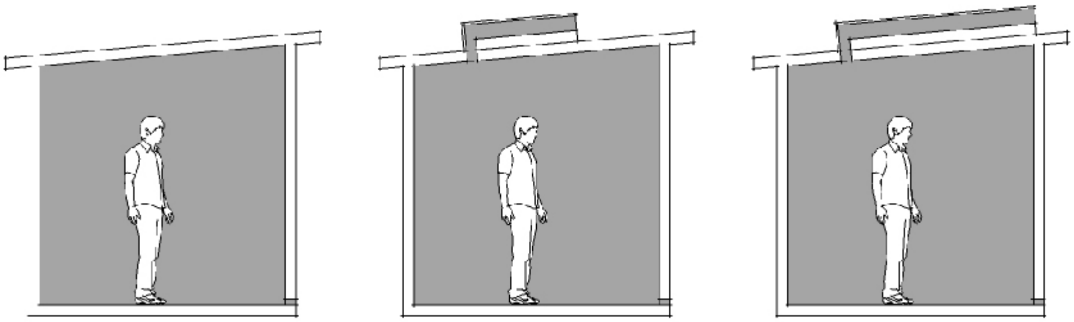
3.1.2.5 ทำการวัดและเก็บข้อมูลครั้งที่ 3 เป็นเวลา 4 วัน

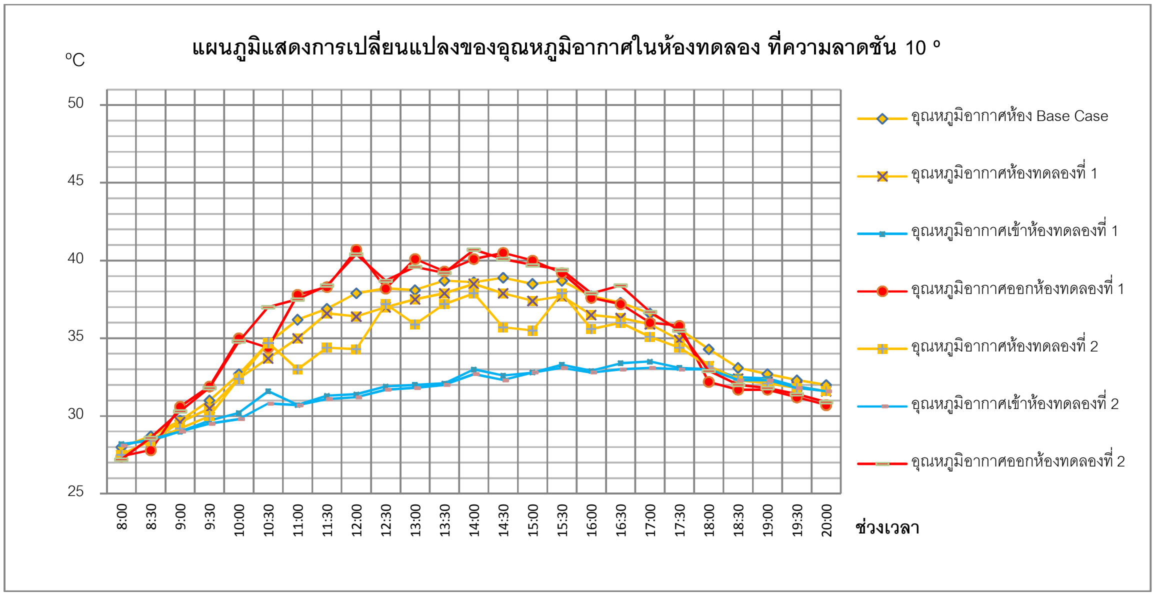
3.1.2.6 อภิปรายและเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

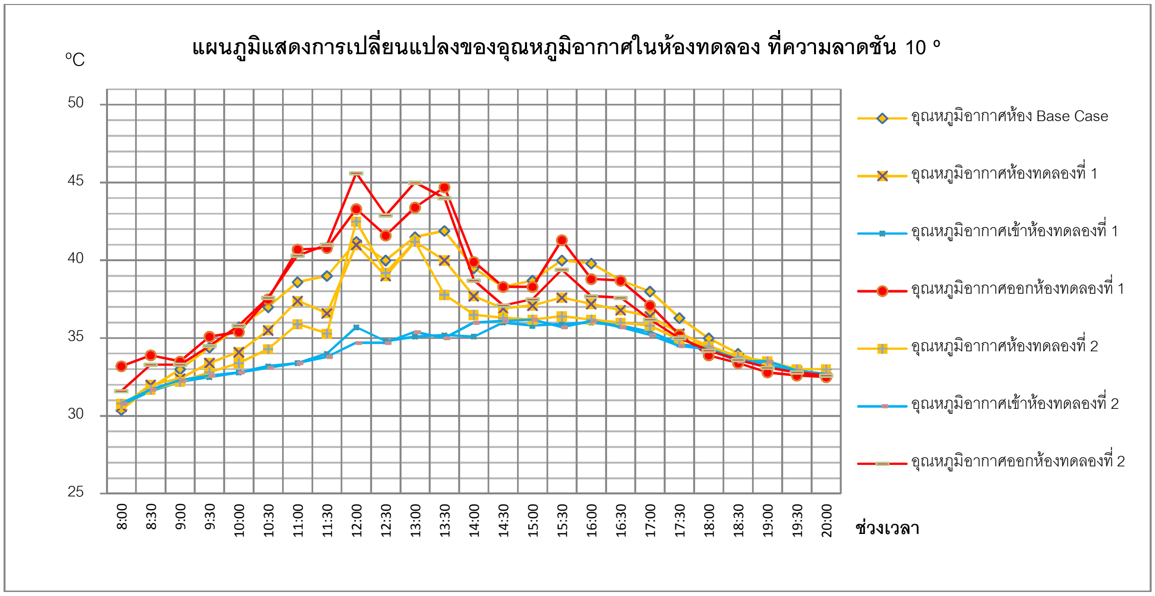
3.1.2.7 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการระบายอากาศของพัดลมระบายอากาศ

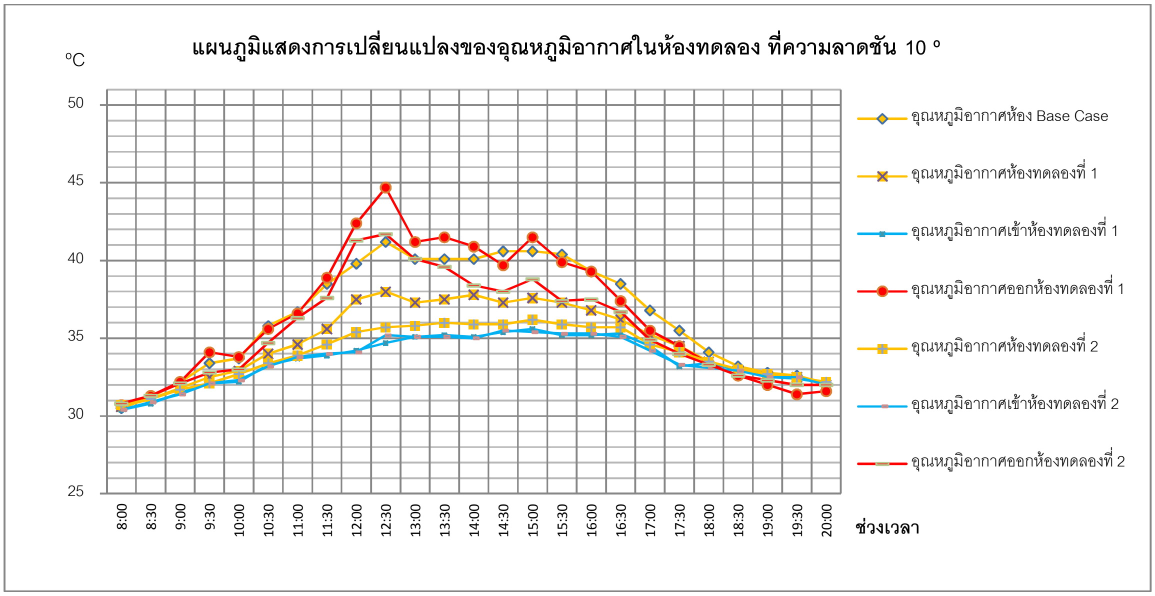


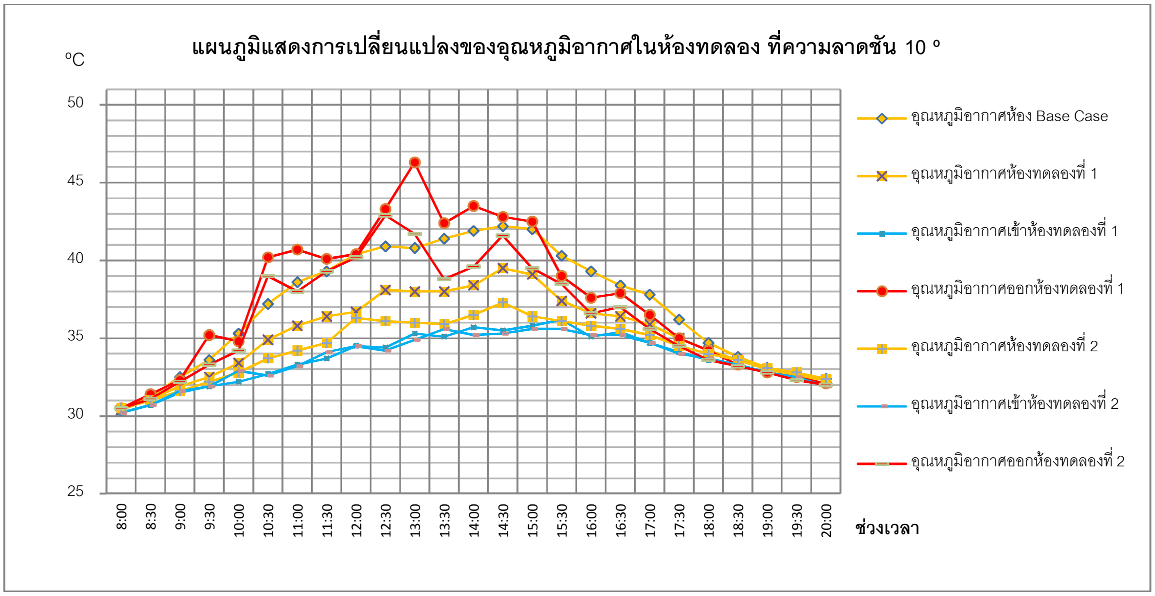
แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง 24 ชม.
°C
39
37
35
33
31
29
27
0:00 0:30 1:00 1:30 2:00 2:30 3:00 3:30 4:00 4:30 4:30 5:00 5:30 6:00 6:30 7:00 7:30 8:00 8:30 9:00 9:30 10:00 10:30 11:00 11:30 12:00 12:30 13:00 13:30 14:00 14:30 15:00 15:30 16:00 16:30 17:00 17:30 18:00 18:30 19:00 19:30 20:00 20:30 21:00 21:30 22:00 22:30 23:00 23:30
ช่วงเวลา
วันที่ 6 ก.พ. 56 อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
วันที่ 6 ก.พ. 56 อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
วันที่ 14 ก.พ. 56 อุณหภูมิอากาศห้องทดลอง Base Case
วันที่ 14 ก.พ. 56 อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
วันที่ 14 ก.พ. 56 อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2

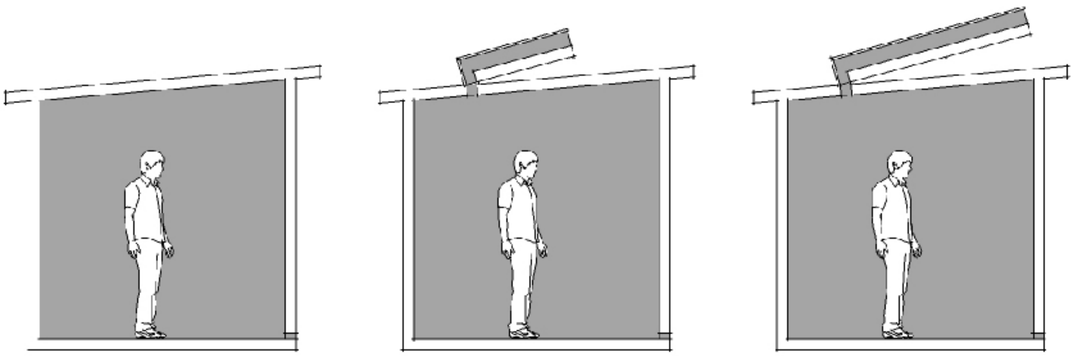


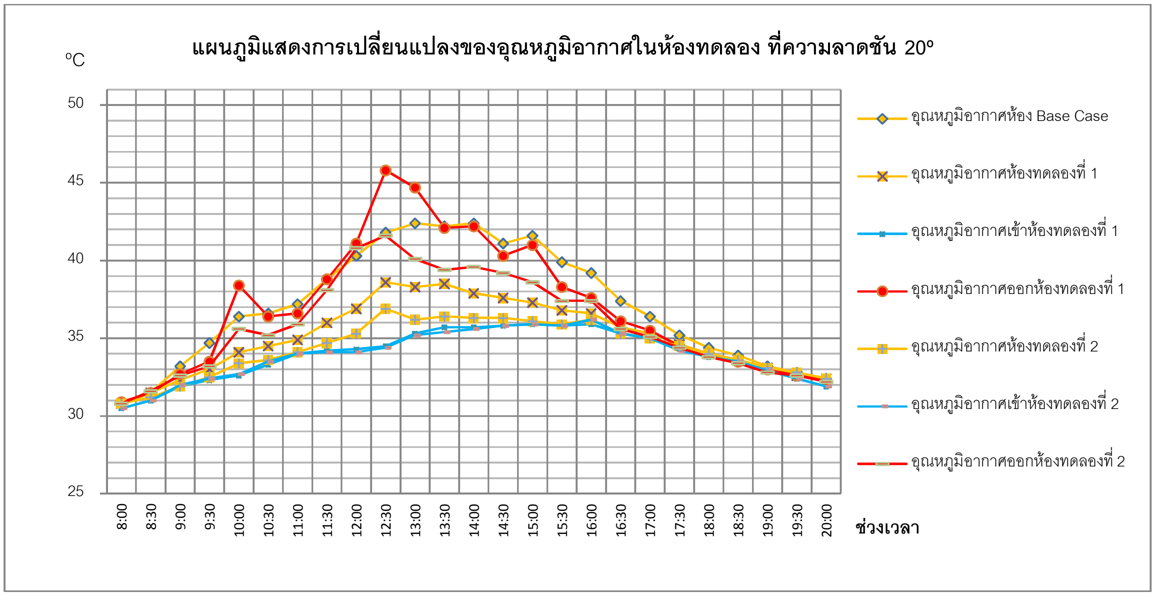

แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 10 °
°C
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2

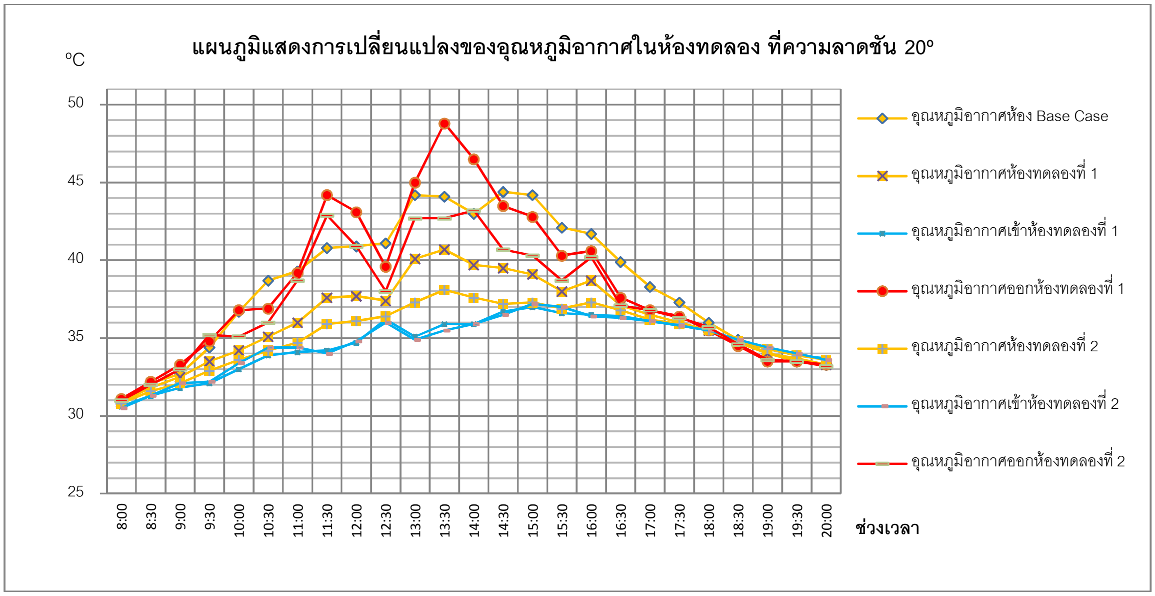

แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 10 °
°C
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2

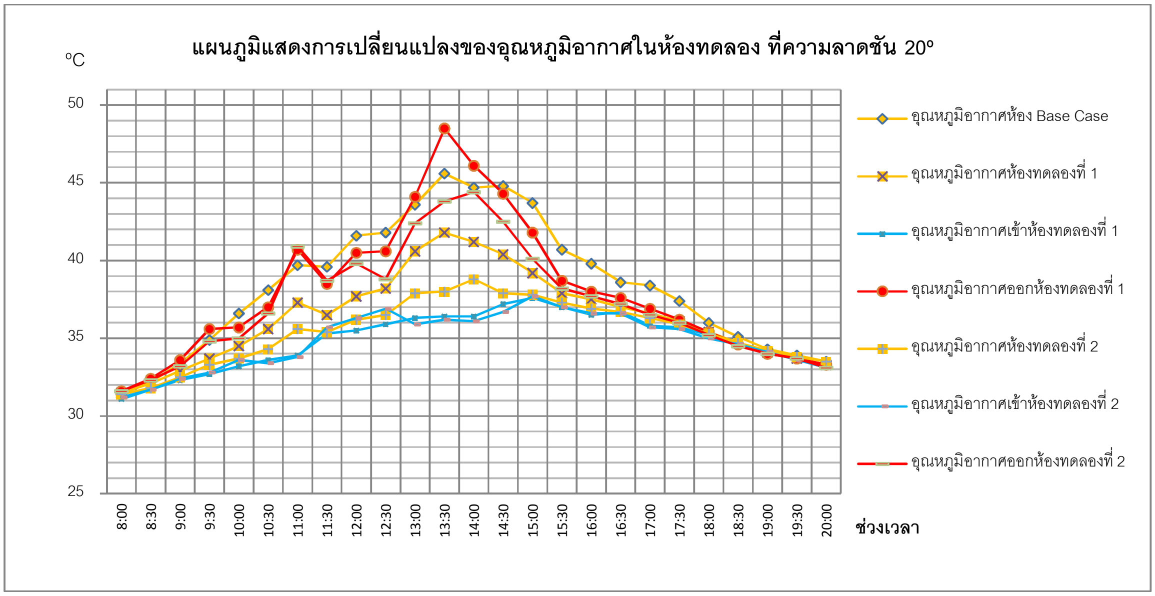

แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 10 °
°C
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2

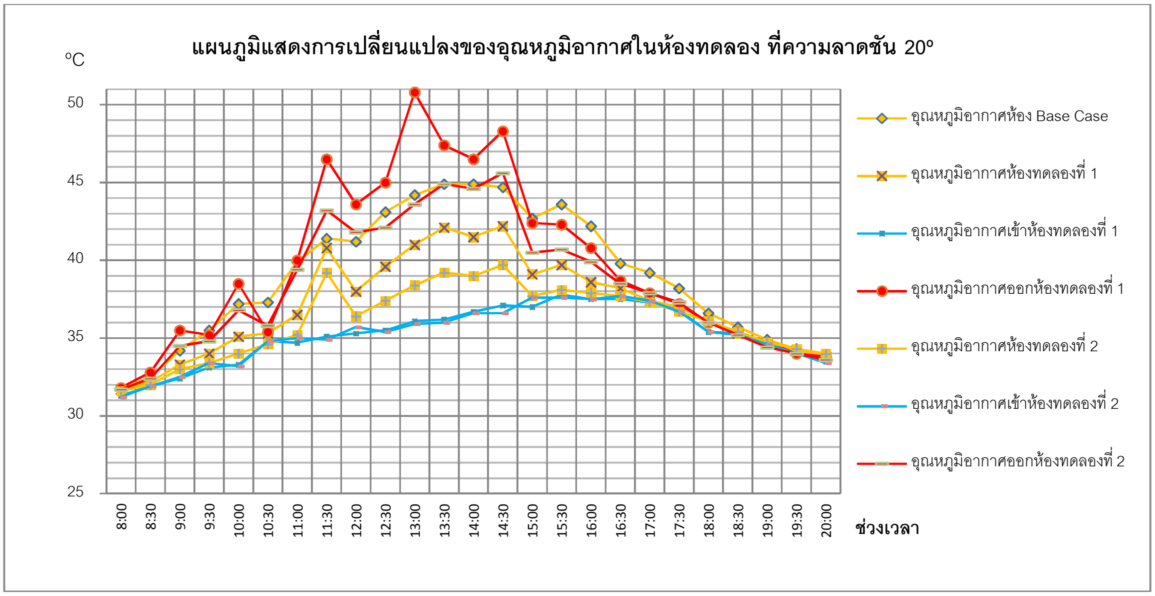

แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 10 °
°C
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2

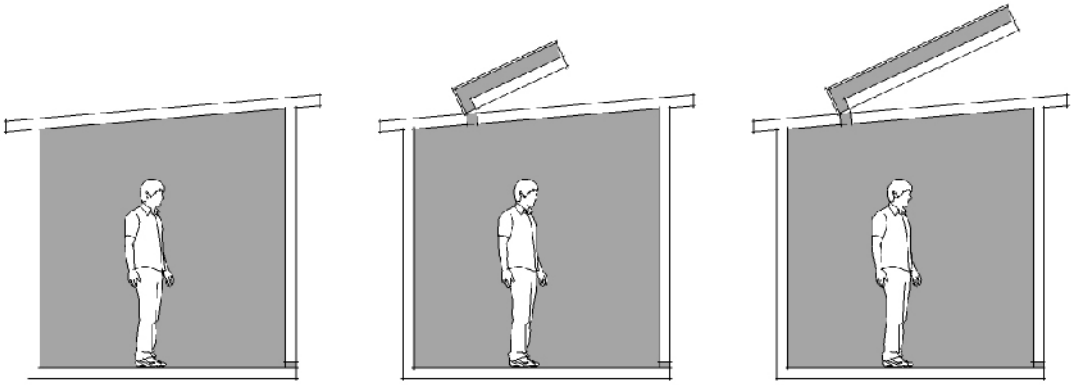


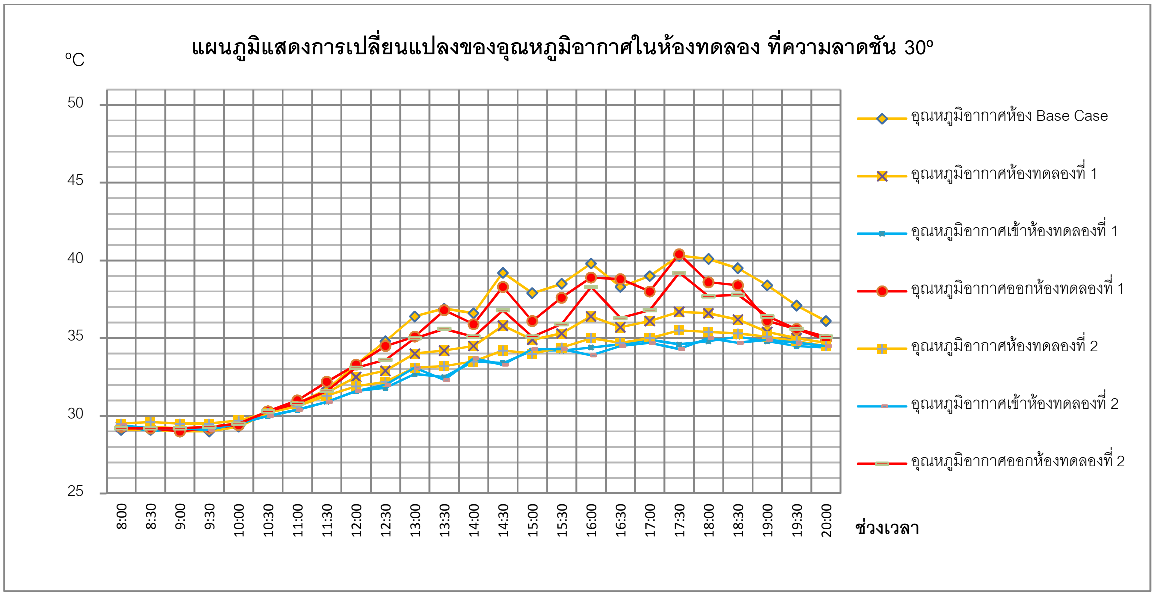

แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 20º
ºC
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2

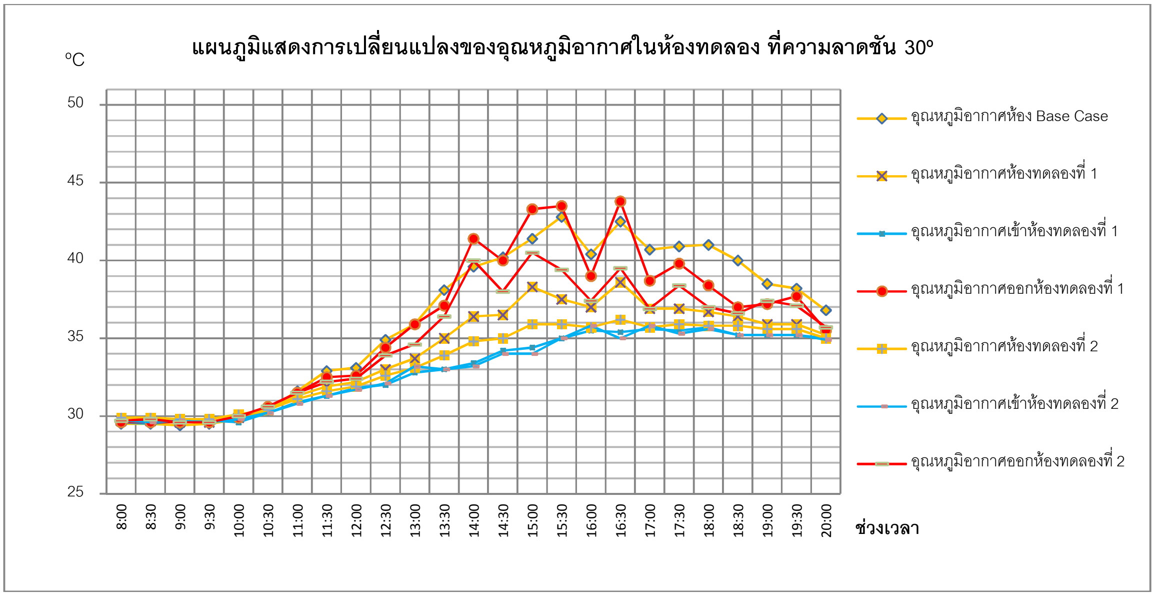

แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 20º
ºC
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2

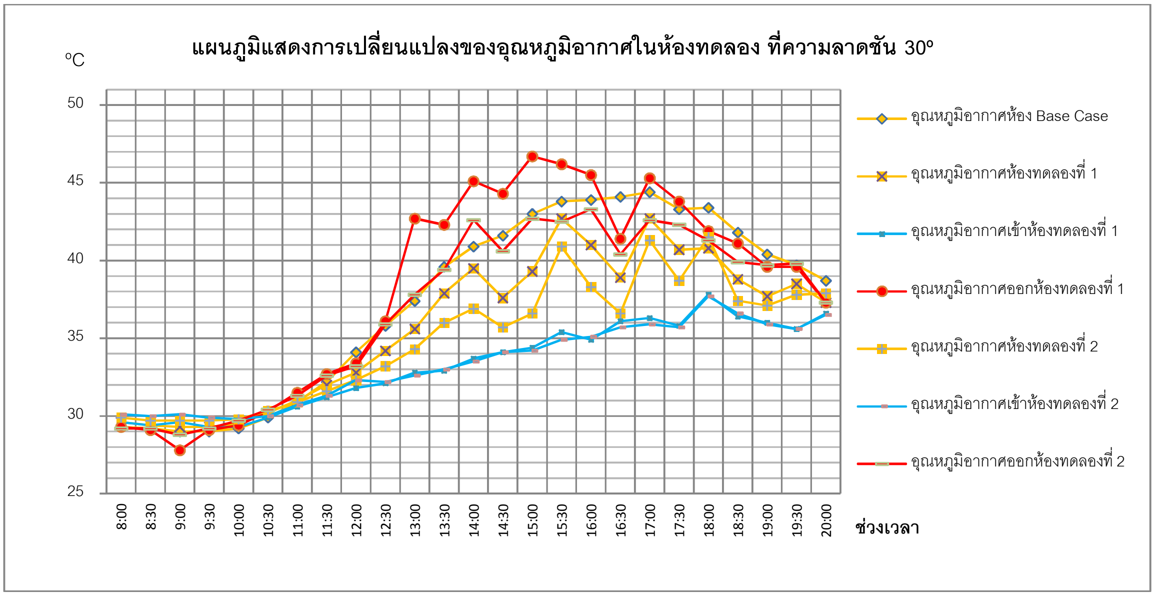

แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 20º
ºC
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2

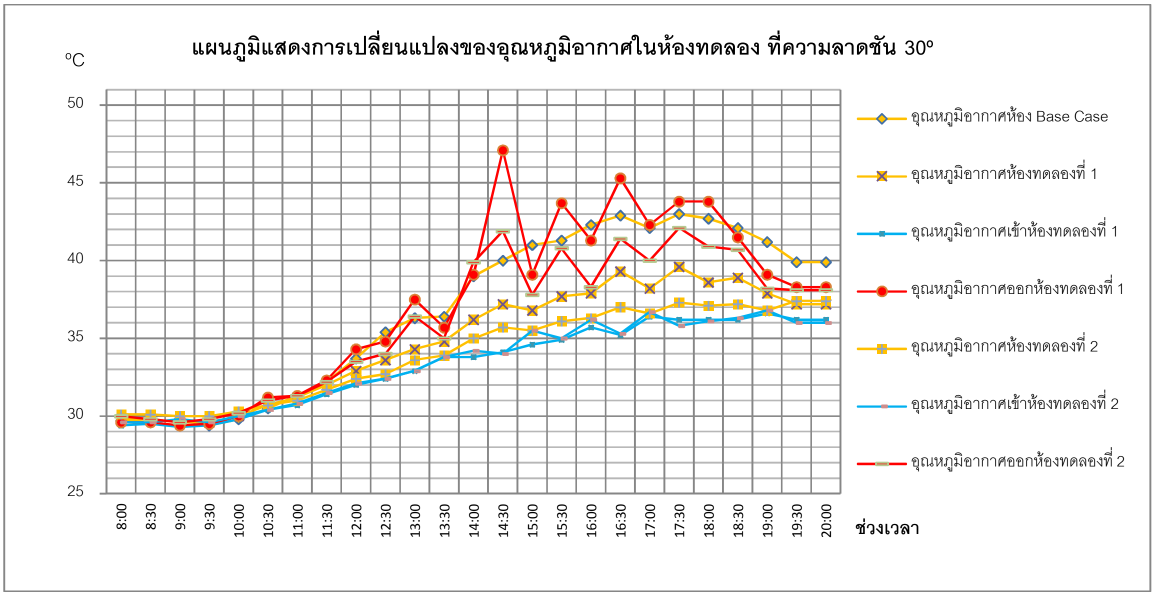

แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 20º
ºC
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2




แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 30º
ºC
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2


แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 30º
ºC
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2


แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 30º
ºC
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2


แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ที่ความลาดชัน 30º
ºC
50
45
40
35
30
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
อุณหภูมิอากาศห้อง Base Case
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 1
อุณหภูมิอากาศห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศเข้าห้องทดลองที่ 2
อุณหภูมิอากาศออกห้องทดลองที่ 2

4.2.3.2 ผลการทดลอง

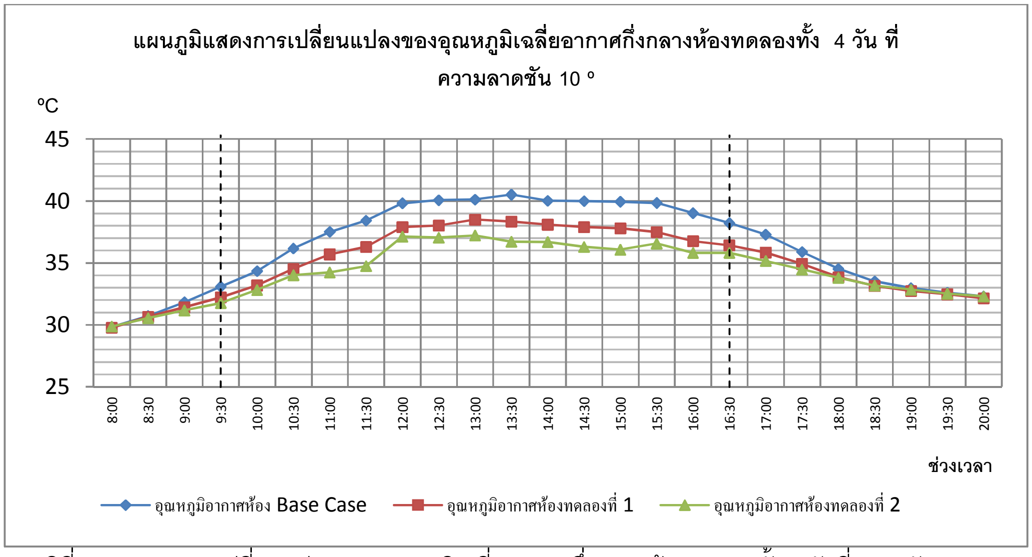
จากแผนภูมิที่ 4-11 ถึง 4-14 แสดงให้เห็นว่า ห้องทดลองที่มีการติดตั้งปล่องระบายอากาศสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองได้อย่างชัดเจน ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่า 2ºC เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศห้อง Base Case ใน ช่วงเวลา 12.30 น. -19.30 น.และ อุณหภูมิอากาศของห้องทดลอง Base Case และ ห้องทดลองที่ 2 (ติดตั้งปล่องยาว) มีความอุณหภูมิอากาศแตกต่างกันสูงสุด 7.5ºC ในช่วงเวลา 15.30-16.30 น.

บทที่ 5

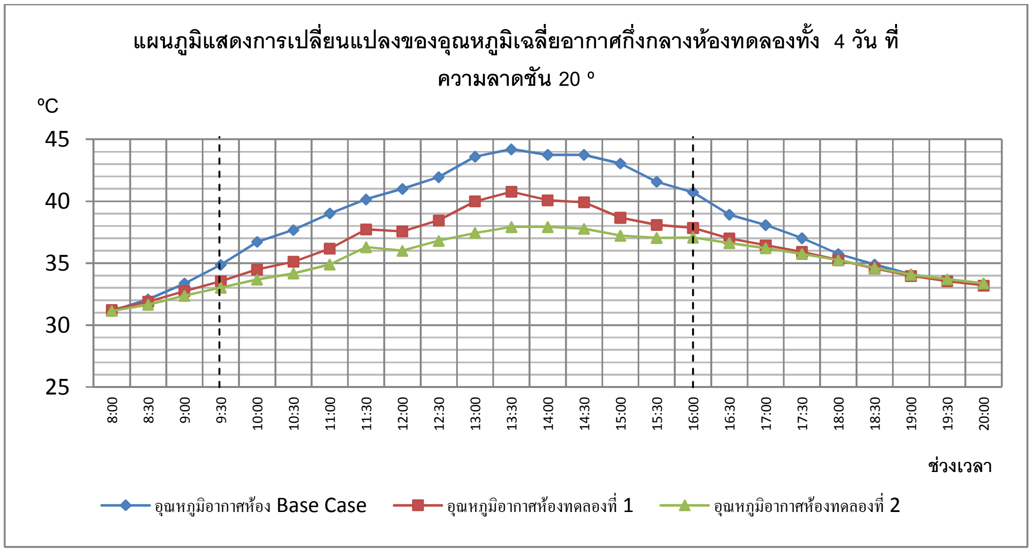
อภิปรายผล บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การทดลองจะอภิปรายผลจากอุณหภูมิอากาศของห้องทดลอง เพื่อศึกษาช่วงเวลาที่ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิห้องมีความเปลี่ยนแปลง ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของอากาศในห้องทดลอง และ ศึกษาถึงระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อเทียบกับความสามารถในการประหยัดพลังงานเมื่อใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

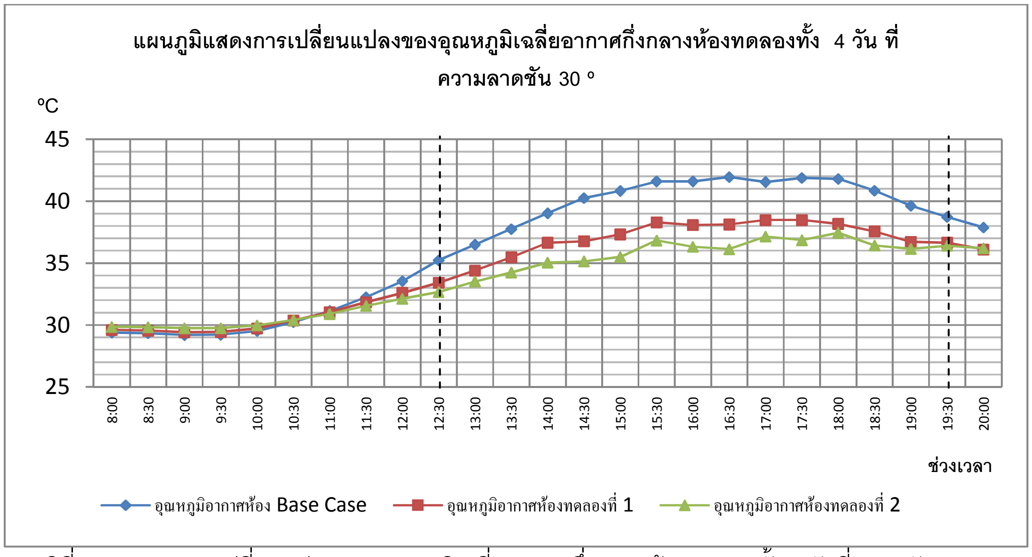
5.1 การอภิปรายช่วงเวลาที่ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิห้องมีความเปลี่ยนแปลง



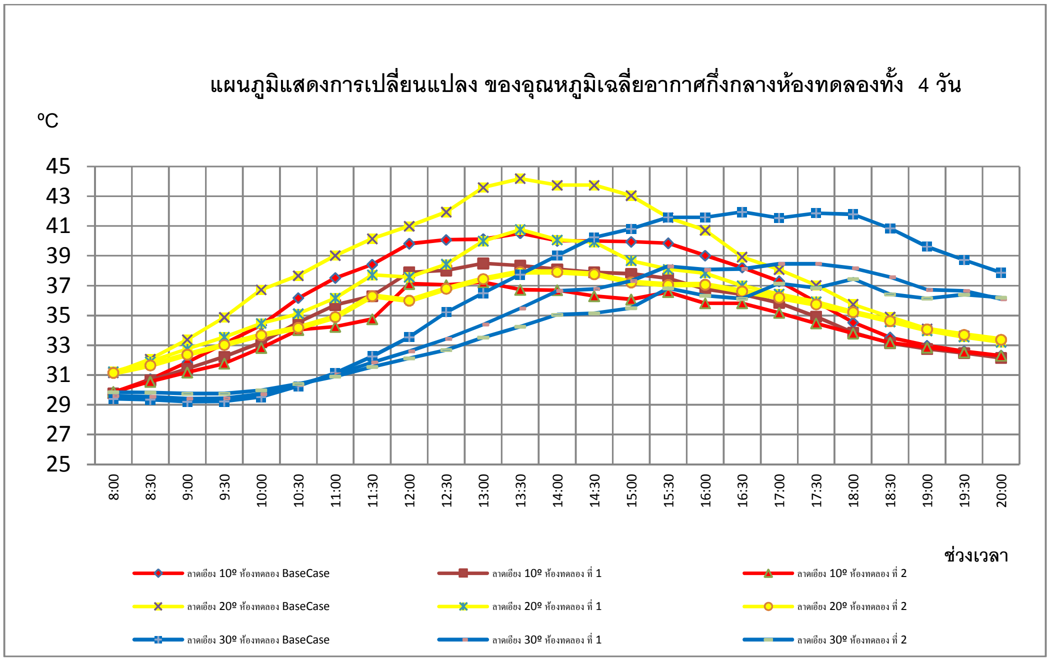
แผนภูมิที่ 5 -1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศกึ่งกลางห้องทดลองทั้ง 4 วันที่ความชัน 10°



แผนภูมิที่ 5 -2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศกึ่งกลางห้องทดลองทั้ง 4 วันที่ความชัน 20º



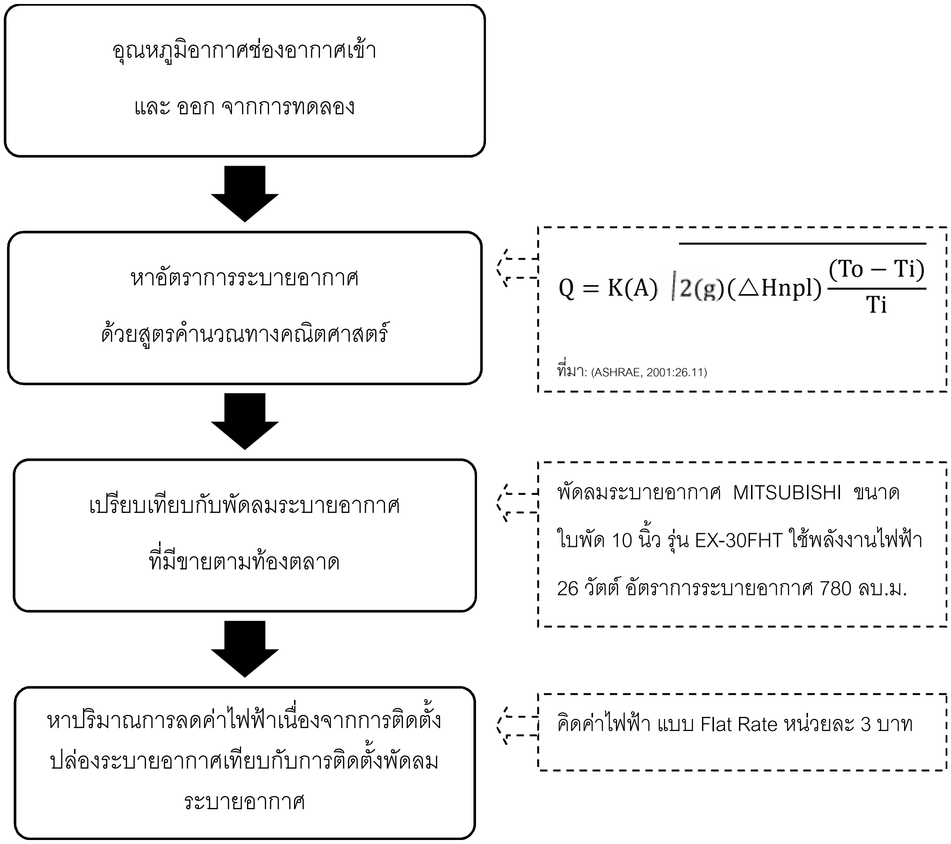
แผนภูมิที่ 5 -3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศกึ่งกลางห้องทดลองทั้ง 4 วันที่ความชัน 30º



แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลง ของอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศกึ่งกลางห้องทดลองทั้ง 4 วัน
ºC
45
43
41
39
37
35
33
31
29
27
25
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
ลาดเอียง 10º ห้องทดลอง BaseCase
ลาดเอียง 10º ห้องทดลอง ที่ 1
ลาดเอียง 10º ห้องทดลอง ที่ 2
ลาดเอียง 20º ห้องทดลอง BaseCase
ลาดเอียง 20º ห้องทดลอง ที่ 1
ลาดเอียง 20º ห้องทดลอง ที่ 2
ลาดเอียง 30º ห้องทดลอง BaseCase
ลาดเอียง 30º ห้องทดลอง ที่ 1
ลาดเอียง 30º ห้องทดลอง ที่ 2

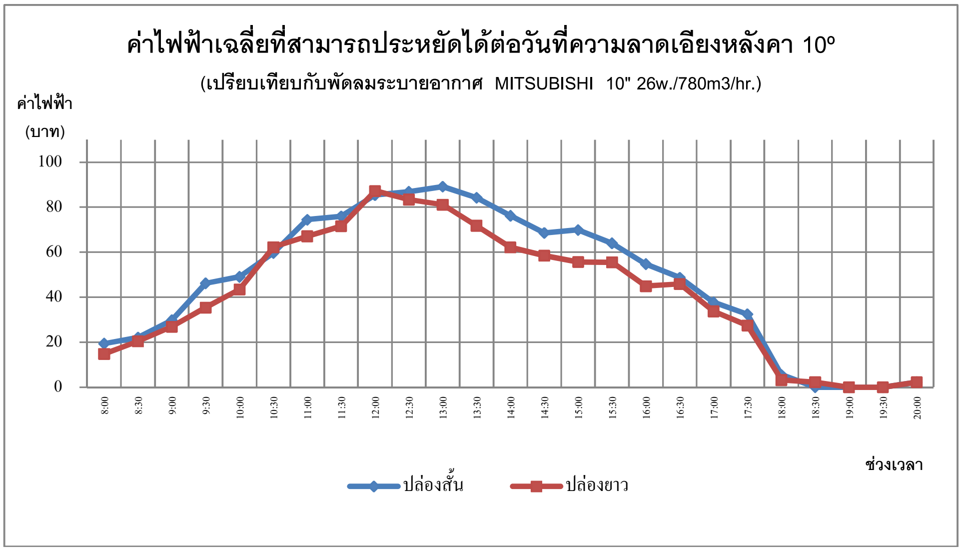
ห้องทดลองที่ 2 (ติดตั้งปล่องยาว) มีความอุณหภูมิอากาศแตกต่างกันสูงสุด 7.5ºC ในช่วงเวลา 15.30-16.30 น.

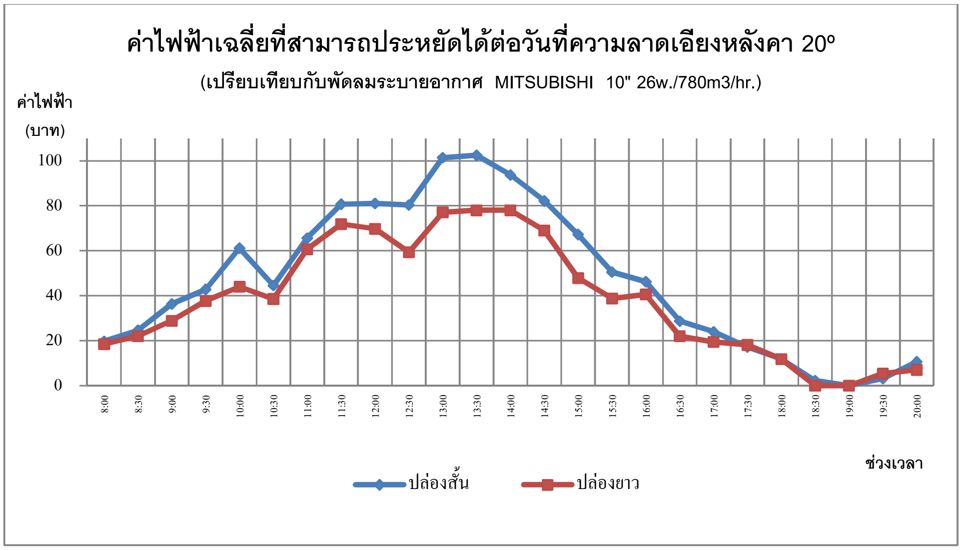
5.2 การอภิปรายประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

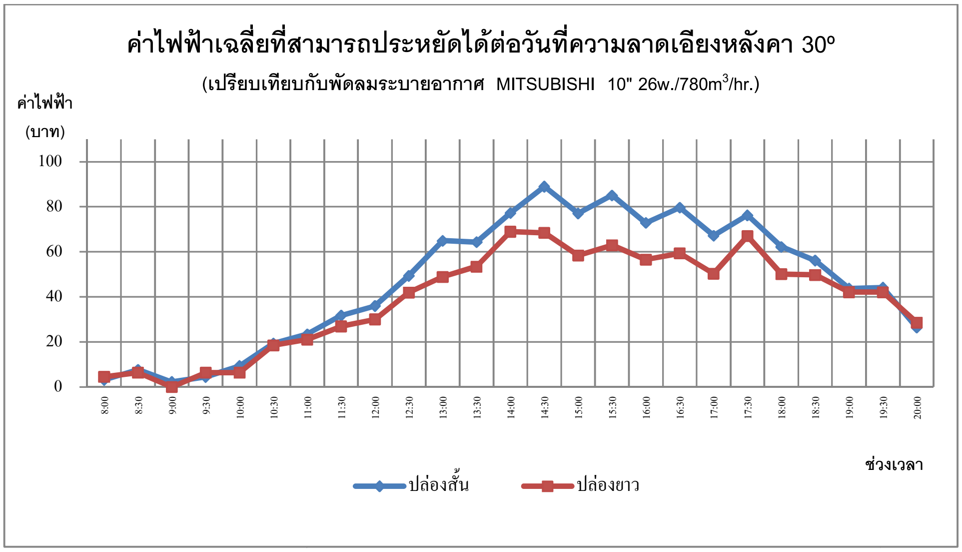


แผนภูมิที่ 5 -5 แสดงขั้นตอนการอภิปรายประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

จากแผนภูมิที่ 5-5 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการอภิปรายประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ กับหลังคาลอนคู่กับอาคารพักอาศัยในประเทศไทย โดยใช้การคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการศึกษาในบทที่ 2 โดยการนำข้อมูลอากาศที่ตำแหน่งอากาศเข้า และอากาศออกของทุกการทดลอง มาคำนวณหาอัตราการระบายอากาศที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ (จากบทที่ 2 หน้า 15) จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ กับพัดลมระบายอากาศมาตรฐานตามท้องตลาด (พัดลมระบายอากาศ Mitsubishi EX-30FHT) และคำนวณมูลค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (จากบทที่ 2 หน้า 17)


ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถประหยัดได้ต่อวันที่ความลาดเอียงหลังคา 10º
(เปรียบเทียบกับพัดลมระบายอากาศ MITSUBISHI 10" 26w./780m3/hr.)
ค่าไฟฟ้า
(บาท)
100
80
60
40
20
0
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
ปล่องสั้น
ปล่องยาว

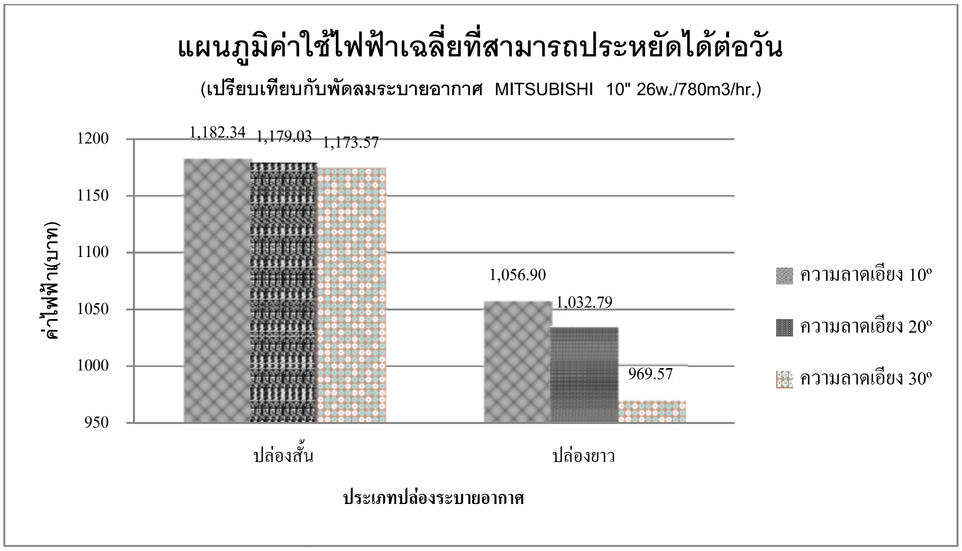

ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถประหยัดได้ต่อวันที่ความลาดเอียงหลังคา 20º
(เปรียบเทียบกับพัดลมระบายอากาศ MITSUBISHI 10" 26w./780m3/hr.)
ค่าไฟฟ้า
(บาท)
100
80
60
40
20
0
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
16:30
17:00
17:30
18:00
18:30
19:00
19:30
20:00
ช่วงเวลา
ปล่องสั้น
ปล่องยาว



แผนภูมิที่ 5 -8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศกึ่งกลางห้องทดลองทั้ง 4

จากแผนภูมิที่ 5-5 ถึง 5-8 แสดงให้เห็นว่า ลักษณะของแผนภูมิค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถประหยัดได้ (เมื่อเทียบกับการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ) มีรูปร่างและ ลักษณะคล้ายกับแผนภูมิที่ 5-1 ถึง 5-4 ที่แสดงถึงอุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง ซึ่งแสดงผลถึงช่วงเวลาการทำงานสอดคล้องกับช่วงเวลาการประหยัดพลังงาน

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าในทุกความชันปล่องสั้นสามารถประหยัดได้มากกว่าปล่องยาว



แผนภูมิที่ 5 -9 แสดงแผนภูมิค่าใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่สามารถประหยัดได้ต่อวัน

จากแผนภูมิที่ 5-9 แสดงให้เห็นว่า ปล่องสั้นสามารถประหยัดได้มากกว่า ปล่องยาวในทุกชุดการทดลอง (ทุกความชัน) โดย ที่ความชัน 10º ปล่องสั้น จะมีประสิทธิภาพมากกว่าปล่องยาว 10.6% ที่ความชัน 20º ปล่องสั้น จะมีประสิทธิภาพมากกว่าปล่องยาว 12.4% และ ที่ความชัน 10º ปล่องสั้น จะมีประสิทธิภาพมากกว่าปล่องยาว 17.4%

ในด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้า การติดตั้งปล่องระบายอากาศแบบสั้น สามารถทำให้เกิดการระบายอากาศสูงสุด 12,474 ลบ.ม.ต่อ ชม. ต่อ วัน หรือเทียบเท่ากับ การเปิดพัดลมระบายอากาศประมาณ 16 ชม. ต่อวัน (พัดลม MITSUBISHI ขนาดใบพัด 10 นิ้ว รุ่น EX-30FHT ใช้พลังงานไฟฟ้า 26 วัตต์ อัตราการระบายอากาศ 780 ลบ.ม.ต่อ ชม.) ซึ่งจะใช้เสียค่าไฟฟ้า 1,182.34 บาท ต่อวัน

5.3 **สรุปผลการทดลอง**

ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ที่หันรับแสงอาทิตย์ทางทิศใต้ ที่ตั้งอยู่ จ.นนทบุรี ในประเทศไทย มีความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง ในช่วงเวลากลางวัน (ช่วงที่ได้รับแสงอาทิตย์)ในทุกๆ รูปแบบการทดลอง(ความชันที่ 10º, 20º และ30º) ซึ่งทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงมีนาคม 2556 (ระยะเวลา 2 เดือน)

การปรับความชันของปล่องระบายอากาศในการทดลอง มีผลต่อช่วงเวลาที่ปล่องระบายอากาศสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องทดลอง โดยที่ความชัน 10º สามารถลดอุณหภูมิ (ลดได้มากกว่า 2ºC เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศห้อง Base Case) ได้อย่างชัดเจนตลอดทั้งวัน (ช่วงเวลาประมาณ 9.30 น. -16.30 น.) และอุณหภูมิอากาศของห้องทดลองBase Case และห้องทดลองที่ 2 (ติดตั้งปล่องยาว) มีความอุณหภูมิอากาศแตกต่างกัน 2 -5ºC ในช่วงเที่ยงวัน (ช่วงเวลาประมาณ 12.00-13.00 น.) ที่ความชัน 20º สามารถลดอุณหภูมิ (ลดได้มากกว่า 2ºC เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศห้อง Base Case) ได้อย่างชัดเจนตลอดทั้งวัน (ช่วงเวลาประมาณ 9.30 น. -16.00 น.) และอุณหภูมิอากาศของห้องทดลองBase Case และ ห้องทดลองที่ 2 (ติดตั้งปล่องยาว) มีความอุณหภูมิอากาศแตกต่างกัน 2 -7.6ºC ในช่วงเที่ยงวัน (ช่วงเวลาประมาณ 12.00-13.30 น.) และที่ความชัน 30º สามารถลดอุณหภูมิ (ลดได้มากกว่า 2ºC เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศห้อง Base Case) ได้อย่างชัดเจน ในช่วงหลังเที่ยงถึงเย็น (ช่วงเวลาประมาณ 12.30 น. -19.30 น.) และอุณหภูมิอากาศของห้องทดลอง Base Case และ ห้องทดลองที่ 2

(ติดตั้งปล่องยาว) มีความอุณหภูมิอากาศแตกต่างกัน 2 ºC -7.5ºC ในช่วงเย็น (ช่วงเวลาประมาณ 15.30-16.30 น.)

ปล่องระบายอากาศแบบสั้น สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า ปล่องยาวในทุกชุดการทดลอง (ทุกความชัน) โดยที่ความชัน 10º ปล่องสั้น จะมีประสิทธิภาพมากกว่าปล่องยาว 10.6 % ที่ความชัน 20º ปล่องสั้น จะมีประสิทธิภาพมากกว่าปล่องยาว 12.4 % และที่ความชัน 10º ปล่องสั้น จะมีประสิทธิภาพมากกว่าปล่องยาว 17.4 % ในด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้า การติดตั้งปล่องระบายอากาศแบบสั้น สามารถทำให้เกิดการระบายอากาศ 10,702 -12,474 ลบ.ม.ต่อ ชม. ต่อ วัน หรือเทียบเท่ากับ การเปิดพัดลมระบายอากาศประมาณ 13 -16 ชม. ต่อวัน (พัดลม MITSUBISHI ขนาดใบพัด 10 นิ้ว รุ่น EX-30FHT ใช้พลังงานไฟฟ้า 26 วัตต์ อัตราการระบายอากาศ 780 ลบ.ม.ต่อ ชม.) ซึ่งจะเสียค่าไฟฟ้า 1,070 -12,474 บาท ต่อวัน (ห้องทดลอง ขนาดกว้าง 1.20 เมตร ยาว 2.5 เมตร และสูง 2.35 เมตร)

5.4 การออกแบบปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์เพื่อประยุกต์ใช้กับหลังคากระเบื้องลอนคู่เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารพักอาศัย ในประเทศไทย

การออกแบบปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้เกิดการระบายอากาศ และลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร การประยุกต์ใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคาอาคารพักอาศัยทั่วไป เป็นแนวทางในการลดอุณหภูมิภายในอาคารพักอาศัยได้ด้วยตนเอง เพียงเปลี่ยนแผ่นกระเบื้องหลังคาลอนคู่เป็นปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ ซึ่งมีประโยชน์ทั้งกับเจ้าของบ้าน ในเรื่องการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติโดยรวมของประเทศอีกด้วย

5.5 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ในงานวิจัยต่อไป

5.5.1 การวิจัยต่อไปควรศึกษาสัดส่วนปริมาตรของห้องทดลอง กับจำนวนปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์

5.5.2 การวิจัยต่อไปควรทดลองใช้วัสดุในการสร้างปล่องระบายอากาศ ที่มีคุณสมบัตินำความร้อน และหน่วงความร้อนได้ดี

5.5.3 การวิจัยต่อไปประยุกต์ใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์กับหลังคาประเภทอื่นๆ

5.5.4 การวิจัยต่อไปควรทดลองทำการทดลองให้ครอบคลุมตลอดทั้งปี เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศในช่วงเดือนต่างๆ

รายการอ้างอิง

<u>ภาษาไทย</u>

ตรึงใจ บูรณสมภพ, <u>การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน</u>, กรุงเทพฯ: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2539.

ธนิต จินดาวณิค, <u>สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี</u>, (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล. <u>การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น: กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,</u> วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

พรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า. <u>การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในเขตร้อน,</u> วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

อภิธัช พรหมสิริแสง. <u>การพัฒนารูปแบบการไหลเวียนอากาศของหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร,</u> วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

มหพันธ์, คู่มือการติดตั้งหลังคาลอนคู่ห้าห่วง [ออนไลน์], 21 เมษายน 2556. http://www.mahaphant.com

ภาษาอังกฤษ

Olgyay, V. United States: Princeton University Press. Design with Climate (1967) : 32.

Critchfield, H. J. New Delhi: Prentice Hall of India Private Limited, Third Edition General Climatology (1979) : 16.

Anderson, B. N. Fundamentals in Building Design. Solar Energy (1977) : 354-355.

Jyotirmay, M.; Sanjay, M. and Anupma. Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation. Energy and Buildings 38 (2006): 1156-1163.

Sakonidou, E. P.; Karapantsios, T. D.; Balouktsis, A. I. and Chassapis, D. Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow. Solar Energy 82 (2008) : 80-94.

Wardah, F. M. Y.; Elias, S., Nor, M. A.; Abdul, R. S. and Mohamad Y. S., Enhancement of stack ventilation in hot and humid climate using a combination of roof solar collector and vertical stack. Building and Environment 45 (2010) : 2296-2308.

Wilkes, E. K. and Rucker I. J. Thermal performance of residential Attic Insulation. Energy and Buildings 5 (1983) : 263-277.

Ong, K. S. Temperature reduction in attic and ceiling Via insulation of several passive roof designs. Energy Conversion and Management 52 (2011) : 2405–2411.

Kai L. Uemoto , Neide M.N. Sato b, Vanderley M. John a. Estimating thermal performance of cool colored paints. Energy and Buildings 42 (2010) : 17–22.

Rakesh Khanal, Chengwang Lei. Solar chimney - A passive strategy for natural ventilation. Energy and Buildings 43 (2011) : 1811-1819.

Bansal, N. K.; Mathur, R. and Bhandari, M. S. Solar chimney for enhanced stack ventilation. Building and Environment Vol.28 (1999) : 373-377.

Chi-ming Lai, J.Y. Huang, J.S. Chiou. Optimal spacing for double-skin roofs. Building and Environment 43 (2008) : 1749–1754.

Sudaporn Chungloo and Bundit Limmeechokchai. Application of passive cooling systems in the hot and humid climate :The case study of solar chimney and wetted roof in Thailand. Building and Environment 42 (2007) : 3341–3351.

Maerefat and Haghighi. Natural cooling of stand-alone houses using solar chimney and evaporative cooling cavity. Renewable Energy 35 (2010) : 2040–2052.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 1 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก
8:00:00	28	28.4	-	27.5	28.2	27.4	27.5	28.1	27.2
8:30:00	28.7	28.8	-	28.4	28.4	27.8	28.4	28.5	28.6
9:00:00	29.7	29.2	-	29.6	29	30.6	29.2	29	30.3
9:30:00	31	29.7	-	30.5	29.7	31.9	30	29.5	31.8
10:00:00	32.7	30	-	32.4	30.2	35	32.4	29.8	34.8
10:30:00	34.7	30.6	-	33.7	31.6	34.4	34.7	30.8	37
11:00:00	36.2	30.4	-	35	30.7	37.8	33	30.7	37.5
11:30:00	36.9	31	-	36.6	31.3	38.3	34.4	31.1	38.4
12:00:00	37.9	31.1	-	36.4	31.4	40.7	34.3	31.2	40.4
12:30:00	38.2	31.5	-	37	31.9	38.2	37.2	31.7	38.7
13:00:00	38.1	31.6	-	37.5	32	40.1	35.9	31.8	39.6
13:30:00	38.7	31.7	-	37.9	32.1	39.3	37.2	32	39.2
14:00:00	38.6	32.5	-	38.5	33	40.1	37.9	32.7	40.7
14:30:00	38.9	32.3	-	37.9	32.6	40.5	35.7	32.3	40.1
15:00:00	38.5	32.3	-	37.4	32.8	40	35.5	32.8	39.7
15:30:00	38.7	32.6	-	37.7	33.3	39.2	37.9	33.1	39.4
16:00:00	37.7	32.6	-	36.5	32.9	37.6	35.6	32.8	37.9
16:30:00	37.3	32.5	-	36.3	33.4	37.2	36	33	38.4
17:00:00	36.6	32.9	-	35.9	33.5	36	35.1	33.1	36.7
17:30:00	35.6	32.7	-	34.9	33.1	35.8	34.4	33	35.5
18:00:00	34.3	32.9	-	33.2	33	32.2	33.2	33	32.9
18:30:00	33.1	32.7	-	32.4	32.5	31.7	32.3	32.3	32
19:00:00	32.7	32.7	-	32.2	32.4	31.7	32.1	32.3	31.8
19:30:00	32.3	32.4	-	31.9	31.9	31.2	31.8	31.8	31.4
20:00:00	32	32.2	-	31.6	31.6	30.7	31.6	31.6	30.9

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 1 วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก
8:00:00	30.4	30.6	-	30.6	30.7	33.2	30.8	30.8	31.6
8:30:00	31.8	31.6	-	32	31.6	33.9	31.7	31.7	33.3
9:00:00	33	32	-	32.4	32.2	33.5	32.2	32.3	33.3
9:30:00	34.4	32.3	-	33.4	32.5	35.1	32.8	32.6	34.5
10:00:00	35.7	32.6	-	34.1	32.8	35.4	33.4	32.8	35.8
10:30:00	37	32.9	-	35.5	33.2	37.5	34.3	33.1	37.6
11:00:00	38.6	33.3	-	37.4	33.4	40.7	35.9	33.4	40.3
11:30:00	39	33.5	-	36.6	34	40.8	35.3	33.8	41
12:00:00	41.2	34.1	-	41	35.7	43.3	42.5	34.7	45.6
12:30:00	40	34.3	-	39	34.8	41.6	39.2	34.7	42.9
13:00:00	41.5	34.5	-	41.2	35.1	43.4	41.2	35.4	45
13:30:00	41.9	34.5	-	40	35.2	44.7	37.8	35	44
14:00:00	39.5	34.9	-	37.7	35.1	39.9	36.5	36	38.7
14:30:00	38.3	35.5	-	36.9	36	38.3	36.3	36.1	37.1
15:00:00	38.7	35.9	-	37.1	35.8	38.3	36.2	36.2	37.5
15:30:00	40	35.3	-	37.6	35.9	41.3	36.4	35.7	39.4
16:00:00	39.8	35.7	-	37.2	36	38.8	36.2	36.1	37.7
16:30:00	38.7	35.9	-	36.8	35.8	38.7	36	35.7	37.6
17:00:00	38	35.6	-	36.4	35.4	37.1	35.8	35.2	36.2
17:30:00	36.3	34.7	-	35.3	34.6	35.2	34.9	34.5	35
18:00:00	35	34.8	-	34.5	34.4	33.9	34.5	34.3	34.2
18:30:00	34	34.3	-	33.7	33.7	33.4	33.8	33.5	33.6
19:00:00	33.3	33.7	-	33.2	33.3	32.8	33.5	33.5	33.1
19:30:00	32.8	33.3	-	32.9	32.8	32.6	33	32.9	32.8
20:00:00	32.7	33.1	-	32.7	32.6	32.5	33	32.7	32.6

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 1 วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก
8:00:00	30.5	30.6	-	30.6	30.4	30.7	30.7	30.4	30.8
8:30:00	31.2	31.1	-	31.1	30.8	31.3	31.1	30.9	31.3
9:00:00	32.2	31.5	-	31.8	31.5	32.2	31.7	31.4	32.1
9:30:00	33.4	32	-	32.5	32.1	34.1	32.1	32.1	32.8
10:00:00	33.7	32.3	-	32.9	32.2	33.8	32.7	32.3	33
10:30:00	35.8	32.8	-	34	33.3	35.6	33.4	33.2	34.7
11:00:00	36.7	33.2	-	34.6	33.7	36.6	33.9	33.8	36.3
11:30:00	38.5	33.7	-	35.6	33.9	38.9	34.6	34	37.6
12:00:00	39.8	34	-	37.5	34.2	42.4	35.4	34.1	41.3
12:30:00	41.2	34.5	-	38	34.7	44.7	35.7	35.2	41.7
13:00:00	40.1	34.5	-	37.3	35.1	41.2	35.8	35.1	40.1
13:30:00	40.1	35	-	37.5	35.2	41.5	36	35.1	39.6
14:00:00	40.1	34.8	-	37.8	35.1	40.9	35.9	35	38.4
14:30:00	40.6	35	-	37.3	35.4	39.7	35.9	35.5	38
15:00:00	40.6	35.4	-	37.6	35.6	41.5	36.2	35.4	38.8
15:30:00	40.4	35.2	-	37.3	35.2	39.9	35.9	35.3	37.4
16:00:00	39.3	34.9	-	36.8	35.2	39.3	35.7	35.3	37.5
16:30:00	38.5	35.7	-	36.2	35.3	37.4	35.7	35.1	36.7
17:00:00	36.8	34.7	-	35.2	34.5	35.5	34.6	34.2	34.9
17:30:00	35.5	34.2	-	34.5	33.2	34.5	34.1	33.3	34
18:00:00	34.1	33.9	-	33.5	33.4	33.4	33.5	33.1	33.3
18:30:00	33.2	33.5	-	32.9	33	32.6	33	32.9	32.6
19:00:00	32.8	32.9	-	32.6	32.5	32	32.7	32.5	32.3
19:30:00	32.6	32.9	-	32.5	32.4	31.4	32.5	32.5	32
20:00:00	32.1	32.5	-	32	32.1	31.6	32.2	32	32

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 1 วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก
8:00:00	30.4	30.3	-	30.4	30.2	30.5	30.5	30.2	30.5
8:30:00	31.2	30.9	-	31.1	30.7	31.4	31	30.7	31.1
9:00:00	32.5	31.5	-	31.9	31.5	32.3	31.6	31.6	32.2
9:30:00	33.6	31.8	-	32.5	31.9	35.2	32.2	31.9	33.3
10:00:00	35.3	32.2	-	33.4	32.2	34.8	32.8	32.9	34.2
10:30:00	37.2	32.8	-	34.9	32.7	40.2	33.7	32.6	39
11:00:00	38.6	33.3	-	35.8	33.3	40.7	34.2	33.2	38
11:30:00	39.3	33.4	-	36.4	33.7	40.1	34.7	34.1	39.3
12:00:00	40.4	33.9	-	36.7	34.5	40.4	36.3	34.5	40.2
12:30:00	40.9	33.8	-	38.1	34.4	43.3	36.1	34.2	42.9
13:00:00	40.8	34.7	-	38	35.3	46.3	36	34.9	41.7
13:30:00	41.4	34.6	-	38	35.1	42.4	35.9	35.6	38.8
14:00:00	41.9	35.7	-	38.4	35.7	43.5	36.5	35.2	39.6
14:30:00	42.2	35.1	-	39.5	35.5	42.8	37.3	35.3	41.6
15:00:00	42	35.9	-	39.1	35.8	42.5	36.4	35.6	39.5
15:30:00	40.3	35.1	-	37.4	36.2	39	36.1	35.6	38.5
16:00:00	39.3	35.7	-	36.6	35.1	37.6	35.8	35.2	36.6
16:30:00	38.4	35.4	-	36.4	35.4	37.9	35.6	35.2	37
17:00:00	37.8	34.9	-	35.9	34.7	36.5	35.2	34.7	35.6
17:30:00	36.2	34.7	-	35	34.1	35	34.5	34	34.5
18:00:00	34.7	34.2	-	34.2	33.6	34.2	34	33.7	33.6
18:30:00	33.8	34	-	33.6	33.3	33.3	33.6	33.3	33.2
19:00:00	33.1	33.3	-	33	32.8	32.8	33.1	32.8	32.8
19:30:00	32.7	33.2	-	32.6	32.5	32.5	32.8	32.5	32.3
20:00:00	32.4	32.5	-	32.3	32	32.1	32.4	31.9	32

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 2 วันที่ 22 มีนาคม 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศออก
8:30:00	31.5	31.2	-	31.5	31	31.5	31.2	31	31.6
9:00:00	33.2	31.7	-	32.3	31.9	32.7	31.9	32	32.6
9:30:00	34.7	32.2	-	33	32.3	33.5	32.5	32.4	33.2
10:00:00	36.4	32.5	-	34.1	32.6	38.4	33.4	32.7	35.6
10:30:00	36.6	32.9	-	34.5	33.3	36.4	33.6	33.5	35.2
11:00:00	37.2	33.7	-	34.9	34	36.6	34.1	34	35.9
11:30:00	38.8	33.8	-	36	34.2	38.8	34.7	34.1	38.1
12:00:00	40.3	33.8	-	36.9	34.3	41.1	35.3	34.1	40.8
12:30:00	41.8	34.2	-	38.6	34.5	45.8	36.9	34.4	41.6
13:00:00	42.4	35.2	-	38.3	35.3	44.7	36.2	35.2	40.1
13:30:00	42.2	35.1	-	38.5	35.7	42.1	36.4	35.4	39.4
14:00:00	42.4	35	-	37.9	35.7	42.2	36.3	35.6	39.6
14:30:00	41.1	35.1	-	37.6	35.8	40.3	36.3	35.8	39.2
15:00:00	41.6	35.7	-	37.3	35.9	41	36.1	35.9	38.6
15:30:00	39.9	35.5	-	36.8	35.8	38.3	35.9	35.8	37.4
16:00:00	39.2	36	-	36.6	35.9	37.6	36.2	36.2	37.4
16:30:00	37.4	35.3	-	35.7	35.3	36.1	35.3	35.3	35.6
17:00:00	36.4	34.9	-	35.3	35	35.5	35	35	35.1
17:30:00	35.2	35.1	-	34.6	34.4	34.5	34.5	34.2	34.4
18:00:00	34.4	34.1	-	34	33.8	34	34	33.8	33.8
18:30:00	33.9	34.1	-	33.6	33.6	33.5	33.6	33.5	33.4
19:00:00	33.2	33.6	-	33.1	33	33	33.1	32.9	32.8
19:30:00	32.8	33.1	-	32.6	32.4	32.6	32.8	32.4	32.6
20:00:00	32.4	32.9	-	32.4	31.9	32.3	32.4	31.9	32.2

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 2 วันที่ 23 มีนาคม 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลาง ช่องอากาศออก
8:30:00	32.1	31.3	-	31.8	31.3	32.2	31.6	31.3	32
9:00:00	32.7	31.6	-	32.5	31.8	33.3	32.1	32.1	33
9:30:00	34.4	31.9	-	33.5	32.1	34.8	32.9	32.2	35.2
10:00:00	36.7	32.4	-	34.2	33	36.8	33.6	33.4	35.1
10:30:00	38.7	33.1	-	35.1	33.9	36.9	34.2	34.4	36
11:00:00	39.3	33.6	-	36	34.1	39.2	34.7	34.4	38.7
11:30:00	40.8	33.9	-	37.6	34.2	44.2	35.9	34	42.9
12:00:00	40.9	34	-	37.7	34.7	43.1	36.1	34.8	40.9
12:30:00	41.1	35.1	-	37.4	36.2	39.6	36.4	36	38
13:00:00	44.2	34.5	-	40.1	35.1	45	37.3	34.9	42.7
13:30:00	44.1	35.6	-	40.7	35.9	48.8	38.1	35.5	42.7
14:00:00	43	35.7	-	39.7	35.9	46.5	37.6	35.9	43.2
14:30:00	44.4	36.7	-	39.5	36.7	43.5	37.2	36.5	40.7
15:00:00	44.2	36.2	-	39.1	37	42.8	37.3	37.2	40.3
15:30:00	42.1	36.4	-	38	36.6	40.3	36.9	37	38.7
16:00:00	41.7	36.5	-	38.7	36.5	40.6	37.3	36.4	40.2
16:30:00	39.9	36.7	-	37.1	36.4	37.6	36.8	36.3	37.1
17:00:00	38.3	35.7	-	36.5	36.1	36.8	36.2	36.1	36.8
17:30:00	37.3	36.1	-	36	35.8	36.4	35.9	35.8	36.3
18:00:00	36	35.9	-	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.7
18:30:00	34.9	34.9	-	34.7	34.8	34.5	34.8	34.9	34.6
19:00:00	34	34.3	-	34	34.3	33.5	34.3	34.4	33.6
19:30:00	33.5	34.2	-	33.7	33.9	33.5	33.9	34	33.5
20:00:00	33.3	33.7	-	33.3	33.7	33.3	33.6	33.6	33.2

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 2 วันที่ 24 มีนาคม 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก
8:30:00	32.2	31.8	-	32.1	31.7	32.4	31.8	31.7	32.3
9:00:00	33.4	32.2	-	32.9	32.3	33.6	32.5	32.4	33.2
9:30:00	34.9	32.8	-	33.7	32.7	35.6	33.3	32.8	34.8
10:00:00	36.6	33.1	-	34.5	33.2	35.7	33.7	33.6	35
10:30:00	38.1	33.3	-	35.6	33.6	37	34.3	33.4	36.6
11:00:00	39.7	33.4	-	37.3	33.9	40.7	35.6	33.8	40.9
11:30:00	39.6	34.4	-	36.5	35.3	38.5	35.4	35.7	38.7
12:00:00	41.6	34.6	-	37.7	35.5	40.5	36.2	36.3	39.8
12:30:00	41.8	35.3	-	38.2	35.9	40.6	36.5	36.9	38.8
13:00:00	43.6	35.2	-	40.6	36.3	44.1	37.9	35.9	42.4
13:30:00	45.6	36.5	-	41.8	36.4	48.5	38	36.2	43.8
14:00:00	44.7	35.8	-	41.2	36.4	46.1	38.8	36.1	44.4
14:30:00	44.8	36.4	-	40.4	37.2	44.3	37.9	36.7	42.5
15:00:00	43.7	37.3	-	39.2	37.6	41.8	37.8	37.7	40.1
15:30:00	40.7	37	-	37.9	37	38.7	37.3	37	38.2
16:00:00	39.8	36.4	-	37.5	36.5	38	36.9	36.6	37.7
16:30:00	38.6	36.1	-	37	36.7	37.6	36.7	36.6	37.2
17:00:00	38.4	36.3	-	36.6	35.8	36.9	36.3	35.7	36.5
17:30:00	37.4	36.4	-	36.1	35.7	36.2	35.9	35.6	36
18:00:00	36	36	-	35.4	35.2	35.4	35.3	35	35.2
18:30:00	35.1	35	-	34.7	34.6	34.6	34.7	34.6	34.5
19:00:00	34.3	34.7	-	34.1	34.1	34	34.2	34.1	34
19:30:00	33.9	34.2	-	33.7	33.7	33.7	33.8	33.6	33.7
20:00:00	33.5	33.8	-	33.3	33.2	33.3	33.5	33.1	33.1

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 2 วันที่ 25 มีนาคม 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก
8:30:00	32.5	32	-	32.2	31.9	32.8	32	31.9	32.4
9:00:00	34.2	32.4	-	33.3	32.4	35.5	33	32.5	34.5
9:30:00	35.5	32.7	-	34	33.1	35.2	33.4	33.4	34.8
10:00:00	37.2	33	-	35.1	33.3	38.5	34	33.2	36.8
10:30:00	37.3	33.9	-	35.3	34.8	35.4	34.6	34.8	35.8
11:00:00	39.9	34.1	-	36.5	34.7	40	35.2	35	39.4
11:30:00	41.4	34	-	40.8	35.1	46.5	39.2	34.9	43.2
12:00:00	41.2	34.6	-	38	35.3	43.6	36.4	35.7	41.8
12:30:00	43.1	35.2	-	39.6	35.5	45	37.4	35.4	42.1
13:00:00	44.2	35.2	-	41	36.1	50.8	38.4	35.9	43.6
13:30:00	44.9	35.7	-	42.1	36.2	47.4	39.2	36	44.9
14:00:00	44.9	35.9	-	41.5	36.7	46.5	39	36.6	44.6
14:30:00	44.7	35.8	-	42.2	37.1	48.3	39.7	36.6	45.6
15:00:00	42.7	36.4	-	39.1	37	42.4	37.7	37.6	40.5
15:30:00	43.6	37.2	-	39.7	37.8	42.3	38.1	37.6	40.7
16:00:00	42.2	37	-	38.6	37.5	40.8	37.9	37.5	39.9
16:30:00	39.8	36.9	-	38.2	37.5	38.7	37.7	37.7	38.5
17:00:00	39.2	36.9	-	37.4	37.3	37.9	37.3	37.4	37.9
17:30:00	38.2	36.8	-	37	36.8	37.2	36.7	36.7	37.3
18:00:00	36.6	35.8	-	36.1	35.4	36	36.1	35.4	36
18:30:00	35.7	35.6	-	35.3	35.3	35.4	35.4	35.2	35.2
19:00:00	34.9	34.9	-	34.7	34.7	34.7	34.7	34.6	34.4
19:30:00	34.3	34.6	-	34.2	34	34	34.3	34	34
20:00:00	33.8	34.2	-	33.8	33.5	33.8	34	33.4	33.6

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 3 วันที่ 10 มีนาคม 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก
8:30:00	29.1	29.3	-	29.3	29	29.2	29.6	29.2	29.2
9:00:00	29	29.5	-	29.2	29.2	29	29.5	29.2	29.2
9:30:00	29	29.4	-	29.3	29.1	29.2	29.5	29.1	29.3
10:00:00	29.3	29.6	-	29.5	29.5	29.4	29.7	29.5	29.5
10:30:00	30.2	30.2	-	30.2	30	30.3	30.2	30	30.3
11:00:00	30.8	30.6	-	30.7	30.4	31	30.6	30.4	30.8
11:30:00	31.7	31.1	-	31.5	30.9	32.2	31.3	30.9	31.6
12:00:00	33.3	31.4	-	32.5	31.6	33.3	31.9	31.6	33.1
12:30:00	34.8	32	-	32.9	31.8	34.5	32.2	32	33.6
13:00:00	36.4	32.1	-	34	32.7	35.1	33.1	33.1	35
13:30:00	36.9	32.3	-	34.2	32.5	36.8	33.2	32.3	35.6
14:00:00	36.6	32.9	-	34.5	33.5	35.9	33.5	33.7	35.1
14:30:00	39.2	33.5	-	35.8	33.4	38.3	34.2	33.3	36.8
15:00:00	37.9	33.6	-	34.9	34.2	36.1	34	34.3	35.1
15:30:00	38.5	33.7	-	35.3	34.2	37.6	34.4	34.3	35.9
16:00:00	39.8	33.5	-	36.4	34.4	38.9	35	33.9	38.3
16:30:00	38.3	34.4	-	35.7	34.6	38.8	34.7	34.5	36.3
17:00:00	39	33.9	-	36.1	34.9	38	35	34.7	36.8
17:30:00	40.3	33.9	-	36.7	34.6	40.4	35.5	34.3	39.2
18:00:00	40.1	34.3	-	36.6	34.8	38.6	35.4	35	37.7
18:30:00	39.5	34.4	-	36.2	35.1	38.4	35.3	34.7	37.8
19:00:00	38.4	34.5	-	35.4	34.8	36.1	35.1	34.9	36.4
19:30:00	37.1	34.6	-	35	34.5	35.6	34.8	34.7	35.6
20:00:00	36.1	34.2	-	34.7	34.4	34.9	34.5	34.5	35.1

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 3 วันที่ 11 มีนาคม 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก
8:30:00	29.5	29.8	-	29.7	29.5	29.6	29.9	29.6	29.8
9:00:00	29.4	29.9	-	29.6	29.7	29.6	29.8	29.7	29.6
9:30:00	29.5	29.9	-	29.6	29.7	29.6	29.8	29.6	29.6
10:00:00	29.8	29.8	-	29.9	29.6	29.9	30.1	29.8	30
10:30:00	30.4	30.5	-	30.4	30.2	30.6	30.4	30.2	30.6
11:00:00	31.6	30.9	-	31.3	30.9	31.5	31.1	30.8	31.5
11:30:00	32.9	31.3	-	31.9	31.3	32.5	31.6	31.3	32.2
12:00:00	33.1	31.5	-	32.2	31.8	32.6	31.9	31.7	32.4
12:30:00	34.9	32	-	33	32	34.4	32.6	32.1	33.9
13:00:00	35.9	32.4	-	33.7	32.8	35.9	33.1	33.2	34.6
13:30:00	38.1	32.9	-	35	33	37.1	33.9	33	36.4
14:00:00	39.6	32.9	-	36.4	33.4	41.4	34.8	33.2	40
14:30:00	40.2	33.9	-	36.5	34.2	40	35	34	38
15:00:00	41.4	34.1	-	38.3	34.4	43.3	35.9	34	40.5
15:30:00	42.8	34.7	-	37.5	35	43.5	35.9	35	39.4
16:00:00	40.4	34.9	-	37	35.5	39	35.7	35.8	37.4
16:30:00	42.5	35.4	-	38.6	35.4	43.8	36.2	35	39.5
17:00:00	40.7	35.4	-	36.9	35.6	38.7	35.7	35.8	36.9
17:30:00	40.9	34.9	-	36.9	35.5	39.8	35.9	35.3	38.4
18:00:00	41	35	-	36.7	35.7	38.4	35.8	35.6	37
18:30:00	40	35	-	36.4	35.2	37	35.8	35.2	36.6
19:00:00	38.5	34.7	-	35.9	35.2	37.2	35.6	35.2	37.4
19:30:00	38.2	35.1	-	35.9	35.2	37.7	35.6	35.2	37.1
20:00:00	36.8	34.6	-	35.2	35	35.5	35	34.9	35.7

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 3 วันที่ 12 มีนาคม 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก
8:30:00	29.2	29.8	-	29.4	29.4	29.1	29.7	30	29.2
9:00:00	29	29.6	-	29.3	29.6	27.8	29.7	30.1	28.8
9:30:00	29	29.6	-	29.3	29.3	29.1	29.7	29.9	29.2
10:00:00	29.2	29.4	-	29.5	29.3	29.4	29.8	29.8	29.7
10:30:00	29.9	30.1	-	30.2	29.9	30.3	30.3	30	30.4
11:00:00	30.9	30.8	-	31	30.6	31.5	30.9	30.7	31.3
11:30:00	32.2	31.1	-	32	31.2	32.7	31.6	31.3	32.6
12:00:00	34.1	31.6	-	32.8	31.8	33.4	32.3	32.3	33.2
12:30:00	35.8	31.7	-	34.2	32.1	36.1	33.2	32.2	35.9
13:00:00	37.4	32.1	-	35.6	32.8	42.7	34.3	32.6	37.8
13:30:00	39.6	32.3	-	37.9	32.9	42.3	36	33	39.4
14:00:00	40.9	32.8	-	39.5	33.7	45.1	36.9	33.5	42.6
14:30:00	41.6	33.5	-	37.6	34.1	44.3	35.7	34.1	40.6
15:00:00	43	33.7	-	39.3	34.4	46.7	36.6	34.2	42.7
15:30:00	43.8	34.1	-	42.7	35.4	46.2	40.9	34.9	42.5
16:00:00	43.9	34.3	-	41	34.9	45.5	38.3	35.1	43.3
16:30:00	44.1	34.9	-	38.9	36.1	41.4	36.6	35.7	40.4
17:00:00	44.4	35	-	42.7	36.3	45.3	41.3	35.9	42.6
17:30:00	43.3	35.1	-	40.7	35.8	43.8	38.7	35.7	42.3
18:00:00	43.4	35.3	-	40.8	37.8	41.9	41.5	37.7	41.3
18:30:00	41.8	35.3	-	38.8	36.4	41.1	37.4	36.6	39.9
19:00:00	40.4	35	-	37.7	36	39.6	37.1	35.9	39.7
19:30:00	39.7	35	-	38.5	35.6	39.6	37.8	35.6	39.8
20:00:00	38.7	35.1	-	37.3	36.6	37.3	37.9	36.5	37.3

ภาคผนวก ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศในการทดลองที่ 3 วันที่ 13 มีนาคม 2556

เวลา / ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	ห้องทดลอง Base Case			ห้องทดลองที่ 1			ห้องทดลองที่ 2		
	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางห้องทดลอง	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศเข้า	อุณหภูมิอากาศกึ่งกลางช่องอากาศออก
8:30:00	29.6	30.1	-	29.8	29.5	29.6	30.1	29.6	29.8
9:00:00	29.4	30	-	29.6	29.3	29.4	30	29.8	29.6
9:30:00	29.4	29.6	-	29.6	29.4	29.5	30	29.6	29.8
10:00:00	29.8	30.3	-	30	29.8	30	30.3	30	30.2
10:30:00	30.5	30.7	-	30.7	30.4	31.2	30.7	30.4	31
11:00:00	31.3	30.9	-	31.2	30.7	31.3	31	30.8	31.3
11:30:00	32.2	31.5	-	32	31.4	32.3	31.7	31.5	32.2
12:00:00	33.7	31.9	-	32.9	32	34.3	32.4	32.1	33.5
12:30:00	35.4	32.1	-	33.6	32.4	34.8	32.7	32.4	34
13:00:00	36.3	32.8	-	34.3	32.9	37.5	33.6	32.9	36.4
13:30:00	36.4	33.2	-	34.8	33.8	35.7	33.9	33.8	35
14:00:00	39	33.1	-	36.2	33.8	39.1	35	34.2	39.9
14:30:00	40	33.9	-	37.2	34.1	47.1	35.7	34	41.9
15:00:00	41	34	-	36.8	34.6	39.1	35.5	35.5	37.8
15:30:00	41.3	34.1	-	37.7	34.9	43.7	36.1	35	40.8
16:00:00	42.3	35.5	-	37.9	35.7	41.3	36.3	36.2	38.3
16:30:00	42.9	34.8	-	39.3	35.2	45.3	37	35.3	41.4
17:00:00	42.1	35.5	-	38.2	36.4	42.3	36.6	36.7	40
17:30:00	43	35.4	-	39.6	36.2	43.8	37.3	35.8	42.1
18:00:00	42.7	35.3	-	38.6	36.2	43.8	37.1	36.1	40.9
18:30:00	42.1	35.4	-	38.9	36.2	41.5	37.2	36.3	40.7
19:00:00	41.2	36.1	-	37.9	36.6	39.1	36.8	36.8	38.2
19:30:00	39.9	36.3	-	37.2	36.2	38.3	37.4	36	38.1
20:00:00	39.9	36.3	-	37.2	36.2	38.3	37.4	36	38.1

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ศักดิภัท ทมทิตชงค์ เกิดเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ.2528 ที่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี 2550 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชา นวัตกรรมการออกแบบนิเวศสถาปัตย์ เมื่อปีการศึกษา 2555